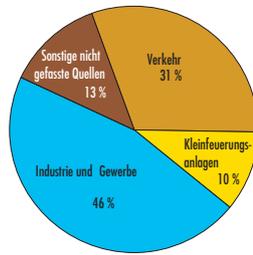


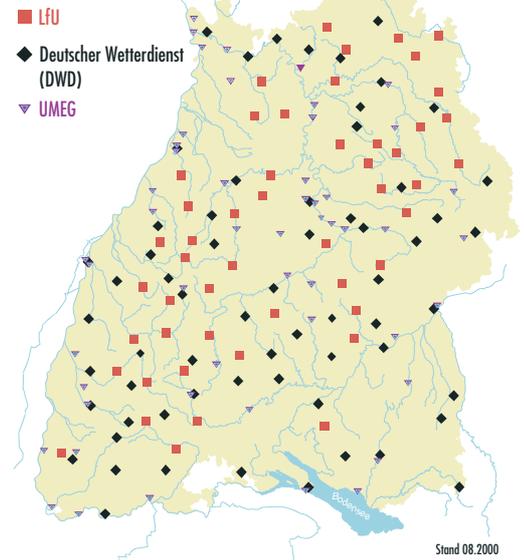
Umweltdaten 2000

Staubemissionen in Baden-Württemberg

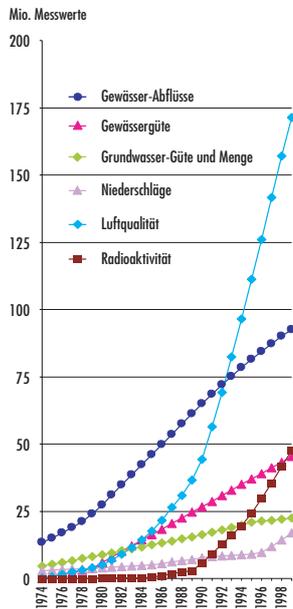


Gesamt: 17 200 Tonnen

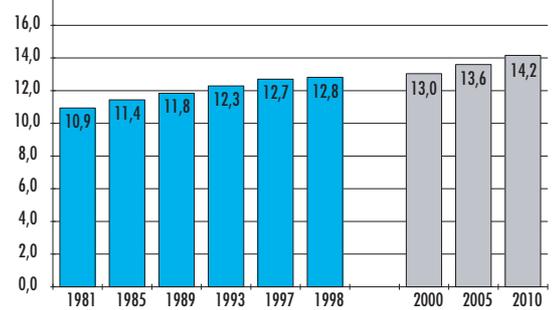
Niederschlagsmessnetz Baden-Württemberg



Messdaten in Baden-Württemberg



Siedlungs- und Verkehrsfläche in Prozent der Landesfläche



1975 - 2000
25
JAHRE



LANDESANSTALT FÜR
UMWELTSCHUTZ
BADEN-WÜRTTEMBERG



Umweltdaten 2000



Ministerium für Umwelt
und Verkehr Baden-Württemberg



Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

In Zusammenarbeit mit anderen Dienststellen
des Landes und des Bundes

Umweltdaten 2000

Herausgeber	Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, 70029 Stuttgart Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 76157 Karlsruhe
ISSN	0938-2178
Redaktion und Gestaltung	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) Abteilung 2 – Ökologie, Boden- und Naturschutz Referat 21 – Konzeptentwicklung, Forschungstransfer
Druck gedruckt auf	Greiserdruck GmbH & Co. KG, 76405 Rastatt Recyclingpapier aus 100 % Altpapier, 80 g, Umschlagkarton aus 100 % Altpapier, 250 g
Nachdruck	Soweit nicht Rechte Dritter betroffen sind, ist der Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.
Bezug über	Verlagsauslieferung der LfU bei der JVA Mannheim, Herzogenriedstraße 111, 68169 Mannheim Telefax (0621) 39 82 22

Karlsruhe, September 2000

Mit den „Umweltdaten 2000“ legen das Ministerium für Umwelt und Verkehr und die Landesanstalt für Umweltschutz den 8. Bericht zur Umweltsituation in Baden-Württemberg vor. Die Umweltdaten sind für Öffentlichkeit und Politik ein wichtiges Informationsmedium über wesentliche umweltrelevante Entwicklungen in Baden-Württemberg. Sie belegen eindrucksvoll, dass die Umweltpolitik in den vergangenen Jahren insbesondere in der Luftreinhaltung und im Gewässerschutz beachtliche Erfolge erzielt hat. Sie zeigen aber auch den Handlungsbedarf bei weniger offensichtlichen Umweltproblemen auf, wie etwa dem Flächenverbrauch, der Lärmbelastung, dem Ausstoß klimawirksamer Gase und dem zunehmenden Rohstoff- und Ressourcenverbrauch. Die umfassende und kontinuierliche Berichterstattung über den Zustand der Umwelt dient damit auch als Entscheidungsgrundlage für umweltpolitische Weichenstellungen. Nur auf der Basis zuverlässiger Daten können umweltpolitische Ziele und Prioritäten gesetzt werden.

Gerade in einer Phase der Neuorientierung und Neupositionierung der Umweltpolitik in unserem Land liefern die nun vorliegenden Umweltdaten eine wichtige Basis für die inhaltlichen Diskussionen um den richtigen Weg der Umweltpolitik. Während sich die Umweltpolitik in der Vergangenheit vor allem mit den Symptomen der verstärkten Umweltnutzung auseinandergesetzt hat, treten nun verstärkt umweltpolitanerische Elemente in den Vordergrund. Es geht darum, die langfristigen Rahmenbedingungen für eine gesunde Umwelt zu setzen.

Darüber hinaus orientiert sich Umweltpolitik heute stärker als je zuvor am Vorsorgeprinzip. Vorsorge kann jedoch nur dann erfolgreich betrieben werden, wenn die Probleme, die es zu bewältigen gilt, auch erkannt werden.

Nur die umfassende Kenntnis der Umweltsituation mit den vielfältigen, oft medienübergreifenden Wechselwirkungen erlaubt eine effektive, dem Vorsorgeprinzip Rechnung tragende Umweltpolitik. Die Neuorientierung der Umweltpolitik äußert sich schließlich darin, dass Umweltpolitik mehr und mehr zu einem gesellschaftlichen Prozess wird, in dem gemeinsam mit den verschiedenen Akteuren Lösungsmöglichkeiten für eine zukunftsfähige Entwicklung erarbeitet werden. Informationen über den Zustand der Umwelt und deren Bewertung bieten dabei eine unerlässliche Orientierungshilfe. Langfristig lassen sich Erfolge im Umweltschutz nur dann erzielen, wenn es gelingt, den Einzelnen durch Umweltinformationen nicht nur zu sensibilisieren, sondern diese Einsichten auch in dauerhafte, umweltgerechte Verhaltensänderungen umzusetzen.

Grundlage des vorliegenden Berichts zur Umweltsituation in Baden-Württemberg sind die Messnetze des Umweltinformationssystems UIS, Daten aus der amtlichen Statistik des Statistischen Landesamtes sowie zahlreiche Messungen und Unterlagen von Behörden und Institutionen. Allen, die an der Erstellung der „Umweltdaten 2000“ mitgewirkt haben, möchte ich meinen herzlichen Dank aussprechen.

Ulrich Müller MdL
Minister für Umwelt und Verkehr
des Landes Baden-Württemberg

Die Öffentlichkeit hat ein Recht auf umfassende und regelmäßige Informationen über den Zustand der Umwelt. Dieser Anspruch wurde in Baden-Württemberg schon 1979 mit dem ersten Umweltqualitätsbericht erfüllt, der damals die bundesweit erste medienübergreifende Datensammlung dieser Art war.

Damals wie in den vorliegenden Umweltdaten 2000 dokumentieren nicht nur „nackte Zahlen“ den Zustand der Umwelt. Das „Markenzeichen“ der Umweltdaten sind die Erläuterungen und Bewertungen zu den einzelnen Umweltbereichen. Eigenschaften und Auswirkungen vieler Schadstoffe werden dargestellt, Zusammenhänge und Tendenzen werden für Laien und Fachleute verständlich und umfassend beschrieben. Sozio-ökonomische Daten gehören inzwischen ebenso zum festen Bestandteil der Umweltdaten wie die Kapitel „Energie“ und „Verkehr“.

Die Umweltdaten 2000 gliedern sich in 14 Kapitel und reichen von den „klassischen“ Kapiteln Wasser, Boden, Luft bis hin zu „Umweltökonomie“ und „Umweltindikatoren“. In der vorliegenden Ausgabe hinzu gekommen sind „Elektromagnetische Felder“ (in der Umgangssprache als Elektrosmog bezeichnet) und „Umweltinformationssystem“.

Vor allem die rasante Entwicklung beim Mobilfunk und die anhaltende Diskussion über umweltrelevante Auswirkungen in der Umgebung von Hochspannungsleitungen führten zur

Aufnahme des neuen Kapitels „Elektromagnetische Felder“ in die Umweltdaten. Das Kapitel „Umweltinformationssystem“ beschreibt die Entwicklung von rechnergestützten Informations- und Rechensystemen für Umweltdaten in Baden-Württemberg.

Der raschen Entwicklung der modernen Kommunikationsmedien tragen auch die Umweltdaten Rechnung. Sie werden auch als CD-Rom verfügbar sein. Dennoch kann auf die gedruckte Form der Umweltdaten in absehbarer Zeit nicht verzichtet werden, wenn es darum geht, einer möglichst breiten Öffentlichkeit verlässliche Informationen über die Umwelt zur Verfügung zu stellen. Dank der inzwischen zahlreichen Umweltinformationen im Internetangebot nicht nur der LfU werden die Umweltdaten jedoch nur noch im Drei-Jahres-Rhythmus erscheinen.

Umweltschutz ist Teamarbeit. Mein Dank gilt daher nicht nur den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen meines Hauses sondern ebenso den verschiedenen beteiligten Institutionen, die für den vorliegenden Bericht mit viel Engagement Daten gesammelt und wissenschaftlich aufbereitet sowie erläuternde Beiträge dazu geliefert haben.

Ich hoffe, dass auch die Umweltdaten 2000 zur Grundlage für jeden dienen werden, der sich objektiv und umfassend über den Zustand unserer Umwelt informieren möchte.

Margareta Barth
Präsidentin der
Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg

ALLGEMEINE DATEN	7 – 10
VERKEHR	11 – 26
ENERGIE	27 – 34
ABFALL	35 – 46
LUFT	47 – 64
WASSER UND ALTLASTEN	65 – 108
BODEN	109 – 122
LEBENSMITTEL	123 – 138
RADIOAKTIVITÄT	139 – 156
LÄRM	157 – 170
WALD	171 – 188
NATUR UND LANDSCHAFT	189 – 220
UMWELTÖKONOMIE	221 – 228
UMWELTINDIKATOREN	229 – 236
ELEKTROMAGNETISCHE FELDER	237 – 248
UMWELTINFORMATIONSSYSTEM	249 – 256



Bevölkerungsentwicklung

Im Land Baden-Württemberg leben, mit Stand 31.12.1999, auf einer Fläche von 35.751 qkm, 10. 475.932 Menschen. Davon sind 5,132 Mio. männlich und 5,344 Mio. weiblich (Vergleichszahlen mit 1980 und 1990: 4,464/4,784 bzw. 4,795/5,038 Mio.). An Einwohnern je qkm weist die Statistik 293 Personen aus (1980 259, 1990 275). Bis 2010 würde die Bevölkerungsdichte auf 294 bis 296 Personen ansteigen. Die Entwicklung nach ausgewählten Jahren zeigt Abb. 1.

Altersaufbau

Die Altersgliederung der Bevölkerung ist die Folge historischer Ereignisse. Neben den kriegsbedingten Einschnitten werden auch die Auswirkungen des Geburtenrückgangs erkennbar: Infolge der niedrigen Kinderzahlen ist die Basis für den Altersaufbau schmal geworden. Der Anteil der nachwachsenden Generation - der unter 20-jährigen - an der Gesamtbevölkerung beträgt rund 22 %. In der älteren Bevölkerung sind Frauen aufgrund ihrer höheren Lebenserwartung viel stärker vertreten als Männer. Demgegenüber überwiegt bei den unter 45-jährigen die

ALLGEMEINE DATEN

Bevölkerungsentwicklung

A – 1

Bodennutzung

A – 2

Anhang

A – 4

Zahl der Männer leicht die der Frauen (Abb. 2).

Vorausberechnungen

Ausgangspunkt für die aktuelle Bevölkerungsvorausrechnung auf Landesebene bildet die Bevölkerung zum 31.12.1998.

Eine Auswertung der Ergebnisse durch das Statistische Landesamt zeigt, dass sich im Zeitraum 1998 bis 2010 die Bevölkerung im Land - verglichen mit früheren Zeiträumen - nur noch mäßig um 0,8 % erhöhen wird.

Im Vergleich zur Entwicklung der Bevölkerungszahl stellen die absehbaren Veränderungen in der Altersgliederung der Bevölkerung die weitaus bedeutenderen Herausforderungen an Gesellschaft und Politik dar. Die Besetzungstärken der einzelnen Altersjahrgänge wirken sich - unmittelbar wie mittelbar - auf nahezu alle Bereiche aus. Während Anfang der 70er Jahre das mittlere Alter (Median) der

baden-württembergischen Bevölkerung bei rund 33 Jahren lag, belief es sich Ende 1998 auf etwas mehr als 38 Jahre. Im Jahr 2000 leben erstmals in der Geschichte des Landes mehr ältere und alte Menschen als junge. Um 2050 wird jeder zweite Einwohner älter als 50 Jahre sein.

Es wurden zwei Varianten untersucht. Variante 1 läuft auf folgende Ergebnisse hinaus (Abb. 3):

1. Der Anteil der nachwachsenden Generation – der unter 20-jährigen – an der Gesamtbevölkerung würde von heute 22 % zunächst allmählich auf 20 % im Jahr 2010 sinken und längerfristig auf 16 % bis 17 % abnehmen (2040/2050).
2. In einer gegenläufigen Bewegung würde der Bevölkerungsanteil der 60-jährigen und älteren Menschen von gegenwärtig 21 % über 25 % (2010) auf 33 % bis 36 % (2040) ansteigen. Diese Entwicklung erhält insbesondere

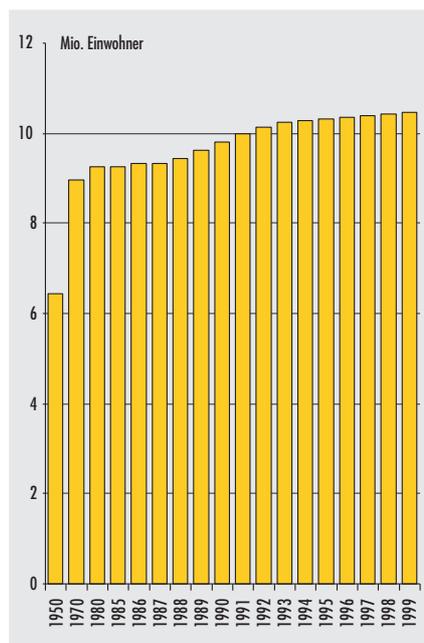


Abb. 1 Bevölkerungsentwicklung in Baden-Württemberg (Quelle: Statistisches Landesamt)

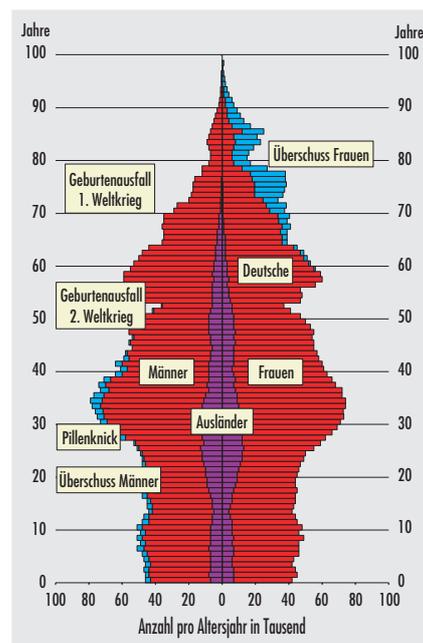


Abb. 2 Altersaufbau der Bevölkerung in Baden-Württemberg am 31.12.1998 (Quelle: Statistisches Landesamt)

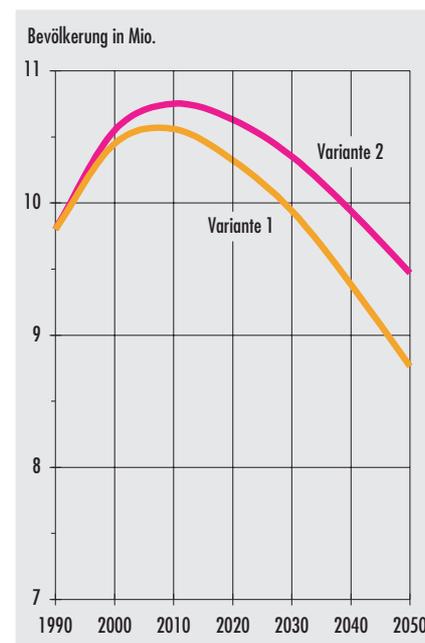


Abb. 3 Künftige Bevölkerungsentwicklung in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2050 (Quelle: Statistisches Landesamt)

Bevölkerungsentwicklung, Bodennutzung

nach 2020 einen deutlichen Schub, wenn die geburtenstarken Jahrgänge von etwa 1960 bis 1970 in die Altersphase der 60-jährigen und Älteren hineinwachsen.

- Für die große Gruppe der 20- bis unter 60-jährigen, die weitgehend das Erwerbspersonenangebot bildet, ergäbe sich in den kommenden 20 Jahren ein leicht rückläufiger Bevölkerungsanteil. Auf längere Sicht würde er auf 47 % (2040/2050) sinken.

Bei der Bewertung ist zu bedenken, dass Vorausberechnungen keine Vorhersagen sind. Das heißt, dass das Statistische Landesamt mit diesen Prognosen nicht vorhersagt, wie sich die Bevölkerung z.B. im Jahr 2010 tatsächlich auf Baden-Württemberg verteilen wird. Vielmehr werden die Entwicklungen aufgezeigt, welche zu erwarten sind, wenn die unterstellten regionalen Verhaltensmuster bei der Binnenwanderung, dem Geburtenverhalten und der Sterblichkeit tatsächlich einträfen und wenn bis 2010 per saldo etwa 230.000 Menschen über die Landesgrenze nach Baden-Württemberg zuzögen.

Durch exogene Entwicklungen ausgelöste abrupte Veränderungen, vor allem des Wanderungsgeschehens, muss die Stati-

stik dagegen als unveränderlich hinnehmen. Daher sollte man das Urteil über die Qualität einer Prognose nicht aus einem Vergleich der prognostizierten Bevölkerungszahl und -struktur mit der tatsächlichen Entwicklung ableiten, sondern aus einem Vergleich der angenommenen Beziehungen zwischen den Variablen eines Modells und den wirklichen Zusammenhängen.

Bodennutzung

Umfassende statistische Ermittlungen über die Nutzung von Grund und Boden gibt es für Württemberg und Baden seit mehr als 100 Jahren. Das 1935 umgestellte Feststellungsverfahren für Flächen und Liegenschaften gilt bis heute. Aufgrund dieser Bodennutzungserhebungen lässt sich belegen, in welchem Umfang Naturlandschaft und Naturfläche durch Kulturlandschaft und Siedlungsfläche verdrängt wurden. So waren um 1900 erst 118.000 ha (3,3 %) der Landesfläche besiedelt, 1,2 Mio. ha (33,8 %) wurden als Wald und 2,17 Mio. ha (fast 61 %) landwirtschaftlich genutzt. Noch bis in die 50er Jahre verlief der Siedlungszuwachs verhalten. So wurde die Siedlungsfläche in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts

jährlich um durchschnittlich 1.600 ha, 1950 bis 1980 dagegen um jährlich 6.000 ha größer. Höhepunkt der Flächenumwidmungen für Siedlungsbedarf waren die Jahre 1968/73 mit einem durchschnittlichen Zuwachs von 9.500 ha.

Bis 1970 nahm die Siedlungsfläche nur proportional zur Bevölkerung zu. Danach stieg der Flächenverbrauch stark überproportional an. Bis 1997 wuchs die Siedlungsfläche auf 454.300 ha. Die durch den Menschen für Wohnungen, Arbeitsstätten, Verkehr und sonstige Zwecke unmittelbar in Anspruch genommene Fläche wurde somit nahezu vervierfacht. Die Bevölkerung des Landes hat sich in diesem Zeitraum lediglich verdoppelt. Heute beansprucht jeder Bürger im Land im Durchschnitt 430 qm Siedlungs- und Verkehrsfläche (Abb. 4).

Im Jahr 1997 sind 454.294 ha, das sind 12,7 % (1998 12,8 %) der Landesfläche, *Siedlungs- und Verkehrsflächen (SVF)*. Pro Einwohner sind dies etwa 435 qm SVF (1998 430 qm), davon etwa 180 qm Verkehrsfläche. Von den SVF sind Frei-, Gebäude- und Gewerbeflächen 52 %, Verkehrswege 41 % und Betriebs- und Erholungsflächen, Grünanlagen und Friedhöfe die restlichen 7 %. Gleichzeitig mit dem Anstieg der Siedlungsfläche ist

Nutzungsart	1979 ha	1981 ha	1985 ha	1989 ha	1993 ha	1997 ha
Gebäude- und Freifläche	194.280	199.000	209.038	217.586	226.699	237.400
darunter GF-Wohnen ¹⁾			138.234	124.196	113.610	117.400
GF-Gewerbe und Industrie ¹⁾			29.665	31.968	34.724	36.800
Erholungsfläche	13.101	13.717	16.243	18.411	21.365	29.350
Verkehrsfläche	169.798	171.644	175.785	179.999	184.405	187.150
darunter Straßen, Wege, Plätze	154.125	155.785	160.210	164.374	168.067	
Landwirtschaftsfläche	1.822.120	1.182.150	1.790.103	1.753.402	1.721.385	1.698.300
Waldfläche	1.301.113	1.302.325	1.306.093	1.324.817	1.345.395	1.352.900
Sonstige Nutzungsarten ²⁾	74.940	76.256	77.818	80.957	75.932	70.000
Gesamtfläche	3.575.352	3.575.092	3.575.082	3.575.151	3.575.180	3.575.100
darunter Siedlungs- und Verkehrsfläche ³⁾	385.831	394.108	411.638	423.284	439.340	454.300

¹⁾ Ein Vergleich von 1979 und 1981 mit 1985, 1989, 1993 und 1997 ist wegen methodisch bedingter Verfahrensumstellung nur eingeschränkt sinnvoll

²⁾ Betriebsfläche, Wasserfläche und Fläche anderer Nutzung

³⁾ 1979 „besiedelte Fläche“, 1981 und 1985 einschl. Abbauland, ohne Friedhof, 1989, 1993 und 1997 einschl. Friedhof, ohne Abbauland

Tab. 1 Bodennutzung in Baden-Württemberg in absoluten Zahlen (Quelle: Statistisches Landesamt, Stand 1999)

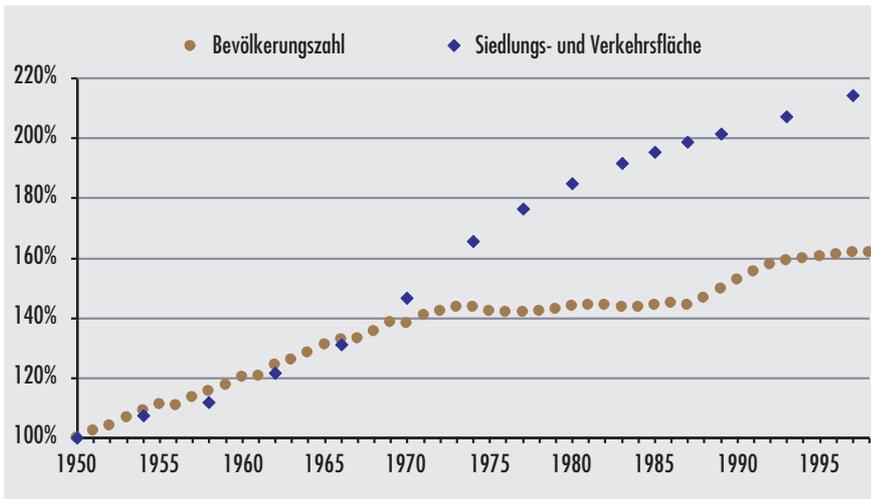


Abb. 4 Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie der Einwohnerzahl in Baden-Württemberg (Quelle: Statistisches Landesamt)

die landwirtschaftlich genutzte Fläche zurückgegangen. Lediglich die Waldfläche weist einen leichten Anstieg auf. Es entfallen 47,5 % auf *Landwirtschaft*, 37,8 % *Wald* und 1,9 % auf *restliche Nutzungsarten* (Abb. 5).

Beim Boden ist eine ständig wachsende Inanspruchnahme auf Dauer nicht möglich und wäre damit auch nicht nachhaltig. Dennoch hält der jährliche Zuwachs an SVF und damit der Verlust an Böden und ihren (ökologischen) Funktionen unvermindert an. In Deutschland werden täglich 120 ha neu versiegelt. Trotz zunehmend verdichteter Bauweise werden in Baden-Württemberg täglich durchschnittlich weitere 11 ha,

das sind jährlich etwa 4.000 ha, in SVF umgewandelt.

Legt man die derzeitige jährliche Zunahme im Land von rund 11 ha/Tag zugrunde, betragen die SVF bei gleichbleibenden Zuwächsen im Jahr 2000 etwa 13,4 % der Landesfläche, 2005 etwa 14 % (Abb. 6).

Die Verantwortlichen in Bund, Ländern und Gemeinden müssen einem weiteren unverminderten Flächenverbrauch mit durchgreifenden Maßnahmen entgegenwirken. So ist es zum Beispiel notwendig, neue Wohn- und Gewerbegebiete flächenschonend zu erschließen, bei Planungen auf flächensparende Bauweise zu achten sowie bereits bebaute Flächen konsequent

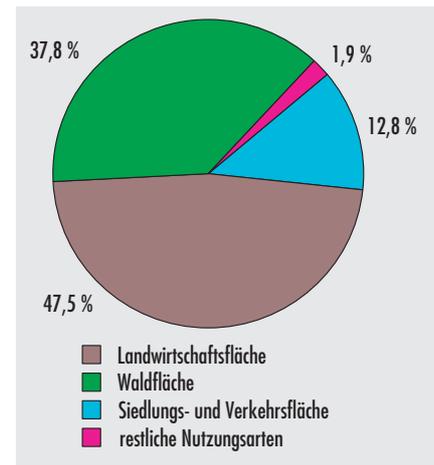


Abb. 5 Bodennutzung in Baden-Württemberg (Quellen: Statistisches Landesamt, UVM)

zu nutzen und nachzuverdichten. Das Land ermutigt die Kommunen, diesen eingeschlagenen Weg noch weiter zu gehen als bisher. In Einzelfällen können sogar Verkehrsflächen intensiver genutzt werden, indem diese insbesondere mit Gewerbe- und Nutzbauten überbaut werden, was zugleich dem Lärmschutz zugute käme. Neubaugebiete in Verdichtungsräumen sollten die Gemeinden nur noch dort planen, wo ein ausreichender Anschluss an den ÖPNV vorhanden ist.

Einer der von der LfU gemeinsam mit dem Ministerium für Umwelt und Verkehr definierten umweltpolitischen Schwerpunkte ist das "Flächenressourcen-Management". In diesem Projekt sollen für den haushälterischen Umgang mit Boden und Fläche Lösungsansätze und Wege aufgezeigt werden, wie die Kommunen erweiterte Handlungsspielräume bei der Umsetzung dieses Ziels in der Bauleitplanung erhalten sollen. Dies soll im Zusammenwirken mit den Kommunen zu möglichst praxistauglichen Empfehlungen führen.

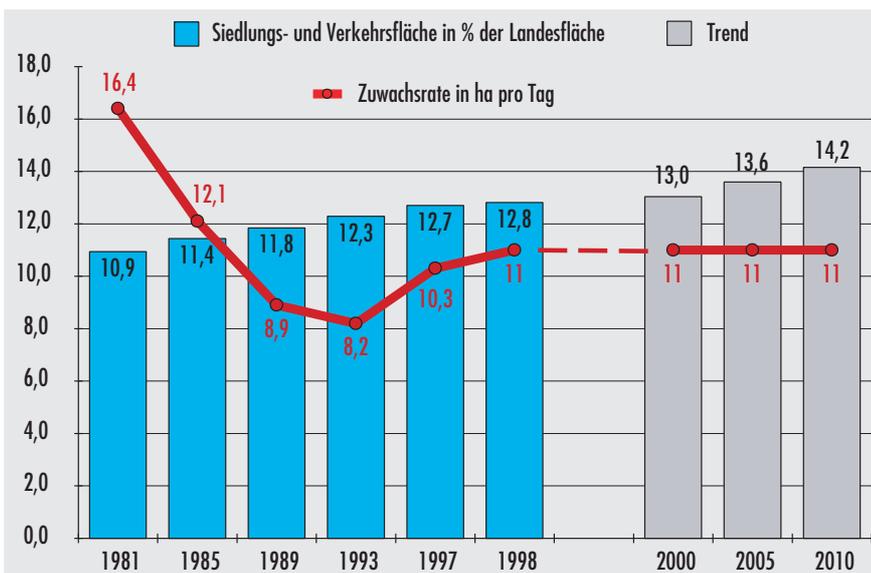


Abb. 6 Prognose zum prozentualen Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche an der Landesfläche in Baden-Württemberg (Quelle: Statistisches Landesamt)

Anhang

Anhang

Erläuterungen

Bevölkerung

Zur Bevölkerung zählen alle Personen, die in dem betreffenden Gebiet ihren ständigen Wohnsitz haben. Personen mit mehreren Wohnungen werden der Bevölkerung in der Gemeinde zugerechnet, in der sich die Hauptwohnung im Sinne von § 17 Absatz 2 Meldegesetz (Fassung vom 21.7.1997) befindet. Nicht zur Bevölkerung zählen die Angehörigen der ausländischen Stationierungstreitkräfte sowie die ausländischen diplomatischen und konsularischen Vertretungen mit ihren Familienangehörigen.

Mit Wirkung vom 27.4.1983 werden bei der Fortschreibung des Bevölkerungsstandes aufgrund von An- und Abmeldungen diejenigen Personen, die mehrere Wohnungen innehaben, der Bevölkerung der Gemeinde zugerechnet, in der sich ihre Hauptwohnung befindet.

Bevölkerungsfortschreibung

Die Bevölkerungszahlen werden auf der Grundlage der jeweils letzten allgemeinen Zählung der Bevölkerung (diese war am 25.5.1987) nach den Ergebnissen der Statistik der natürlichen Bevölkerungsbewegung (Geburten und Sterbefälle) und der Wanderungstatistik (Zu- und Fortzüge, Mitteilungen über den Wechsel der Hauptwohnung, Änderungen der Staatsangehörigkeit) fortgeschrieben. Seit dem 27.4.1983 werden auch Mitteilungen über den Wechsel der Hauptwohnung als Zu- und Abgang in der Bevölkerungsfortschreibung gewertet und seit der Volkszählung 1987 die Personen mit mehreren Wohnungen dem Ort der Hauptwohnung nach § 12 Absatz 2 MRRG zugeordnet.

Natürliche Bevölkerungsbewegung

Die natürliche Bevölkerungsbewegung hält die Veränderung des Bevölkerungsstandes durch Geburten, Sterbefälle,

Eheschließungen und gerichtliche Ehelösungen fest. Hierin sind nur von deutschen Standesämtern beurkundete Fälle enthalten. So wird zum Beispiel ein erheblicher Anteil von Geburten ausländischer Kinder im jeweiligen Heimatland beurkundet.

Seit 1987 werden die Daten der natürlichen Bevölkerungsbewegung jeweils am Jahresende genau nach dem Ereignistermin aufbereitet.

Räumliche Bevölkerungsbewegung

Die räumliche Bevölkerungsbewegung (= Wanderungs-) umfasst die Veränderung des Bevölkerungsstandes durch Zu- bzw. Fortzüge. Unberücksichtigt bleiben Umzüge innerhalb der Gemeinden (Ortsumzüge). Die Zahl der Wanderungen in einem bestimmten Zeitraum ist in der Regel etwas größer als die Zahl der in dieser Zeit gewanderten Personen, da bei einer Person, die mehrmals umzieht, jeder Wanderungsfall erfasst wird. Die Wanderungstatistik umfasst die Landesaußen- und die Landesbinnenwanderung. Ab dem 27.4.1983 sind auch die Fälle eingeschlossen, in denen jemand unter Beibehaltung einer weiteren Wohnung eine Hauptwohnung bezieht. Mitteilungen über den Wechsel einer Hauptwohnung werden ebenso berücksichtigt.

Quellen- und Literaturhinweise

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.): 454.300 Hektar Bodenflächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke. Eildienst Nr. 230/97 (1997)

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.): Statistisches Taschenbuch 1999

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.): Baden-Württemberg in Wort und Zahl, Heft 3/März 2000. S. 95-102 und S. 117-122

Informationsmöglichkeiten

Das Statistische Landesamt Baden-Württemberg ist mit einem umfassenden

Informations- und Serviceangebot im Internet vertreten. Die Adresse lautet: <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de>

Einführung

Eine hohe Mobilität der Menschen und zunehmende räumliche Austauschbeziehungen der Wirtschaft sind Wesensmerkmale moderner Gesellschaften. Neben den positiven Aspekten von Arbeitsteilung und Mobilität geht die starke Zunahme von Berufs- und Freizeitverkehr, Wirtschafts- und Güterverkehr allerdings auch mit erheblichen negativen Auswirkungen einher. Hier sind vor allem die Belastung durch Lärm und Schadstoffe, aber auch Flächenverbrauch und Zerschneidung von Landschaft durch Verkehrswege zu nennen.

Emittierte Luftschadstoffe beeinflussen die globale Klimaentwicklung (Stichwort: Treibhauseffekt), sie führen zu regionalen Problemen (Stichwort: Ozonbildung) und sie verursachen lokale Beeinträchtigungen in den Ballungsgebieten, die von Stickstoffoxiden, Benzol und Dieselruß ausgehen.

Es ist deshalb ein Hauptanliegen der Umwelt- und Verkehrspolitik in Baden-Württemberg, den negativen Folgen dieses Wachstums entgegenzuwirken und die Bedingungen für eine möglichst umweltverträgliche Verkehrsentwicklung zu schaffen.

VERKEHR

Einführung, Verkehrsinfrastruktur	B – 1
Kraftfahrzeugbestand und schadstoffarme Fahrzeuge	B – 2
Kraftstoffverbrauch	B – 4
Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr	B – 5
Emissionen	
Kraftfahrzeugverkehr	B – 6
Abgasgrenzwerte	B – 7
Prognose	B – 8
Motorisierte Zweiräder	B – 9
Luftbelastung in Ballungsgebieten und Städten	B – 11
Binnenschifffahrt	B – 12
Schienenverkehr (Personen- und Güterverkehr), Flugverkehr	B – 14
Anhang	B – 15

Verkehrsinfrastruktur

Straßenverkehrsnetz

Das überörtliche Straßennetz ist zwischen 1960 und 1999 insgesamt um 14,9 % auf 28.105 km angewachsen (Abb. 1). Davon entfallen:

- auf Autobahnen 1.021 km (+ 657 km zwischen 1960 und 1999),
- auf Bundesstraßen 4.975 km (+ 1420 km),
- auf Landesstraßen 10.032 km (- 1595 km wegen der Abstufung von Landesstraßen zu Kreisstraßen),
- auf Kreisstraßen 12.077 km (+3168 km).

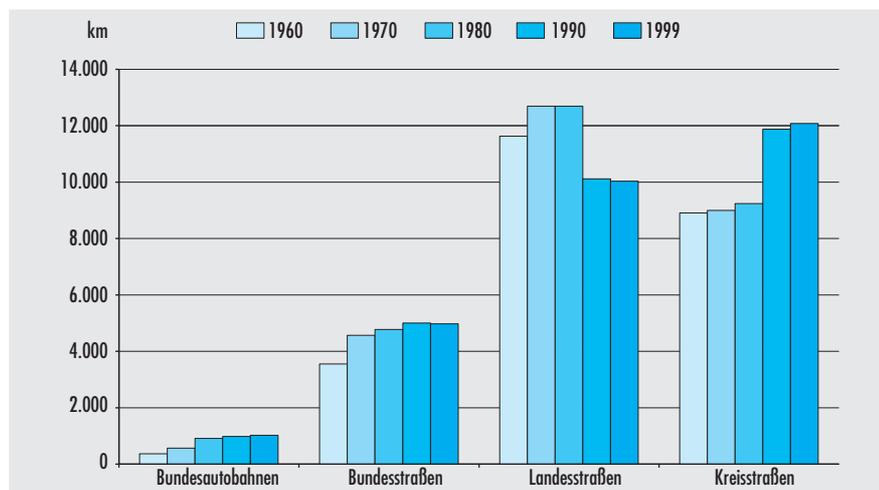


Abb. 1 Längen der überörtlichen Straßen in Baden-Württemberg 1960-1999. Stand jeweils 1. Januar. Im Jahr 1984 Umstufung von 2.937 km Landes- zu Kreisstraßen (Quelle: Statistisches Landesamt)

Entwicklung der Verkehrsfläche

Die Verkehrsfläche insgesamt wurde 1997 mit 187.150 ha (5,2 % der Landesfläche) ausgewiesen. Von der Verkehrsfläche entfallen 91,6 % auf Straßen, Wege und Plätze, der Rest auf sonstige Flächen wie Bahngelände und Flugplätze. Dabei ist der Anteil der Fläche für Straßen, Wege und Plätze, der auf überörtliche Straßen entfällt, relativ gering.

Zwischen 1960 und 1979 wurden etwa 43.000 ha in Anspruch genommen, bis 1997 weitere etwa 17.300 ha. Dies entspricht bis 1979 einem Flächenverbrauch von mehr als 2.000 ha pro Jahr; seit 1979 waren es knapp 1.000 ha pro Jahr (Abb. 2).

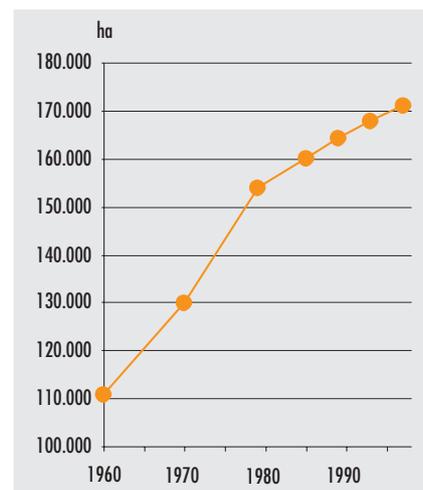


Abb. 2 Entwicklung der Fläche für Straßen, Wege und Plätze 1960-1997 (Quelle: Statistisches Landesamt)

Schienenetz

Das Schienenetz betreibt überwiegend die Deutsche Bahn AG (Abb. 3).

Der Abbau des Streckennetzes der Deutschen Bahn AG, der aus wirtschaftlichen Überlegungen vor allem in den siebziger Jahren stattgefunden hat, ist ab 1990 durch Neu- und Ausbaumaßnahmen teilweise ausgeglichen worden. Die Länge des Streckennetzes lag jedoch 1997 mit 3.820 km noch immer unter dem Stand von 1971. Rund 76 % dieses Netzes sind Hauptstrecken, der Rest Nebenstrecken. 51 % der Strecken, überwiegend die Hauptstrecken, werden elektrisch betrieben; die restlichen Strecken stehen unter Dieselbetrieb, der mit entsprechenden Emissionen verbunden ist.

Die Streckenlänge der nichtbundeseigenen Eisenbahnen betrug 488 km (Stand 1996), davon waren lediglich 30 % elektrifiziert. Gegenüber 1971 ist dies ein Rückgang um 175 km bei der gesamten Streckenlänge.

Wasserstraßennetz

Dem gewerblichen Binnenschiffsverkehr steht in Baden-Württemberg ein Streckennetz von insgesamt 523 km zur Verfügung. Dieses Netz setzt sich aus den Bundes- und den Landeswasserstraßen zusammen. Die *Bundeswasserstraßen* verteilen sich anteilig auf Rhein, Neckar (203 km) und Main (38 km). Die *Landeswasserstraßen* sind die jeweiligen baden-württembergischen Anteile der Strecken Basel - Rheinfelden (rund 14 km) und Rheinfelden - Rheinstetten-Neuburgweier (rund 109 km); bei letzterer Strecke gibt es keine gewerbliche Güterschifffahrt. Hinzu kommen noch die baden-württembergischen Teile des Bodensees, auf dem in beträchtlichem Umfang Güter und Personen befördert werden, und die Landesanteile der Rhein- strecke von Konstanz bis Schaffhausen.

Flughäfen

Zentraler Verkehrsflughafen des Landes ist der Flughafen Stuttgart; sein Einzugs-

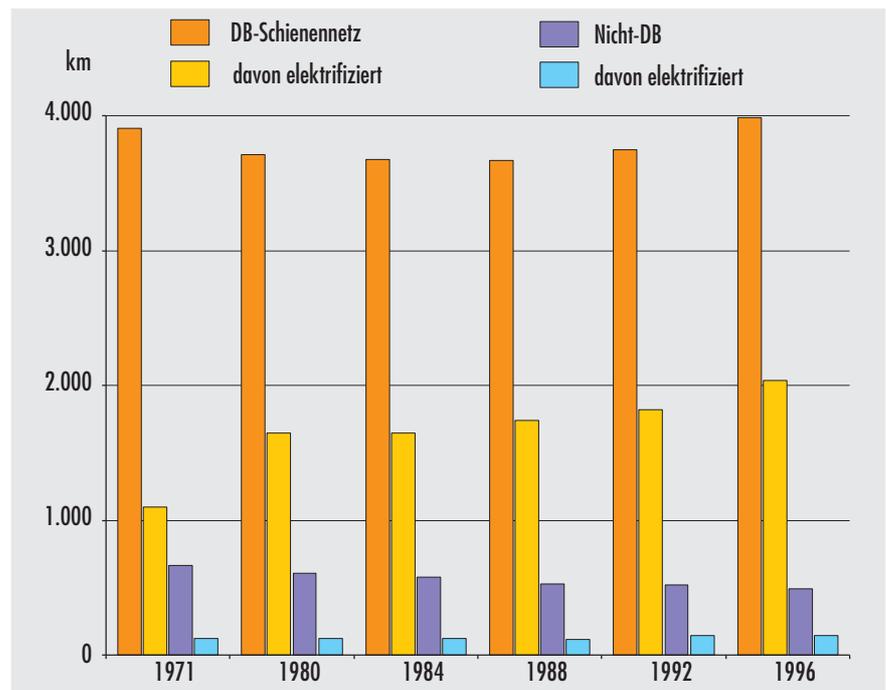


Abb. 3 Entwicklung der Streckenlängen der Eisenbahnen in Baden-Württemberg 1971-1996 (Quelle: Statistisches Landesamt)

gebiet umfasst große Teile Baden-Württembergs. Daneben stehen dem Luftverkehr zwei Regionalflughäfen (Friedrichshafen und Karlsruhe/Baden-Baden) und zahlreiche Verkehrslandeplätze sowie sonstige Flugplätze zur Verfügung.

Kraftfahrzeugbestand und schadstoffarme Fahrzeuge

Die Zeitreihe des Kfz-Bestands seit 1950 verdeutlicht einerseits die enorme Bestandszunahme insgesamt, andererseits auch die Entwicklung bei den einzelnen Fahrzeuggruppen (Abb. 4).

Zum 1.7.1999 waren insgesamt 6,836 Mio. Kraftfahrzeuge zugelassen. Damit hat sich der Bestand an Kraftfahrzeugen in den vergangenen 10 Jahren (seit 1.7.1989) um 1,23 Mio. oder 22,0 % erhöht.

Besonders stark zugenommen haben die Krafträder, die sich als Freizeitgeräte einer zunehmenden Beliebtheit erfreuen (+ 89,3 % seit 1989). Bei den Pkw lag die Zunahme bei + 18,6 %.

Der Anteil von Diesel-Pkw am gesamten Pkw-Bestand hat sich von 14,4 % 1989 auf 15,7 % 1999 erhöht.

Unter "Zugmaschinen" fallen Sattelzugmaschinen (unter 5 %), ansonsten Acker-schlepper; "Sonstige Kraftfahrzeuge" sind z.B. Rettungs- und Straßenreinigungsfahrzeuge.

Die Kraftfahrzeugdichte lag 1960 bei 160, 1980 bei 460 und 1999 bei 656 Fahrzeugen pro 1000 Einwohner.

Für die Umweltbelastung durch Abgase sind nicht die Bestandszahlen entscheidend, sondern die gefahrenen Kilometer ("Fahrleistungen", gemessen in Fahrzeugkilometer) und die spezifische Abgasmenge pro Kilometer, die über Emissionsfaktoren erfasst wird.

Im Jahr 1998 betrug bundesweit die durchschnittliche Fahrleistung eines Pkw 12.700 km; dieser Wert lag für Lkw (alle Größenklassen) bei 24.400 km, für Omnibusse bei 44.800 km und für Sattelzugmaschinen sogar bei 83.000 km.

Zudem sind für Nutzfahrzeuge aufgrund ihrer Größe hohe Motorleistungen mit entsprechend großen Abgasmengen typisch, so dass ihr Anteil an den Gesamtemissionen weitaus höher liegt als ihr Anteil am Fahrzeugbestand.

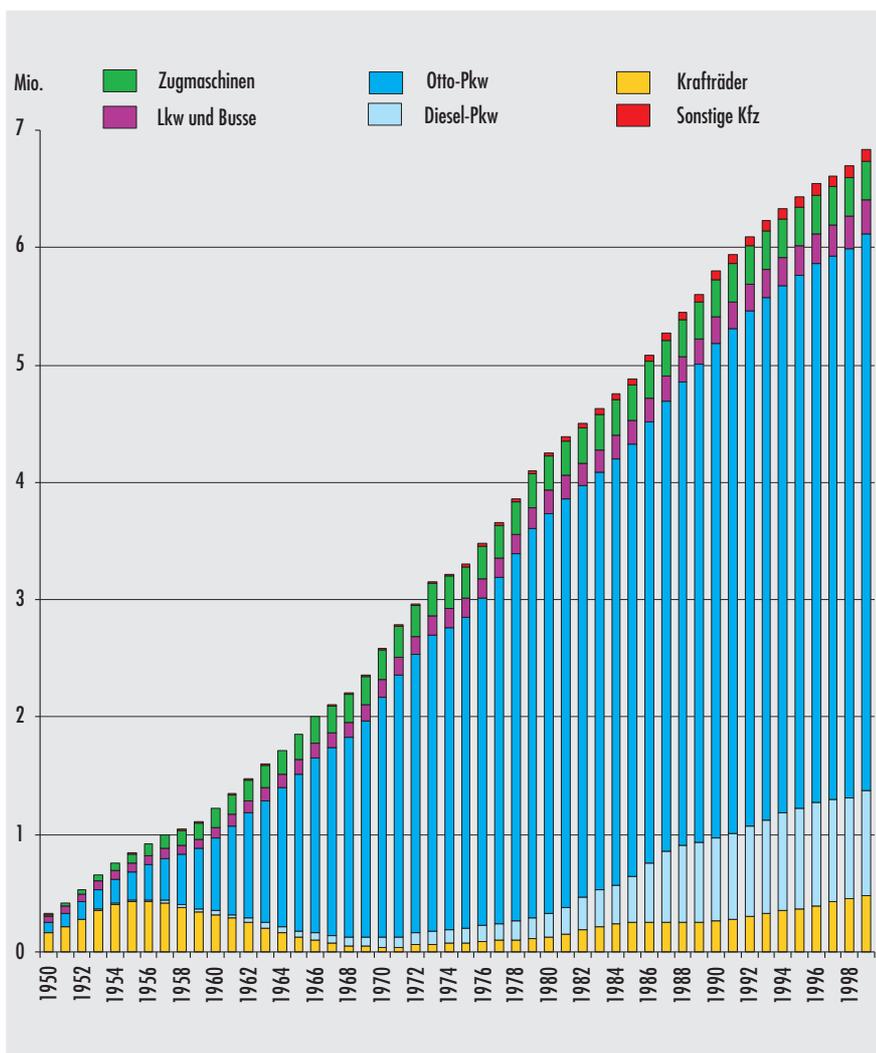


Abb. 4 Entwicklung des Kfz-Bestands in Baden-Württemberg 1950-1999. Stand jeweils 1. Juli. (Quellen: Statistisches Landesamt, Kraftfahrt-Bundesamt (KBA))

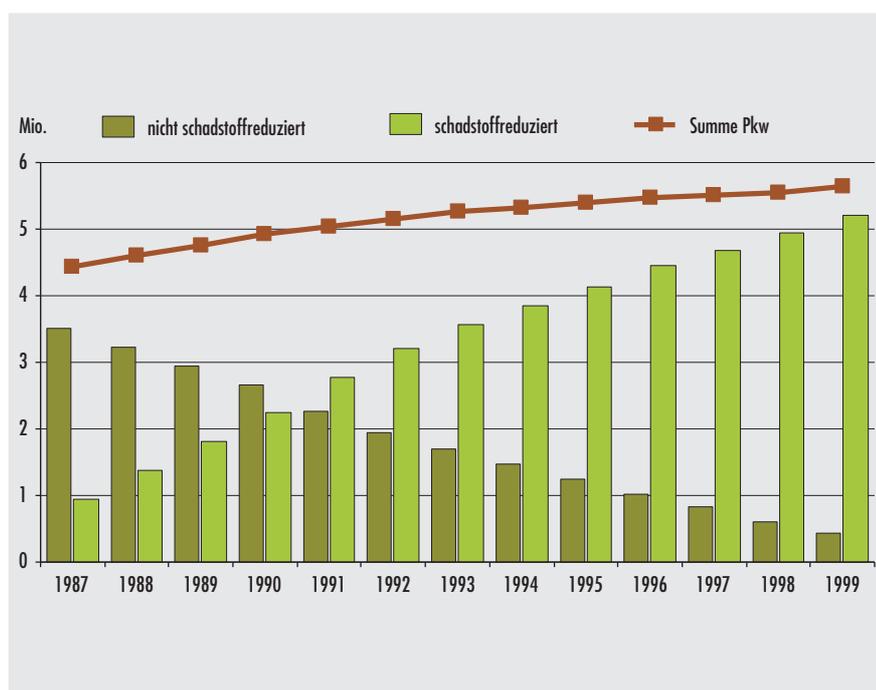


Abb. 5 Anteile schadstoffreduzierter und nicht schadstoffreduzierter Pkw am Bestand in Baden-Württemberg (Quelle: KBA)

Schadstoffarme Fahrzeuge

Ein Schwerpunkt sowohl der Umwelt- und Verkehrspolitik als auch der Fahrzeugindustrie ist es, die Kraftfahrzeuge durch Reduzierung ihrer Abgasemissionen umweltverträglicher zu gestalten. Grundlage sind dabei vor allem die Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft. Bei Pkw sind seit Anfang der 70er Jahre, bei Lkw seit Ende der 80er Jahre die Grenzwerte schrittweise verschärft worden (Einzelheiten dazu s. Abschnitt "Emissionen").

Die Pkw ohne Schadstoffreduzierung sind zugunsten schadstoffreduzierter Pkw stetig zurückgegangen (Abb. 5). Zum 1.1.2000 betrug der Anteil nicht reduzierter Altfahrzeuge am Bestand in Baden-Württemberg nur noch 6,1 %.

Diese Altfahrzeuge haben an den Emissionen aber einen hohen Anteil. Aufgrund der in den vergangenen Jahren wesentlich verschärften Abgasvorschriften für Neufahrzeuge emittiert ein alter Pkw ohne Abgasnachbehandlung etwa 10 mal soviel Kohlenmonoxid (CO) und mehr als 30 mal soviel Kohlenwasserstoffe (VOC) und Stickstoffoxide (NO_x) wie ein nach der derzeit gültigen Schadstoffnorm Euro 3 zugelassener Pkw. Die entsprechenden Emissionsfaktoren (Tab. 1) belegen dies in aller Deutlichkeit. Dabei ist zu beachten, dass die dargestellten Emissionsfaktoren die realen Emissionen unter Alltagsbedingungen wiedergeben und nicht mit den für die Typzulassung relevanten Euro 3-Grenzwerten verwechselt werden dürfen.

in mg/km	CO	VOC	NO _x
Pkw ohne Kat	6.258	1.019	2.700
Pkw Euro 3	606	33	80

Tab. 1 Emissionsfaktoren für Otto-Pkw ohne Kat bzw. nach Euro 3-Norm, Hubraum 1,4 l bis 2 l, Verkehrssituation Durchschnitt außerorts (nach Handbuch Emissionsfaktoren Version 1.2)

Kraftstoffverbrauch

Der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch aller Pkw ist im Zeitraum zwischen 1980 und 1998 um 14 % oder 1,4 Liter pro 100 km zurückgegangen, während die durchschnittliche Motorleistung im selben Zeitraum um 25 % zugenommen hat (von 53 kW auf 66 kW, Abb. 6). Demnach sind die Erfolge bei der Konstruktion verbrauchsärmerer Motoren durch den Trend zu stärkerer Motorisierung teilweise kompensiert worden. Prognosen der Mineralölindustrie gehen aber von einem deutlichen Rückgang des Kraftstoffverbrauchs der Pkw in den kommenden Jahren aus; für 2020 wird ein Durchschnittswert von 5,5-6 Liter pro 100 km für die gesamte Pkw-Flotte angenommen. Diese Vorhersage gründet vor allem auf der Zusage des Verbands der europäischen Automobilhersteller, den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch neuer Pkw bis 2008 auf 5,8 Liter pro 100 km zu senken (vgl. dazu auch den Abschnitt über Emissionsprognose).

Kraftstoffqualität

Abgasemissionen lassen sich in gewissen Grenzen durch die Qualität des Kraftstoffs beeinflussen. Dies gilt beispielsweise für den Benzol- oder Schwefelgehalt, aber auch für andere Kraftstoffkomponenten. Solche Verbesserungen in der Kraftstoff-

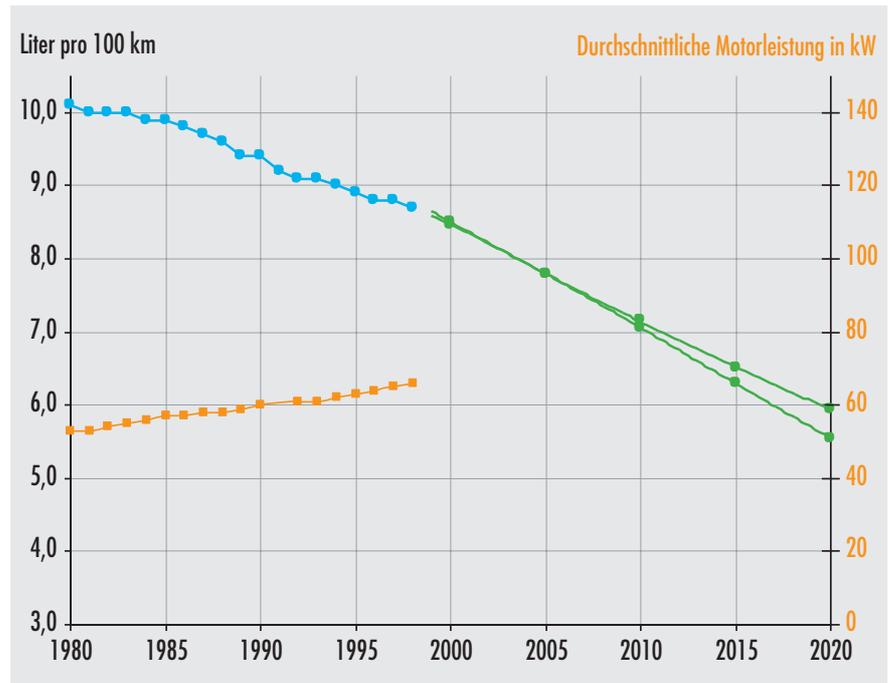


Abb. 6 Pkw-Kraftstoffverbrauch (Flottenwerte) und durchschnittliche Pkw-Motorleistung 1980-2020 (Quellen: Verkehr in Zahlen 1999; Deutsche Shell AG (Prognose 2000-2020))

qualität haben eine unmittelbare Emissionsreduzierung im gesamten Fahrzeugbestand zur Folge, also auch bei älteren Fahrzeugen.

Die Tabellen 2 und 3 geben einen Überblick über die typische Zusammensetzung von Otto- und Diesel-Kraftstoff.

Der Benzolanteil im Benzin ist in den vergangenen Jahren stetig gesunken. Seit dem 1.1.2000 gilt in der Europäischen Union ein Grenzwert von maximal 1 Volumenprozent Benzol in Ottokraftstoff.

Schwefelarmer Kraftstoff

Schwefel als natürlicher Bestandteil des Rohöls führt bei der Verbrennung des Kraftstoffs zu unerwünschten Schwefeldioxid-(SO₂)-Emissionen und beeinträchtigt die Funktion moderner Abgaskatalysatoren. Deshalb wird in der Raffinerie der Schwefelgehalt durch spezielle Verfahren verringert.

Seit 2000 ist ein Schwefelgehalt von bis zu 150 mg/kg in Ottokraftstoff und bis zu 350 mg/kg in Dieseldieselkraftstoff zulässig. Ab 2005 ist innerhalb der EU die Reduzierung des Schwefelgehalts im Kraftstoff auf 50 mg/kg (= 50 ppm) für Otto- und Dieseldieselkraftstoff vorgeschrieben. Dies ist zwar ein Fortschritt, der aber aus Sicht sowohl der Automobilindustrie als auch des Umweltschutzes nicht weit genug geht: Erst durch die Verwendung von nahezu schwefelfreiem Kraftstoff (mit maximal 10 ppm Schwefel) wird der Einsatz neuer sparsamerer Motorkonzepte bei Benzinfahrzeugen und von wirkungsvollen Partikelfiltersystemen und NO_x-Katalysatoren bei Dieselfahrzeugen, und zwar insbesondere bei Lkw und Bussen, möglich.

Deshalb hat Baden-Württemberg 1999 im Bundesrat eine Initiative gestartet mit

Kohlenwasserstoffe	Normal	Super	Super Plus
Alkane (Paraffine)	50-65 %	40-60 %	35-55 %
Alkene (Olefine)	0-21 %	0-18 %	0-18 %
Aromaten	25-42 %	25-42 %	25-42 %
Benzol	0,7 %	0,8 %	0,5 %
Blei	<1 mg/l	<1 mg/l	<1 mg/l
MTBE	0-1,1	0-5,4	0-13,5
(Methyl-tertiär-Butylether)	Vol. %	Vol. %	Vol. %
Schwefel	20-140 mg/kg	10-130 mg/kg	5-45 mg/kg

Tab. 2 Zusammensetzung von Ottokraftstoff Angaben in Masse % (Quelle: Aral; Stand 4/2000)

Dieseldieselkraftstoff	
Alkane (Paraffine)	40-70 %
Cycloalkane (Naphtene)	10-25 %
Alkene (Olefine)	0,1-5 %
Aromaten	10-30 %
davon Benzol/Toluol	-
Blei	-
MTBE	-
Schwefel	110-340 mg/kg

Tab. 3 Zusammensetzung von Dieseldieselkraftstoff Angaben in Masse % (Quelle: Aral; Stand 4/2000)

dem Ziel, über Steuerspreizung - höhere Besteuerung für schwefelhaltigen, niedrigere Besteuerung für schwefelarmen Kraftstoff - die freiwillige Markteinführung von nahezu schwefelfreien Kraftstoffen möglichst rasch zu erreichen. Diese Vorgehensweise hatte sich bei der Einführung des bleifreien Kraftstoffs bewährt.

Die Bundesregierung hat daraufhin beschlossen, die Einführung von schwefelarmem Benzin und Diesel dadurch steuerlich zu fördern, dass ab 1.11.2001 auf alle Kraftstoffe, die einen höheren Schwefel-Grenzwert als 50 ppm aufweisen, ein zusätzlicher Aufschlag auf die Mineralölsteuer von 3 Pf/Liter erhoben wird. In einer 2. Stufe ab dem 1.1.2003 soll dieser Bezugswert für steuerliche Anreize dann auf 10 ppm abgesenkt werden. Das heißt: Alle Kraftstoffe mit einem Schwefelgehalt über 10 ppm werden ab diesem Zeitpunkt mit einem Mineralölsteuersatz belegt, der 3 Pf/Liter höher liegt als für schwefelfreie Kraftstoffe.

Die Mineralölindustrie hat sich auf die Forderung nach einer weiteren Senkung des Schwefelgehalts eingestellt; einzelne Unternehmen brachten bereits im Frühjahr 2000 "schwefelfreies" Super Plus mit einem Schwefelgehalt unter 10 ppm in Teilmengen auf den Markt.

Schwefelfreier Diesel mit weniger als 10 ppm Schwefel steht seit Jahren für Interessenten mit eigenem Tanklager zur Verfügung und wird vor allem von ÖPNV-Unternehmen nachgefragt. An öffentlichen Tankstellen wird er bisher nur selten angeboten.

Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr

Für die Umweltbelastungen durch den Verkehr sind vor allem die gefahrenen Kilometer, also die Verkehrsleistung, von Bedeutung. Dabei sind zu unterscheiden:

- Personenkilometer ("Personenverkehrsleistung"): Produkt aus der Zahl der beförderten Personen ("Personen-

verkehrsaufkommen") und den zurückgelegten Entfernungen, angegeben in Pkm

- Tonnenkilometer ("Güterverkehrsleistung" oder "Transportleistung"): Produkt aus den beförderten Tonnen ("Güteraufkommen") und den zurückgelegten Entfernungen, angegeben in tkm
- Fahrzeugkilometer ("Fahrleistungen"): Produkt aus der Zahl der Fahrzeuge (oder der Züge) und den zurückgelegten Entfernungen, angegeben in Fz-km.

Für den Personenverkehr werden Angaben zur Verkehrsleistung von der amtlichen Statistik im Wesentlichen nur für die Bundesebene geliefert, und auch hier nur für den öffentlichen Verkehr, also für den Eisenbahnen-, den öffentlichen Straßenpersonen- (Busse, Straßenbahnen und U-Bahnen) und für den Luftverkehr. Für den Motorisierten Individualverkehr schätzt das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung - DIW - jährlich mit Hilfe einer Modellrechnung die Fahrleistungen ab und bestimmt, abgeleitet davon, das Verkehrsaufkommen und die Verkehrsleistung. Für die Güterverkehrsleistungen auf Landesebene liegen nur wenige Schätzungen für

ausgewählte Jahre vor (siehe die Abschnitte "Binnenschifffahrt" und "Schienenverkehr"). Deshalb beziehen sich die folgenden Angaben zunächst auf die Bundesrepublik Deutschland als Ganzes. Die Sprünge 1990/1991 in den Abb. 7 und 8 sind wiedervereinigungsbedingt.

Die Entwicklung der *Personenverkehrsleistung* (in Personenkilometer) stellt Abb. 7 für die verschiedenen Verkehrsmittel dar. Der Anteil des Motorisierten Individualverkehrs betrug 1998 80,9 %, Eisenbahnen und öffentlicher Straßenpersonenverkehr lagen bei 7,1 bzw. 8,1 %. Das stärkste prozentuale Wachstum in den vergangenen Jahren hat der *Luftverkehr* zu verzeichnen, der seine Verkehrsleistung zwischen 1990 und 1998 verdoppelt hat. Sein Anteil an der gesamten Personenverkehrsleistung lag 1998 bei 4,0 %.

Die Entwicklung der *Güterverkehrsleistung* (in tkm) erfasst Abb. 8 für den Nah- und Fernverkehr (einschließlich Straßengüterverkehr). Der Straßengüterverkehr zeigt als einziger Bereich ein starkes Wachstum über den gesamten Darstellungszeitraum (Anteil 1998: 67,4 %). Sowohl Eisenbahnen als auch Binnenschifffahrt weisen von ihrer

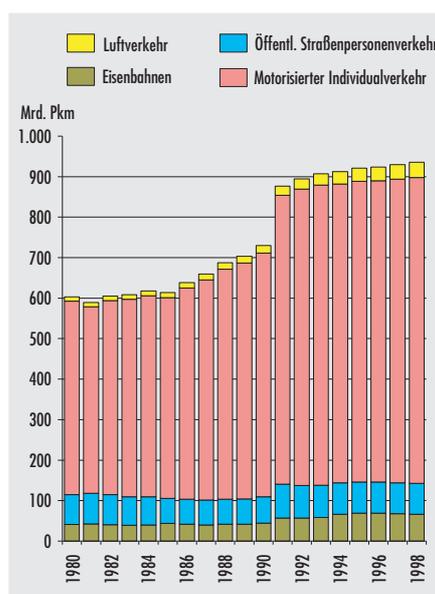


Abb. 7 Personenverkehrsleistung in der Bundesrepublik Deutschland 1980-1998 nach Verkehrsbereichen (Quelle: DIW, Verkehr in Zahlen 1999)

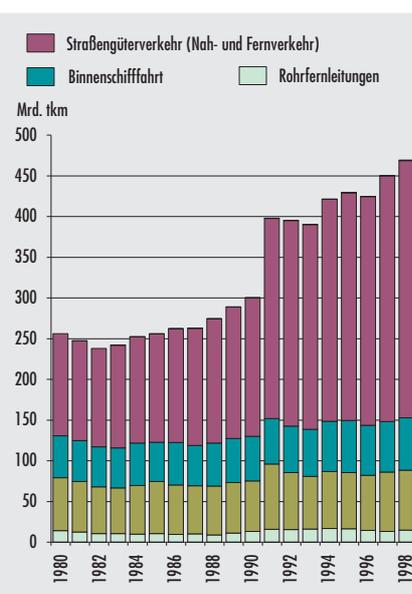


Abb. 8 Güterverkehrsleistung in der Bundesrepublik Deutschland 1980-1998 nach Verkehrsbereichen (Quelle: DIW, Verkehr in Zahlen 1999)

Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr, Emissionen

absoluten Verkehrsleistung her eine leichte Wachstumstendenz auf, die aber nicht ausreicht, um den prozentualen Anteil an der Verkehrsleistung zu halten (Anteil 1998: Eisenbahnen 15,7 %, Schifffahrt 13,7 %). Weitere 3,2 % entfallen auf Rohrfernleitungen. Der Anteil des Luftverkehrs an der Güterverkehrsleistung ist mit 0,14 % (1998) so gering, dass er in der Grafik nicht darstellbar ist.

Verkehrsstärken im Straßenverkehr

Die starke Zunahme der Verkehrsleistung im Personen- wie auch im Güterverkehr auf der Straße hat zu einer entsprechend hohen Belastung des Straßennetzes geführt. Hierfür liegen detaillierte Daten für das Land vor: Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken (DTV), angegeben in Kfz je 24 Stunden, werden flächendeckend alle fünf Jahre im Rahmen einer deutschlandweit einheitlichen Verkehrszählung und in den Jahren dazwischen über automatische Zählstellen ermittelt. Die Entwicklung der DTV-Werte auf den überörtlichen Straßen 1985 bis 1999 zeigt Abb. 9. Das stärkste Wachstum der Fahrleistungen war auf den Autobahnen zu verzeichnen, wo die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in diesem Zeitraum um 49 % zugenommen hat.

Emissionen

Die Emissionen des Verkehrs haben einen wesentlichen, teilweise dominierenden Anteil an den gesamten Schadstoffemissionen.

Der Anteil des Verkehrs beträgt bei den Stickstoffoxid-(NO_x)- und den Kohlenmonoxid-(CO)-Emissionen jeweils 63 %, bei den flüchtigen Kohlenwasserstoffen (VOC) 37 % und bei Partikeln 28 % (vgl. Abb. 10).

Innerhalb des Verkehrssektors kommt dem Kraftfahrzeugbereich eine herausragende Bedeutung zu; sein Anteil an den Emissionen des gesamten Verkehrs liegt bei den dargestellten Schadstoffen zwischen 88 und 96 %. Bei Kraftstoffverbrauch und Emissionen steht nach den

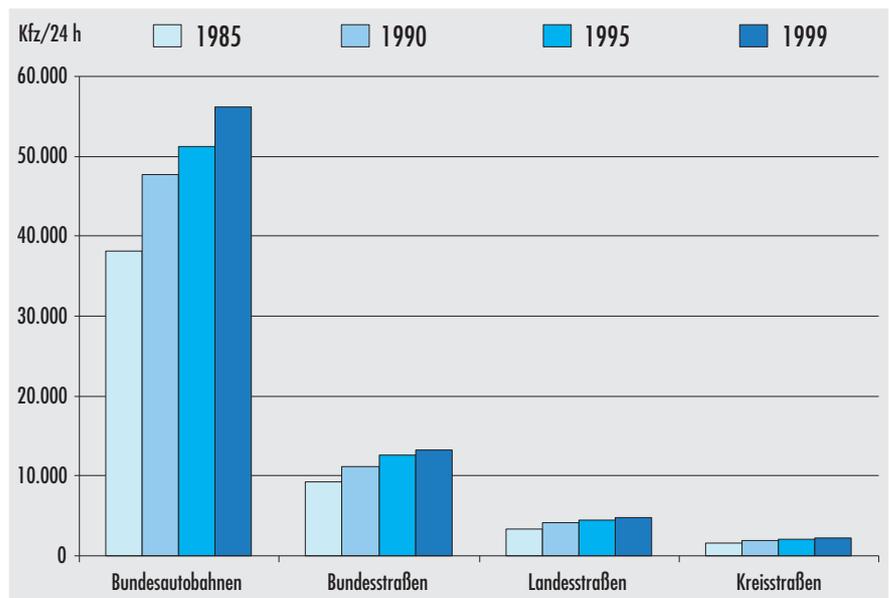


Abb. 9 Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken (DTV) auf den überörtlichen Straßen in Baden-Württemberg 1985-1999 (Quelle: Statistisches Landesamt)

Kraftfahrzeugen der Schiffsverkehr an zweiter Stelle, gefolgt von Bahn und Flugverkehr (Tab. 4).

Kraftfahrzeugverkehr

Abb. 11 setzt die Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs in Bezug zu Bestand, Fahrleistung und Kraftstoffverbrauch. Schwere Nutzfahrzeuge (Lkw über 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht, Busse und Sattelzugmaschinen) haben zwar am Bestand nur einen Anteil von 1,9 %, bei der Fahrleistung sind es aber 7 % und beim Kraftstoffverbrauch 25 %. Ihr Anteil an den Emissionen erreicht bei NO_x und SO₂ je 45 %, beim Partikelausstoß sogar 57 %.

Auf Pkw und Krafträder entfallen mehr als 90 % der Fahrleistung. Sie sind die Hauptemittenten von CO (94 %) und VOC (88 %), leisten aber auch bei den anderen Schadstoffen erhebliche Beiträge (NO_x: 53 %, SO₂: 51 %, Partikel: 36 %).

Der bei einigen Komponenten beträchtliche Anteil der schweren Nutzfahrzeuge an den Kfz-Emissionen geht zum einen darauf zurück, dass Lkw-Motoren hohe Leistungen mit entsprechend großem Abgasausstoß haben. Zum anderen unterscheiden sich Diesel- und Ottomotoren in ihrem Emissionsprofil: Während Ottomotoren im Vergleich deutlich höhere CO-, aber auch VOC- und Benzol-Emissionen aufweisen, emittieren Dieselmotoren mehr NO_x und partikelförmigen Diesel-

	Straßenverkehr	Schiffsverkehr	Schienenverkehr	Flugverkehr*
Kraftstoffverbrauch	95,6 %	2,4 %	1,3 %	0,7 %
Stickstoffoxide (NO _x)	87,7 %	7,3 %	4,3 %	0,7 %
leicht flüchtige Kohlenwasserstoffe (VOC)	95,6 %	3,1 %	1,0 %	0,4 %
Kohlenmonoxid (CO)	94,4 %	2,8 %	0,2 %	2,6 %
Partikel	89,7 %	5,8 %	4,4 %	0,02 %

*Flugverkehr im bodennahen Bereich bis 3.000 ft (ca. 1.000 m) Flughöhe

Tab. 4 Prozentuale Anteile der Verkehrsbereiche am Kraftstoffverbrauch und an den Emissionen des gesamten Verkehrs in Baden-Württemberg. Bezugsjahr 1998. (Quellen: UMEG, LfU)

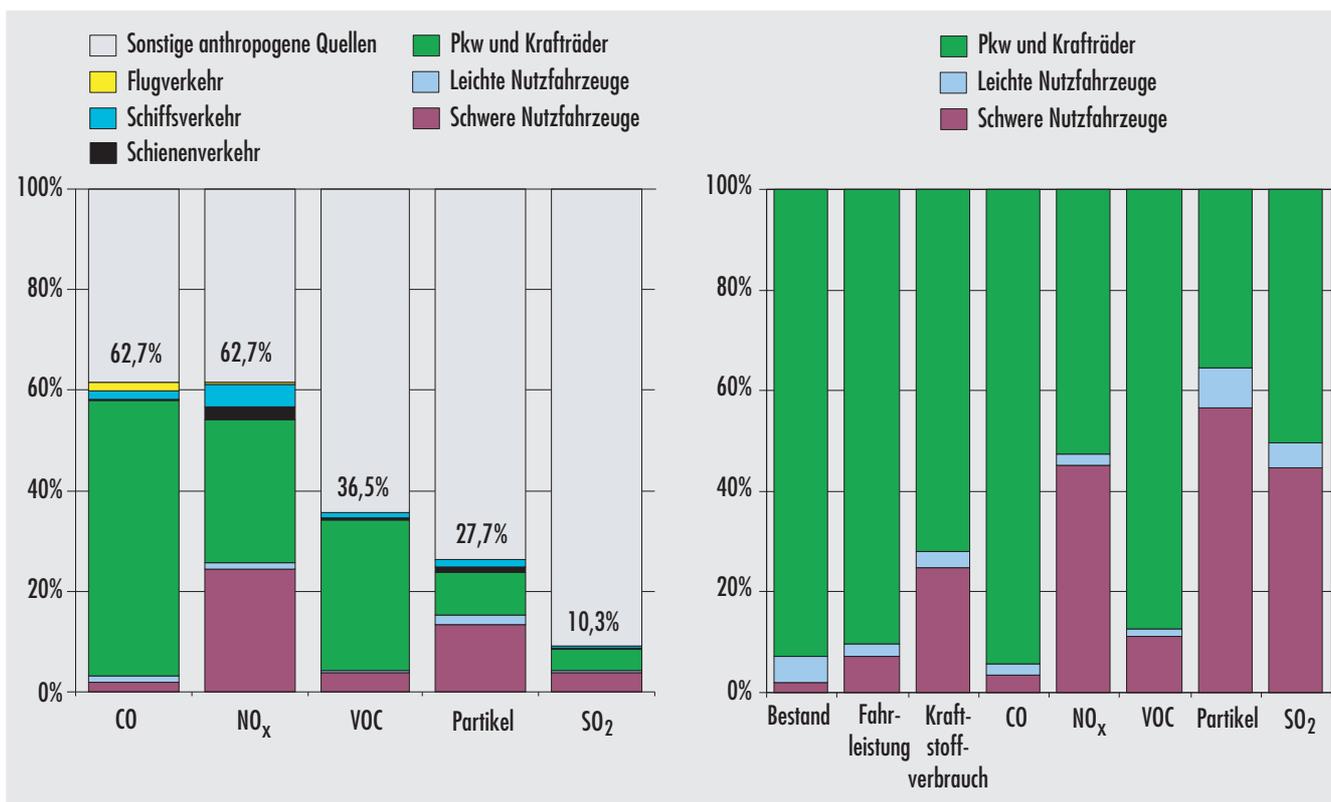


Abb. 10 Anteil der Verkehrsemissionen an den gesamten anthropogenen Emissionen in Baden-Württemberg. Bezugsjahr 1998. (Quellen: UMEG, LfU)

Abb. 11 Fahrleistung, Kraftstoffverbrauch und Emissionen des Kfz-Verkehrs in Baden-Württemberg zum 1.7.1998. (Quellen: UMEG, Kraftfahrt-Bundesamt (KBA))

ruß. Für Pkw nach der ab 1.1.2000 gültigen Abgasnorm Euro 3 verdeutlicht ein Beispiel das Emissionsverhalten (Tab. 5; reale Durchschnittsemissionen, nicht Euro 3-Grenzwerte).

Insbesondere der Partikelaußstoß ist dafür verantwortlich, dass Diesel-Abgas von seiner Gesundheitsgefährdung her auch bei modernen Motoren immer noch um ein Mehrfaches schädlicher eingestuft wird als das Abgas von Ottomotoren. Hier ist eine weitere Absenkung des Emissionsniveaus notwendig, eventuell auch durch den Einsatz von Partikelfiltern.

in mg/km	CO	NO _x	VOC	Partikel
Otto-Pkw	606	80	33	0
Diesel-Pkw	147	266	23	23

Tab. 5 Emissionsfaktoren für Otto-Pkw und Diesel-Pkw nach Euro 3-Norm, Hubraum 1,4 l bis 2 l, Verkehrssituation Durchschnitt außerorts (nach Handbuch Emissionsfaktoren Version 1.2)

Abgasgrenzwerte

In der EU wurden die Abgasgrenzwerte in den vergangenen Jahren zunehmend verschärft. Dies hat für die Luftreinhaltung wesentliche Fortschritte gebracht. Nur so ist es gelungen, trotz wachsender Motorisierung und Fahrleistung die Emissionen zu reduzieren.

Bei den Pkw liegen die ab 2005 geltenden Grenzwerte Euro 4 je nach Komponente

zwischen 68 % und 86 % niedriger als die Grenzwerte der 1992 eingeführten Stufe Euro 1 (Abb. 12).

Für Lkw und Busse hat die EU 1999 die Abgasstufen Euro 3 und 4 beschlossen. Mit der ab 2005 geltenden Stufe Euro 4 sind damit die Grenzwerte gegenüber Euro 1 um 61-69 %, bei Partikeln sogar um 95 % abgesenkt worden (Abb. 13).

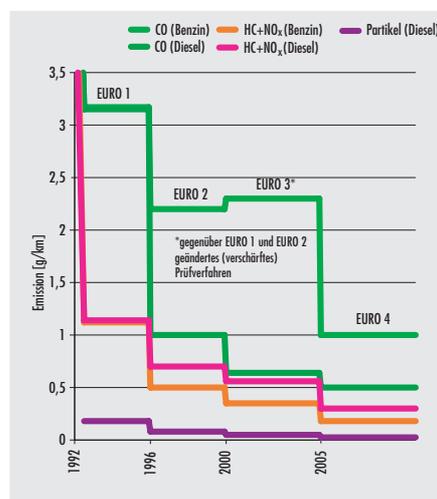


Abb. 12 EU-Abgasgrenzwerte bei Pkw (Quelle: Bundesumweltministerium)

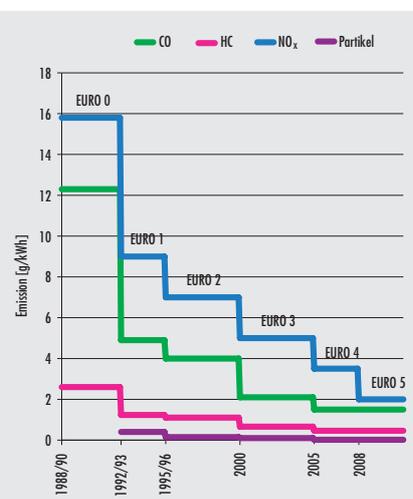


Abb. 13 EU-Abgasgrenzwerte bei Lkw und Bussen (Quelle: Bundesumweltministerium)

Emissionen

Die Vorgaben der Grenzwertstufe Euro 3, die ab 1.10.2000 gilt, können bei Lkw noch mit motortechnischen Maßnahmen erreicht werden; ab Euro 4 werden zumindest bei Lkw mit höherer Leistung voraussichtlich Verfahren zur Abgasnachbehandlung notwendig sein.

Die Kraftfahrzeugindustrie arbeitet intensiv daran, Partikelfilter zu entwickeln. Insbesondere die Regenerierung solcher Systeme bei unterschiedlichsten Fahrbedingungen stellt in der Praxis ein großes Problem dar.

Eingesetzt werden Partikelfilter bereits vereinzelt bei Bussen. Ein französischer Fahrzeughersteller wird noch 2000 den ersten Pkw mit serienmäßigem Partikelfiltersystem auf den Markt bringen.

Die stufenweise Verschärfung der Abgasgrenzwerte hat zu deutlich geringeren Emissionen bei NO_x, VOC, CO, Benzol und Partikeln geführt. Abb. 14 zeigt die bisherige stufenweise Emissionsentwicklung der Pkw im innerörtlichen Bereich, wie sie sich mit dem derzeit gültigen Standarddatensatz zur Emissionsberechnung ergibt. Die stetige Abnahme insbesondere bei NO_x und Benzol geht auf die Flottenverjüngung durch Neufahrzeuge mit niedrigem Emissionsniveau zurück. Auch in Zukunft werden die Emissionen trotz wachsender Fahrleistung weiter abnehmen, bedingt durch die allmähliche Erneuerung des Kfz-Bestands.

Die Altfahrzeuge ohne geregelten Katalysator haben zwar nur noch einen geringen Anteil am Pkw-Bestand, sind aber für einen großen Teil der verbleibenden Emissionen verantwortlich.

Prognose

Im Auftrag des Umweltbundesamtes hat das Heidelberger IFEU-Institut ein Modell zur Berechnung der bundesweiten Verkehrsemissionen erarbeitet, mit dem sich die zukünftige Entwicklung der Emissionen so zuverlässig wie möglich abschätzen lässt (Abb. 15).

Für die NO_x-Emissionen in Deutschland sagt das Modell einen Rückgang bis 2010

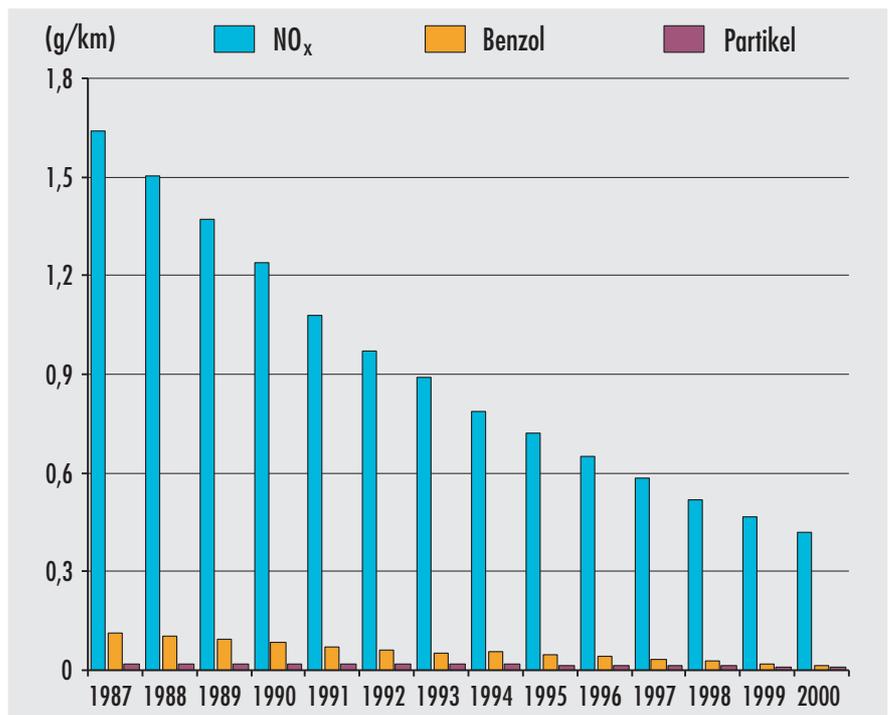


Abb. 14 Abnahme der durchschnittlichen Pkw-Emissionen innerorts 1987-2000, angegeben pro Fahrzeug (berechnet nach Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 1.2)

auf etwa 30 %, für VOC und Benzol auf weniger als 10 % voraus, jeweils bezogen auf das Niveau von 1985.

Ursachen dieses starken zu erwartenden Rückgangs sind die verschärfte Abgasgesetzgebung und der dadurch allmählich erfolgende Austausch des Kfz-Bestands durch schadstoffarme Neufahrzeuge. Letztlich sind die eindrucksvollen Minderungen bei den NO_x-, VOC-, Benzol- und auch den CO-Emissionen ein Erfolg des geregelten Katalysators bei den Otto-Pkw seit Mitte der 80er Jahre.

Dagegen ist die Emission von Partikeln ("Ruß") vor allem ein Problem des Dieselmotors und damit überwiegend von den Nutzfahrzeugen verursacht. Für Partikel wurden erst 1992 Grenzwerte festgelegt. Ein Rückgang der Partikelbe-

lastung ist deshalb erst nach 1993 und damit 3-6 Jahre später als bei den anderen Schadstoffen zu beobachten.

Tab. 6 gibt die in Abb. 15 dargestellte Emissionsentwicklung für die Jahre 2000 und 2010 in Prozent des Wertes von 1985 an. Diese Emissionsprognose, die sich auf das Gebiet des wiedervereinigten Deutschlands bezieht, berücksichtigt sämtliche absehbaren Entwicklungen und ist insofern eine fundierte Abschätzung. Für Baden-Württemberg ergab eine 1999 vom IFEU-Institut durchgeführte Prognose für die Jahre 2010 und 2020 eine vergleichbare Entwicklung.

Die Emissionsentwicklung bei den sogenannten limitierten Schadstoffen, also CO, NO_x, VOC und Partikel, lässt daher erwarten, dass bestehende Immissionsprobleme, beispielsweise in Innenstädten, sich in Zukunft entschärfen werden.

Dagegen ist die Entwicklung der klimawirksamen CO₂-Emissionen, die in unmittelbarem Zusammenhang mit dem verbrauchten Kraftstoff stehen, nicht befriedigend. Zwar zeigt sich seit etwa 1993 eine Verlangsamung des Anstiegs, es

	NO _x	VOC	Benzol	Partikel	CO ₂
1985	100	100	100	100	100
2000	60,4	22,5	17,4	86,1	143,9
2010	29,8	9,1	6,7	29,6	157,9

Tab. 6 Emissionsentwicklung 2000 und 2010 in Prozent des Wertes von 1985 (berechnet nach Handbuch Emissionsfaktoren Version 1.2)



Abb. 15 Prognostizierte Entwicklung der Kfz-Emissionen in Deutschland 1985-2010. Werte berechnet mit dem Verkehrsemissionsmodell TREMOD unter Berücksichtigung der Euro 4-Grenzwerte. Angabe in Prozent, bezogen auf 1985 (Quelle: IFEU Heidelberg; Stand 1999)

ist aber für die kommenden Jahre von einer weiteren Zunahme auszugehen (Abb. 16). Ursache dafür ist der fortdauernde Anstieg der Fahrleistung. Dieser kann durch die bisherigen Anstrengungen zur Verbrauchsverminderung der Fahrzeuge bei weitem nicht ausgeglichen werden.

Für Deutschland insgesamt wird das Maximum der CO₂-Emissionen und somit die Trendwende erst für 2015 erwartet; damit wären die angestrebten Klimaschutzziele nicht zu erreichen.

Die deutsche Automobilindustrie hat sich in einer Selbstverpflichtung bereiterklärt, den CO₂-Ausstoß neuer Pkw bis 2005 um durchschnittlich 25 % gegenüber 1990 zu verringern. Auch der Verband der europäischen Automobilhersteller hat zugesagt, die CO₂-Emissionen neuer Pkw um durchschnittlich 25 % zu reduzieren, und zwar für den Zeitraum 1995-2008. Damit soll der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch bis 2008 auf 5,8 Liter pro 100 km gesenkt werden, was einer CO₂-Emission der Neuwagen von 140 g/km entspricht gegenüber 186 g/km im Jahr 1998.

Bei kontinuierlicher Weiterentwicklung der Automobiltechnik rechnet das IFEU-Institut für Baden-Württemberg beim Verkehr mit einem Rückgang der CO₂-Emissionen bis 2020 um 5 % gegenüber 1990.

Motorisierte Zweiräder

Bei den Pkw haben die Maßnahmen zur Abgasnachbehandlung ein hohes Niveau erreicht. Auch bei den Lkw wird durch die EU-Grenzwerte eine Emissionsminderung erkennbar. Hingegen ist diese Entwicklung an den Motorrädern fast spurlos vorübergegangen. Für sie gelten EU-weit sehr anspruchslose Grenzwerte, die auch ohne Abgasnachbehandlung leicht einzuhalten sind.

Bislang rüstet weltweit nur ein einziger (bayerischer) Hersteller seine Motorräder serienmäßig mit Katalysator aus. Dementsprechend ist der Anteil von

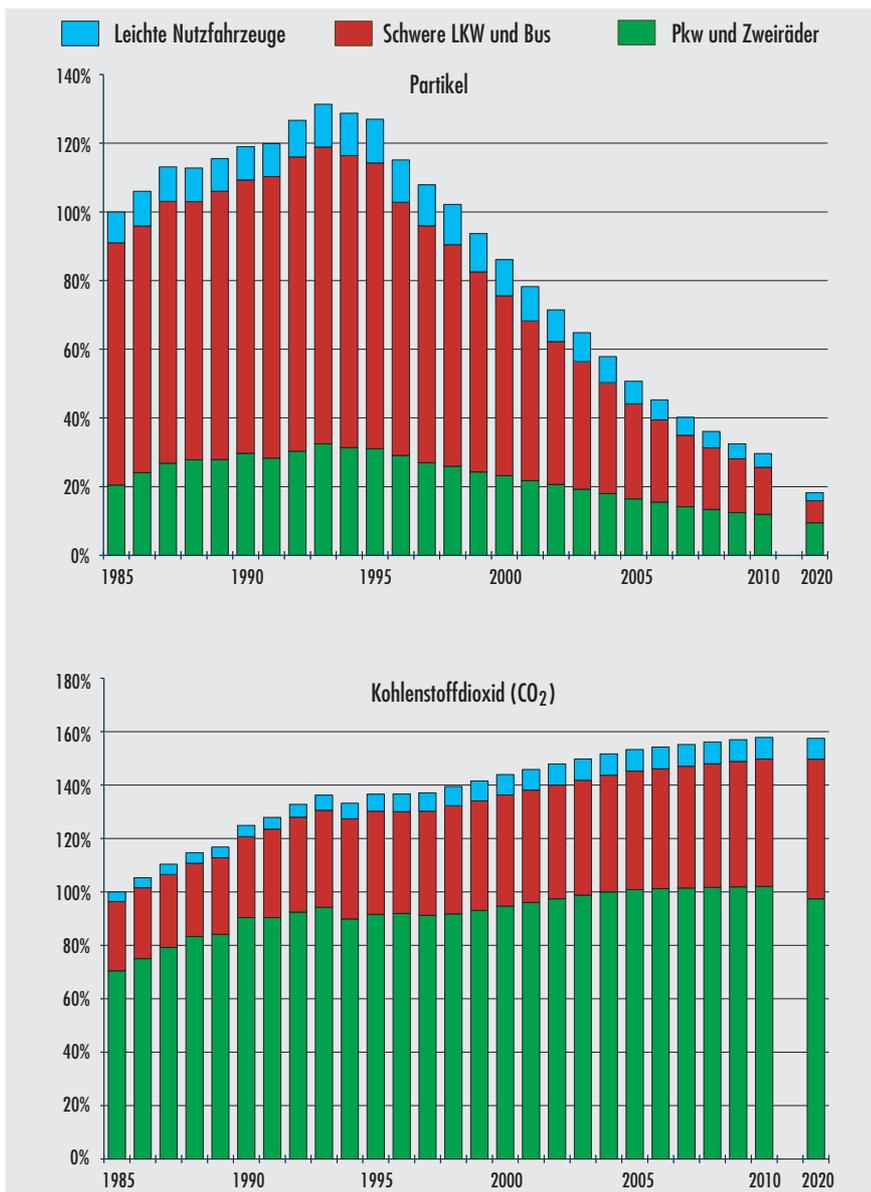


Abb. 16 Prognostizierte Entwicklung der Kfz-Emissionen in Deutschland 1985-2010. Werte berechnet mit dem Verkehrsemissionsmodell TREMOD unter Berücksichtigung der Euro 4-Grenzwerte. Angabe in Prozent, bezogen auf 1985 (Quelle: IFEU Heidelberg; Stand 1999)

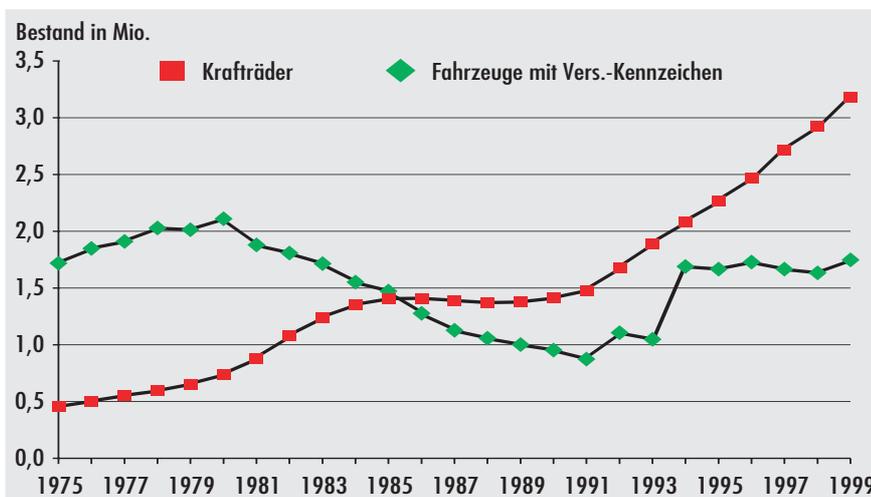


Abb. 17 Bestand an motorisierten Zweirädern 1975-1999 in der Bundesrepublik Deutschland. Krafträder einschließlich Leichtkrafträder. Fahrzeuge mit Versicherungskennzeichen: Kleinkrafträder (Mofas, Mopeds, Mokicks), Hubraum bis 50 ccm (Quelle: Kraffahrt-Bundesamt (KBA))

Motorrädern mit geregelter (2,3 %) und unregelmäßigem (1,4 %) Katalysator in Deutschland äußerst gering (Stand 1.7.1998). Leicht- und Kleinkrafträder (also die Maschinen bis 125 ccm bzw. bis 50 ccm Hubraum, die immerhin 45 % der motorisierten Zweiräder ausmachen) fahren fast ausschließlich ohne jede Abgasnachbehandlung.

Dieser Zustand war bisher weniger aufgefallen, weil die Abgasprobleme der Pkw und Lkw im Vordergrund standen und die Zahl der motorisierten Zweiräder vergleichsweise gering und lange Zeit sogar rückläufig war. Seit 1972 hat die Zahl der Krafträder (Motorräder und Leichtkrafträder) aber wieder zugenommen, und seit Anfang der 90er Jahre verzeichnet diese Fahrzeuggruppe die höchsten Zuwachsraten von allen Kraftfahrzeugen (Abb. 17). Von 1991 und 1999 hat sich der Bestand an Krafträdern mehr als verdoppelt (+115 %), während der Bestand an Pkw nur um 15 % zugenommen hat. Dieser Boom ist auf die Beliebtheit der Motorräder und neuerdings auch der Leichtkrafträder als Freizeitfahrzeug zurückzuführen.

Die 4,9 Mio. motorisierten Zweiräder verteilten sich Mitte 1999 folgendermaßen:

Motorräder	(>125 ccm)	51,5 %
Motorroller	(>125 ccm)	3,5 %
Leichtkrafträder	(>50-125 ccm)	9,5 %
Kleinkrafträder	(bis 50 ccm)	35,5 %

Motorisierte Zweiräder werden überwiegend "fett", also mit Kraftstoffüberschuss, gefahren. Deshalb haben sie einen sehr hohen Ausstoß an Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid, verursacht durch unvollständige Verbrennung im Motor. Insbesondere 2-Takt-Maschinen fallen hier durch extrem hohe Emissionen auf. Zweiräder emittieren 30- bis 175-mal soviel Kohlenwasserstoffe pro gefahrenen Kilometer wie ein moderner Pkw nach Euro 3-Norm (Abb. 18).

Ein Kleinkraftrad mit 50 ccm emittiert 3- bis 6-mal soviel Kohlenwasserstoffe wie ein Lkw.

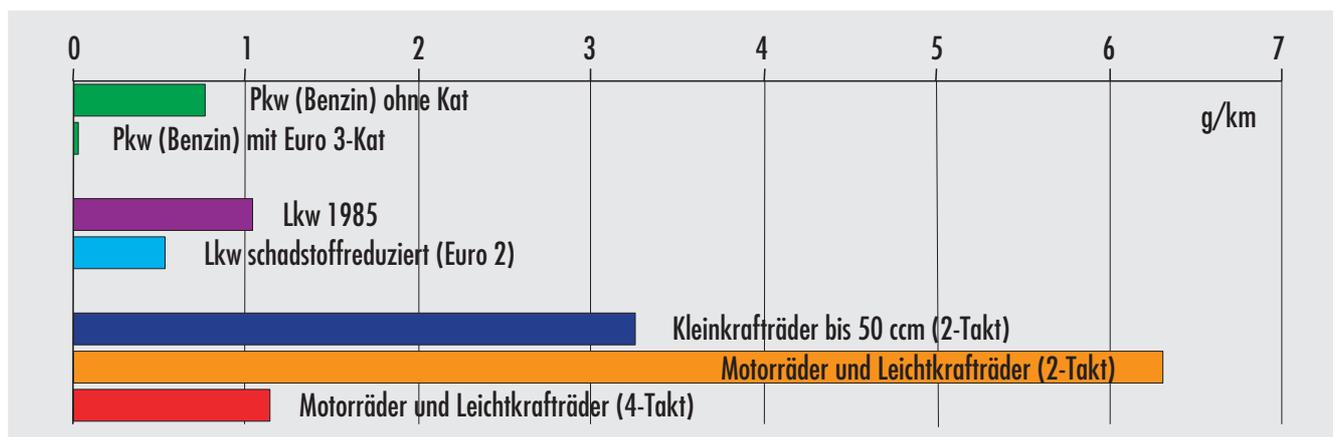


Abb. 18 Kohlenwasserstoff-Emission von motorisierten Zweirädern im Vergleich zu Pkw und Lkw.

Kohlenwasserstoff-Emissionsfaktoren in Abhängigkeit vom Fahrzeugkonzept. Bedingungen: Verkehrssituation Durchschnitt außerorts (ohne BAB), mittlere Geschwindigkeit 78 km/h (Pkw+KR), 72 km/h (Lkw) bzw. 30 km/h (KKR). Ohne Kaltstart. Bezugsjahr 1999. (Quelle: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 1.2)

Nach Berechnungen der UMEG für 1998 verursachen die Zweiräder damit etwa 8 % der Kohlenmonoxid- und 11 % der Kohlenwasserstoff- und Benzol-Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg. Diese Werte gelten im Jahresmittel. Der größte Teil der Fahrleistung bei den Krafträdern fällt in den Sommermonaten an. Daher ist an heißen Sommertagen von einem etwa doppelt so hohen Anteil auszugehen.

Der Anteil an den Emissionen wird noch zunehmen, da der Bestand an Krafträdern weiter anwächst und die Pkw-Emissionen rückläufig sind. Für eine Verbesserung der Emissionssituation bei motorisierten Zweirädern besteht daher ein deutlicher Handlungsbedarf. Zu fordern sind hier, vergleichbar mit der Entwicklung bei den Pkw, eine Grenzwertverschärfung, die Schaffung eines realitätsnahen Fahrzyklus für die Abgasmessung, die Ausrüstung der Neufahrzeuge mit Katalysator, steuerliche Begünstigung von emissionsarmen Fahrzeugen und eine Senkung des Verbrauchs, der mit bis zu 8 l Kraftstoff auf 100 km bei Motorrädern nicht mehr zeitgemäß ist.

Luftbelastung in Ballungsgebieten und Städten

An besonders verkehrsreichen innerstädtischen Straßen können die Anwohner neben dem Lärm auch erheblichen Schadstoffkonzentrationen ausgesetzt

sein. Gemäß der 1997 in Kraft getretenen 23. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (23. BImSchV) müssen an stark befahrenen Straßen, Straßenabschnitten und Verkehrsknotenpunkten die Konzentrationen von Benzol, Stickstoffdioxid (NO_2) und Ruß gemessen werden. Die Prüfwerte liegen für Benzol bei $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jahresmittelwert), für Ruß bei $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jahresmittelwert) und für NO_2 bei $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (98 %-Wert). Werden diese Konzentrationswerte überschritten, so hat die zuständige Verkehrsbehörde emissionsmindernde Maßnahmen zu prüfen.

Bei einem Messprogramm zum Vollzug der 23. BImSchV hat das Land 1997 und 1998 an 64 durch den Verkehr besonders belasteten Messpunkten in 46 Gemeinden die Schadstoffkonzentration von Benzol, Ruß und Stickstoffdioxid bestimmen lassen.

Dabei ergab sich, dass nur an 13 der 64 Messpunkte alle Prüfwerte eingehalten werden; an allen anderen zeigten sich Überschreitungen bei mindestens einer Komponente. Die zulässige Konzentration von Ruß wurde an 45 und von Benzol an 28 Messpunkten überschritten, während die Situation bei NO_2 mit 4 Überschreitungen weniger kritisch war.

Das Ministerium für Umwelt und Verkehr hat im Januar 1999 diese Ergebnisse veröffentlicht. Nun sind die Regierungs-

präsidien und die unteren Verkehrsbehörden damit befasst, die Immissionsituation zu beurteilen und die Wirksamkeit emissionsmindernder Maßnahmen zu prüfen. Soweit angemessene Maßnahmen der Verkehrsplanung und -lenkung noch nicht getroffen werden konnten oder kurzfristig nicht geplant und umgesetzt werden können, eröffnet das Gesetz auch die Möglichkeit von Verkehrsbeschränkungen und Verkehrsverboten, beispielsweise für nicht schadstoffarme Kraftfahrzeuge.

Das Messprogramm wird seit Herbst 1999 fortgeführt; es umfasst 15 Messpunkte des vorigen Programms und 55 neu ausgewählte Messorte.

Für einige fest installierte Messstationen am Straßenrand in Innenstädten liegen Immissionsmessungen für Benzol, Ruß und NO_2 über mehrere Jahre vor. Den Verlauf der Jahresmittelwerte an diesen fünf Straßenmessstationen zeigt Abb. 19. Diese Ergebnisse können zur Beurteilung des Trends der innerstädtischen Immissionsentwicklung herangezogen werden.

Bei *Benzol* ist insgesamt ein Rückgang der Messwerte zu verzeichnen. Hier wirken sich die Emissionsminderungsmaßnahmen der vergangenen Jahre, wie zunehmender Anteil von Fahrzeugen mit geregelter Katalysator und die Reduzierung des Benzolgehalts im Benzin, positiv auf die Immissionsituation aus.

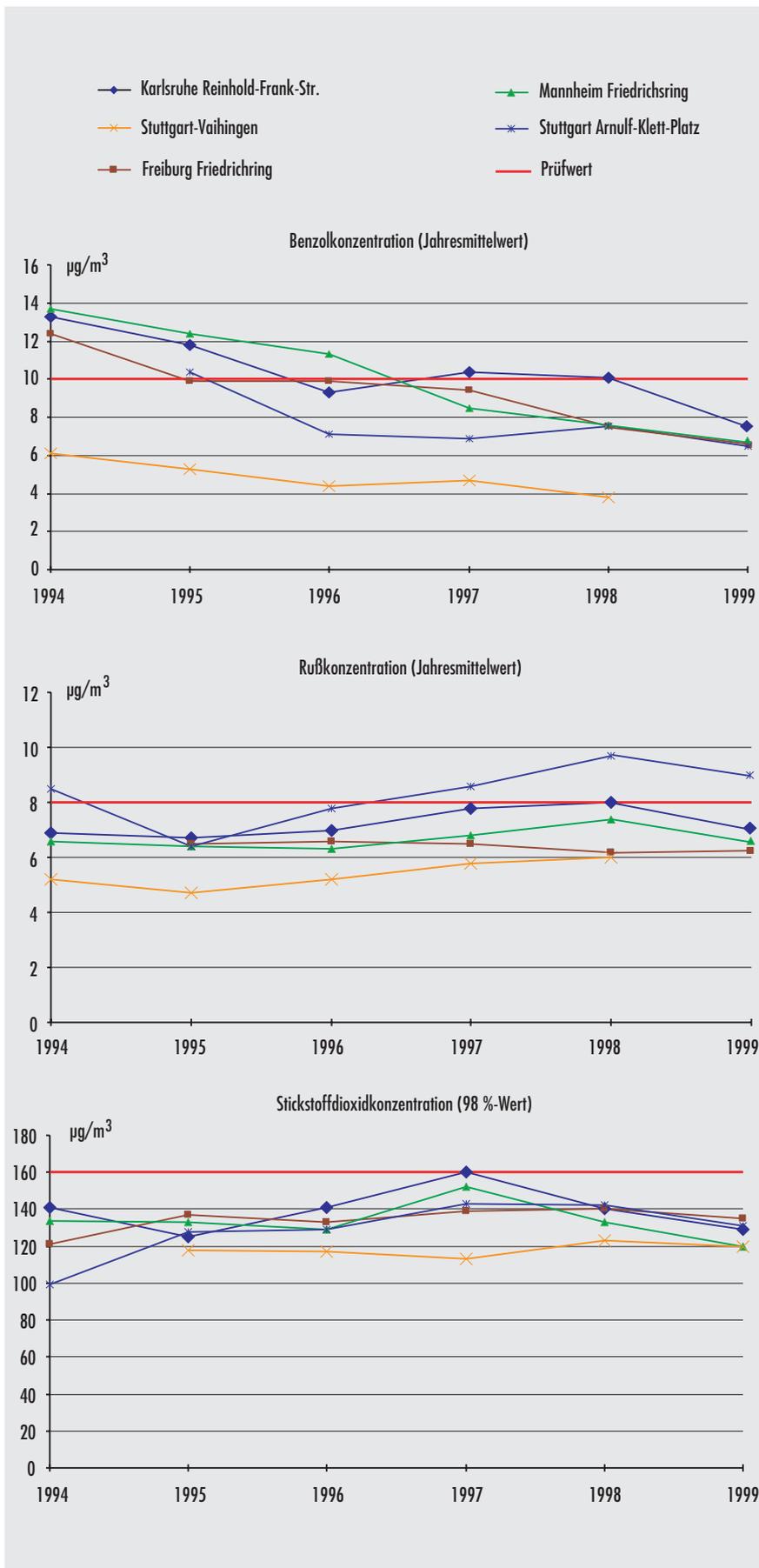


Abb. 19 Konzentrationen von Benzol, Ruß und NO_2 an verkehrsreichen Straßen in Städten Baden-Württembergs. Der Prüfwert der 23. Bundesimmissionsschutz-Verordnung ist rot eingezeichnet. (Quellen: UMEG, LfU)

Die *Ruß*-Konzentrationen zeigen zwischen 1995 und 1998 an fast allen Stationen eine ansteigende Tendenz, während 1999 ein Rückgang zu verzeichnen ist. Eine eindeutige Abnahme der verkehrsbedingten Partikelbelastung, wie sie von der Emissionsprognose vorhergesagt wird, lässt sich an diesen Stationen bislang nicht erkennen.

Die *Stickstoffdioxid*-Werte verharren auf hohem Niveau ohne eindeutige Tendenz. Eine Abnahme ist bisher ebenfalls nicht erkennbar. Die an den Stationen in Karlsruhe und Mannheim 1997 erreichten Maximalwerte gehen auf den Einfluss einer ausgeprägten regionalen Inversionswetterlage im Januar des Jahres zurück.

Der ausgebliebene Rückgang der Ruß- und NO_2 -Belastung an den innerstädtischen Stationen deutet darauf hin, dass die Minderungsmaßnahmen bei den Fahrzeugen durch das zunehmende Verkehrsaufkommen, insbesondere bei den schweren Nutzfahrzeugen, bisher weitgehend kompensiert werden.

Binnenschifffahrt

Unter Energie- und Umweltgesichtspunkten ist der Transport auf den Wasserstraßen vorteilhaft. Zwischen 1990 und 1998 hat trotz starker Konkurrenz durch Schiene und Straße die Transportleistung auf den Wasserstraßen des Landes von 6,25 Mrd. tkm 1990 auf 6,36 Mrd. tkm 1998 um 1,7 % zugenommen, wobei in diesem Wert auch Transitverkehr im Oberrheingebiet enthalten ist. Die Entwicklung verlief demnach relativ konstant, obwohl gleichzeitig die Beförderung von 70,3 auf 66,3 Mio. t zurückging. Der Grund für diese gegenläufige Entwicklung liegt in einer Zunahme der durchschnittlichen Transportweite. Diese stieg im betrachteten Zeitraum von 89 auf knapp 96 km. Auch auf Bundesebene ist ein Anstieg der durchschnittlichen Transportweite in der Binnenschifffahrt zu beobachten, die sich von 1991 bis 1998 von 244 auf 272 km vergrößerte.

Auch die Struktur der beförderten Güter hat sich verändert: Während die Transporte von Massengütern wie Bau- und Brennstoffe zurückgegangen sind, haben Transporte von Fahrzeugen, Maschinen und vor allem Containern stark zugenommen. Insgesamt ist jedoch der Anteil der Binnenschifffahrt an der Transportleistung (tkm) aller Verkehrsträger (einschließlich Rohrfernleitungen) zwischen 1990 und 1998 von 12,5 % auf rund 11,5 % zurückgegangen.

Auch das Güteraufkommen (in t) war zwischen 1990 und 1999 von 39,9 Mio. t auf 32,2 Mio t rückläufig (Abb. 20). Ein großer Teil dieses Rückgangs erklärt sich jedoch durch die Zusammenlegung und den Umbau von Raffinerien im Einzugsbereich des Hafens Karlsruhe. Im Gefolge davon hat sich der Güterumschlag in Karlsruhe von 12 Mio. t auf rund 6 Mio. t verringert und damit praktisch halbiert. In den ersten sechs Monaten des Jahres 2000 hat der Güterumschlag in der Binnenschifffahrt des Landes auf 19 Mio. t zugenommen. Mit diesem Anstieg um 2 Mio. t (11,9 %) gegenüber dem entsprechenden Vorjahreszeitraum scheint die seit langem rückläufige Tendenz fürs Erste einmal gestoppt zu sein. Dazu kommt ein Güterverkehrsaufkommen in gleicher Größenordnung (1998: 32,8 Mio. t), das als Durchgangsverkehr für

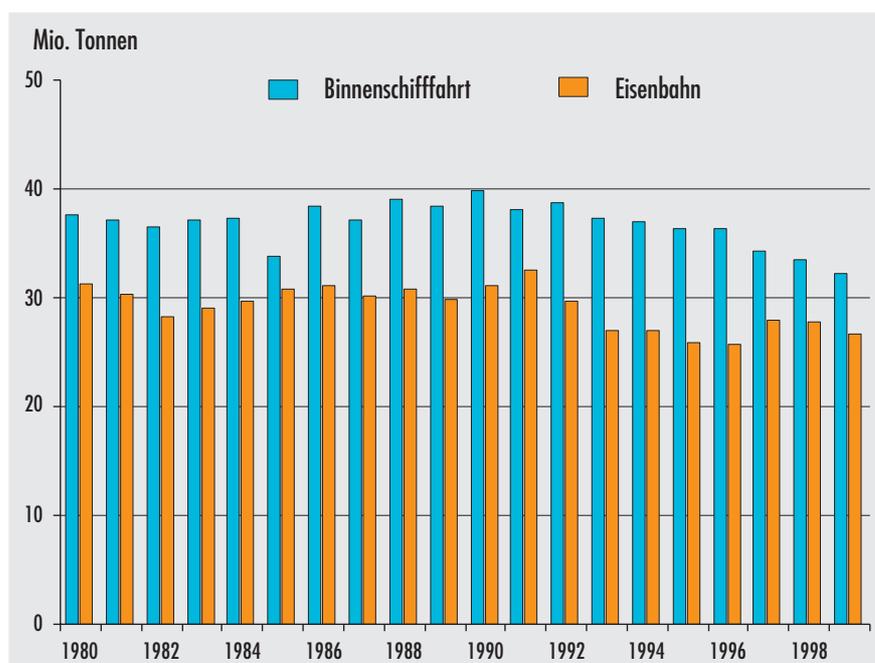


Abb. 20 Beförderte Güter (Güteraufkommen) in der Binnenschifffahrt und im Schienenverkehr (Güter- und Personenverkehr) in Baden-Württemberg 1980-1999 (Quelle: Statistisches Landesamt)

Häfen außerhalb Baden-Württembergs bestimmt ist. Nicht berücksichtigt ist in Abb. 20 die Beförderungsleistung der Bodenseefähren.

Für die Berechnung der Emissionen ist der gesamte Schiffsverkehr einschließlich Durchgangs- und Freizeitverkehr betrachtet worden. Hierbei wurden 374 km schiffbare Länge auf dem Rhein und 203 km auf dem Neckar sowie die gesamte Fläche des Bodensees berücksichtigt.

Die Rheinschifffahrt hält den größten Anteil am Kraftstoffverbrauch (68 %) sowie an den NO_x-, SO₂-, CO₂- und Partikelemissionen des Binnenschiffsverkehrs (Tab. 7). Dagegen werden die CO- und VOC-Emissionen auf dem Bodensee vom Personenschiffsverkehr dominiert, der aufgrund des hohen Otto-Motoren-Anteils durch die Freizeitschifffahrt einen mit dem Kraftstoffanteil verglichen deutlich überproportionalen Beitrag zu diesen Schadstoffen leistet.

Aufgeschlüsselt nach Schiffsgattungen ergibt sich: Die *Güterschifffahrt* nimmt mit 9,1 Mio. gefahrenen km einen Anteil von über 85 % an der Fahrleistung und von 80 % am Kraftstoffverbrauch ein. Sie trägt, außer bei den CO- und VOC-Emissionen, stets zu über 80 % der Emissionen bei. Demgegenüber ist die *Personenschifffahrt* von Kraftstoffverbrauch (5,4 %), Fahrleistung (3,7 %) und Emissionen her vernachlässigbar.

Die "sonstigen Schiffe" (überwiegend Sportboote) sind am Kraftstoffverbrauch mit 14,6 % beteiligt, verursachen jedoch 87 % der CO- und 66 % der VOC-Emissionen.

in t/Jahr	KV	CO	VOC	NO _x	SO ₂	Partikel	CO ₂
Rhein	101.800	1.589	653	6.073	163	185	320.630
Neckar	23.776	287	120	1.426	38	43	74.893
Bodensee	23.922	9.930	1.076	636	23	20	74.854
Summe	149.498	11.806	1.849	8.135	224	248	470.377

Tab. 7 Kraftstoffverbrauch (KV) und Schadstoffemissionen der Binnenschifffahrt auf Rhein, Neckar und dem gesamten Bodensee 1998 (Quelle: LfU)

in t/Jahr	KV	CO	VOC	NO _x	SO ₂	Partikel	CO ₂
Streckenverkehr	43.106	581	382	2.369	46	96	135.750
Rangierdienst	41.182	412	206	2.471	41	93	129.723
Summe	84.288	993	588	4.840	88	189	265.473

Tab. 8 Kraftstoffverbrauch (KV) und Schadstoffemissionen des diesel- bzw. dampfbetriebenen Schienenverkehrs in Baden-Württemberg 1998 (Quelle: LfU)

Schienerverkehr (Personen- und Güterverkehr)

Die Gütertransportleistung auf der Schiene hat zwischen 1990 (7,37 Mrd. tkm) und 1998 (rund 7,5 Mrd. tkm) um 1,8 % zugenommen und ist damit in ähnlicher Größenordnung gestiegen wie bei der Binnenschifffahrt. Der Anteil des Schienengüterverkehrs an der gesamten Transportleistung ist jedoch im gleichen Zeitraum von 14,7 % (1990) auf rund 13,5 % (1998) zurückgegangen. Auch das Güteraufkommen des Schienenverkehrs (in t) hat sich zwischen 1990 (31,2 Mio t) und 1999 (26,7 Mio. t) um 14,3 % verringert (Abb.21). Bemerkenswert ist jedoch, dass sich dieser Rückgang ausschließlich in der ersten Hälfte des vergangenen Jahrzehnts vollzogen hat, während seit 1995 (25,8 Mio. t) wieder ein leichter Anstieg festzustellen ist.

Unmittelbare *Emissionen* aus dem Schienenverkehr entstehen durch Dieseltrieb auf den nichtelektrifizierten Strecken; dies sind bei der Deutschen Bahn AG etwa 49 %, bei den nichtbundes-eigenen Eisenbahnen 70 % des Streckennetzes. Dazu kommen die Fahrten aus dieseltriebenem Rangierbetrieb, die auf insgesamt 47 Bahnhöfen stattfinden. Vollständigkeitshalber wurden auch dampfbetriebene Züge erfasst.

Streckenverkehr und Rangierverkehr tragen in ähnlichen Größenordnungen zum Kraftstoffverbrauch und zu den meisten Emissionen bei. Lediglich bei CO und VOC überwiegt der Streckenverkehr mit ca. 59 % bzw. 65 % (Tab. 8).

Unterscheidet man nach Zugattungen, so zeigt sich: *Personenzüge* verursachen den überwiegenden Teil der Emissionen. Ihr Kraftstoffverbrauch von etwa 30.900 t entspricht einem Anteil von etwa 72 % des gesamten Schienenverkehrs; die Anteile an den Gesamtemissionen liegen in vergleichbarer Größenordnung. *Güterzüge* haben einen Anteil zwischen 22 % und 27 % an Kraftstoffverbrauch und Emissionen; der Beitrag von Einsatzzü-

gen mit Diesellokomotiven auf elektrifizierten Strecken beträgt jeweils etwa 4 %.

Flugverkehr

Der Flugverkehr zeichnet sich durch eine hohe Wachstumsdynamik aus. Dies wird aus der Entwicklung der Fluggastzahlen deutlich (Abb. 21).

Die Zahl der Fluggäste hat 1999 in Stuttgart 7,69 Mio. erreicht und sich damit gegenüber 1989 verdoppelt. Von den Fluggastzahlen her liegt Stuttgart damit auf Rang 6 der deutschen Flughäfen.

In Friedrichshafen hat die Zahl der Passagiere von 1989 bis 1999 sogar um 120 % zugenommen. Der neue Regionalflughafen Karlsruhe/Baden-Baden zeigt

in den drei Jahren seines Bestehens hohe Zuwachsraten.

Für die Berechnung der Emissionen des bodennahen Flugverkehrs wurden der Flughafen Stuttgart, die beiden Regionalflughäfen Friedrichshafen und Karlsruhe/Baden-Baden, 113 Flug- und Segelflugplätze sowie 18 Hubschrauberlandeplätze berücksichtigt.

Erfasst wurde dabei der Höhenbereich bis etwa 1000 m (Tab. 9). Eine Erhebung der Emissionen des Flugverkehrs in Höhen über 1000 m steht bislang für Baden-Württemberg nicht zur Verfügung. Gleichwohl tragen solche Emissionen zur überregionalen Schadstoffbelastung und damit zu Prozessen wie etwa der europaweiten Ozonbildung bei.

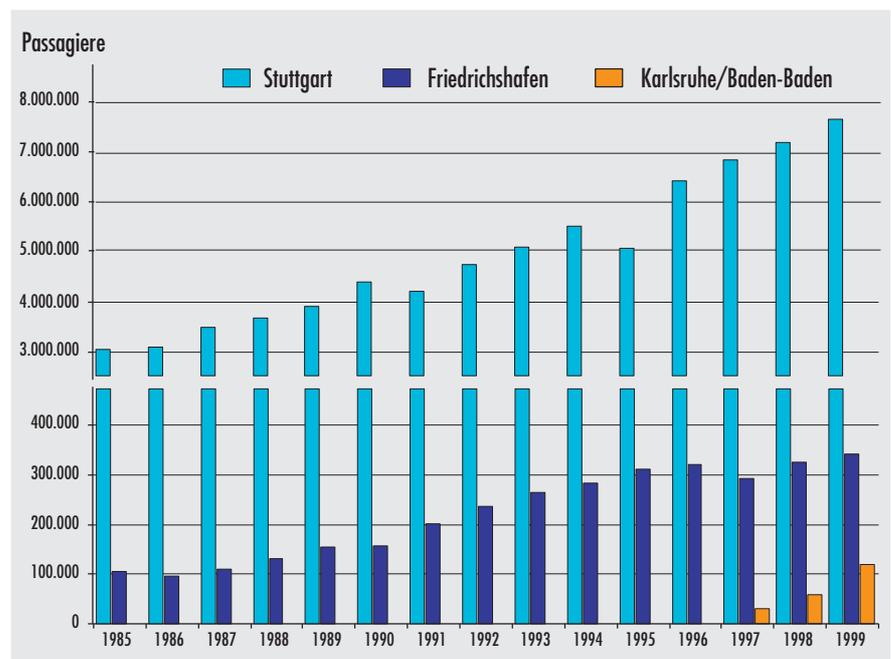


Abb. 21 Gesamtzahl der beförderten Passagiere pro Jahr auf den Flughäfen Stuttgart, Friedrichshafen und Karlsruhe/Baden-Baden (Quelle: Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen)

in t/Jahr	KV	CO	VOC	NO _x	SO ₂	Partikel	CO ₂
Stuttgart	30.953	546	61,4	690,9	31,0	0,6	97.501
Friedrichshafen	1.670	363	16,8	46,5	1,7	0,0	5.259
Karlsruhe/Baden-Baden	2.183	273	11,0	59,0	2,0	0,0	6.876
sonst. Flug- und Landeplätze	9.351	10.061	149,1	42,1	9,4	0,2	29.454
Summe	44.155	11.244	237,9	838,6	44,2	0,8	139.089

Tab. 9 Kraftstoffverbrauch (KV) und Schadstoffemissionen des bodennahen Flugverkehrs in Baden-Württemberg 1998. Erfasst sind die Emissionen im bodennahen Bereich bis 3.000 ft (ca. 1.000 m Höhe). Start- und Landephase, Bewegungen am Boden und Platzrunden (Quelle: LfU)

Der *Flughafen Stuttgart* ist die maßgebliche Emissionsquelle des Flugverkehrs im Land. Sein Anteil am Kraftstoffverbrauch liegt mit ca. 30.950 t bei 70 % des gesamten bodennahen Flugverkehrs. Der Anteil an den Emissionen beträgt bei CO₂ und SO₂ ebenfalls 70 %, Ruß etwa 68 % und bei NO_x über 82 %. Dieser hohe Anteil geht auf den Einfluss der Jet-Triebwerke zurück, die mit ihren hohen Verbrennungstemperaturen zu einer verstärkten NO_x-Emission führen. Demgegenüber beträgt der Emissionsanteil bei den Kohlenwasserstoffen (VOC) lediglich knapp 26 % und bei CO nur 5 %.

Dagegen verursachen *die sonstigen Flug- und Landeplätze* 90 % der CO- und 63 % der VOC-Emissionen. Dieser weit überproportionale Wert kommt durch die hohen spezifischen Emissionsfaktoren der ein- und zweimotorigen Propellermaschinen zustande, mit denen der überwiegende Anteil (59 %) aller Flugbewegungen stattfindet und die bislang keiner Emissionsbegrenzung unterliegen.

Anhang

Quellen- und Literaturhinweise

Verkehrsministerium Baden-Württemberg, Stuttgart (Hrsg.):

- Generalverkehrsplan Baden-Württemberg 1995, Stuttgart 1995
- Wissenschaftliche Begleituntersuchungen zum Generalverkehrsplan Baden-Württemberg. Band I Prognosen und Wirkungsanalysen, Stuttgart 1995

Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart (Hrsg.): Straßenverkehr in Baden-Württemberg, Jahresvergleich 1999/98

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Emissionen von motorisierten Zweirädern in Baden-Württemberg, Karlsruhe 1999

Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU): Die Entwicklung der Kfz-Emissionen in Deutschland 1985-2010. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Heidelberg 1999

Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU): Emissionen des Verkehrs in Baden-Württemberg 1990-2020, Aktualisierung und Erweiterung der Emissionsberechnung für den Generalverkehrsplan Baden-Württemberg. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr. Heidelberg, Juli 1999

UMEG: Bericht Nr. 1-1/00: Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg 1998

Umweltbundesamt/BUWAL: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 1.2, Januar 1999

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW): Verkehr in Zahlen, Ausgabe 1999

Kraftfahrt-Bundesamt: Statistische Mitteilungen, Reihe 2, Sonderheft 1. 2000

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg:

Die Verkehrswirtschaft 1998, Reihe "Statistik von Baden-Württemberg", Band 532

Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg, in: Baden-Württemberg in Wort und Zahl, Heft 10/1999, S. 502-515

Statistische Berichte, Reihe Verkehr in Baden-Württemberg (jährlich, ab 1999) Luftverkehr in Baden-Württemberg 1998, in: Baden-Württemberg in Wort und Zahl, Heft 11/1999

Deutsche Shell AG (Hrsg.): Mehr Autos - weniger Emissionen. Shell Pkw-Szenarien, Hamburg 1999

<http://www.shell.com/downloads/publications/50262.zip>

Aviso (Aachener - Verkehrs - Ingenieur - Sozietät): Ermittlung der Emissionen von verkehrsbezogenen Kategorien des Offroad-Bereichs in Baden-Württemberg auf der Grundlage der Methodik für das Untersuchungsgebiet Oberrhein (INTERREG II). Schlussbericht. Im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Aachen 2000.

Informationsmöglichkeiten

www.uvm.baden-wuerttemberg.de

www.statistik.baden-wuerttemberg.de

www.ifeu.de

www.aral.de

www.shell.com/de-de

Klimaschutz und Energie

Die sich durch menschliche Einflüsse ändernde Zusammensetzung der Erdatmosphäre und die damit verbundenen Risiken sind eine der größten Bedrohungen für die Menschheit.

Seit 1900 kam es zu einer globalen Temperaturerhöhung von ca. 0,5 Grad Celsius, verbunden mit einem Anstieg des Meeresspiegels um 10-20 cm. Ursache hierfür ist wahrscheinlich die Konzentrationszunahme der *Treibhausgase* in der Atmosphäre. Falls keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden, muss bis 2025 mit einem weiteren Ansteigen um ca. 2 Grad gerechnet werden. Ein solcher Temperaturanstieg hätte nach heutigen Erkenntnissen schwerwiegende Folgen für den Menschen und Auswirkungen auf sämtliche Ökosysteme. Verantwortlich hierfür sind die Treibhausgase ("Kyoto-Gase") Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (N₂O), Halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW), FKW und Schwefelhexafluorid (SF₆). Dabei ist zu erwähnen, dass die ebenfalls treibhausrelevanten Fluorchlorkohlenwasserstoffe inzwischen von Ersatzstoffen abgelöst wurden; FCKW wurden teilweise durch FKW ersetzt, die zu einem Temperaturanstieg mit beitragen.

Deutschland trägt durch seinen Energieverbrauch in beträchtlichem Umfang zum Treibhauseffekt bei; hierbei spielen die CO₂-Emissionen bei der Energieumwandlung eine Schlüsselrolle. Während sie weltweit für ca. 50 % des vom Menschen verursachten (anthropogenen) Treibhauseffekts verantwortlich sind, liegt der Wert in Baden-Württemberg bei über 90 %. Methan und N₂O spielen daneben noch eine untergeordnete Rolle.

Das 1997 angenommene "Kyoto-Protokoll" sieht vor, dass die Industrieländer ihre Emissionen der sechs im Protokoll genannten Treibhausgase bis zur Zielperiode 2008-2012 gegenüber 1990 im Durchschnitt um 5,2 % mindern. Die EU hat sich völkerrechtlich bindend

ENERGIE

Klimaschutz und Energie	C – 1
Energieverbrauch	C – 2
CO ₂ -Emissionen	C – 6
Blockheizkraftwerke	C – 6
Ausblick	C – 8
Anhang	C – 8

verpflichtet, die Emissionen bis 2008-2012 um 8 % zu reduzieren.

Die Bundesregierung hat sich 1995 freiwillig zum Ziel gesetzt, die CO₂-Emissionen bis 2005 gegenüber 1990 um 25 % zu reduzieren. Deutschland wird ferner seinen Beitrag auf Grund des EU-Lastenverteilungsabkommens (Burden Sharing) zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls erbringen und bis 2008/2012 die Emissionen der Kyoto-Gase um insgesamt 21 % gegenüber 1990 mindern. Baden-Württemberg hat sich verpflichtet, hierzu einen angemessenen Beitrag zu leisten. In Deutschland lagen die CO₂-Emissionen 1999 um 15,3 % niedriger als 1990, der Ausstoß der sechs "Kyoto-Gase" ging um 18,5 % gegenüber dem Niveau von 1990 zurück.

Die *Senkung des Energieverbrauchs* bei anhaltender technischer und wirtschaftlicher Weiterentwicklung ist somit zu einer wesentlichen Aufgabe der Gesellschaft geworden. Dies ist um so wichtiger, als mit dem Einsatz fossiler Brennstoffe (Erdöl, Erdgas, Kohle) hohe Umweltbelastungen (siehe Kapitel Luft) einhergehen und es bei der Förderung und dem Transport dieser Brennstoffe immer wieder zu lokalen Umweltkatastrophen kommt. Schließlich zwingt allein die Tatsache, daß jährlich fossile Brennstoffe verbrannt werden, zu deren Nachbildung 500.000 Jahre nötig sind, zu enormen Anstrengungen.

Hieraus wird deutlich, dass der möglichst geringe Einsatz fossiler Brennstoffe unabhängig vom Treibhauseffekt sinnvoll

und notwendig ist, d.h. es handelt sich um sogenannte No-regret-Maßnahmen.

Die Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages schätzt die technischen Energieeinsparpotentiale auf 35-45 % und das technische Potential erneuerbarer (regenerativer) Energiequellen in Deutschland auf 23-27 % des Primärenergieverbrauchs (PEV) von 1987 (Abb. 1). So beziffert z.B. die Stuttgarter Akademie für Technikfolgenabschätzung allein das Potenzial der Biomasse auf 5-10 %. Weltweit übersteigt das Potenzial der erneuerbaren Energien den Energiebe-

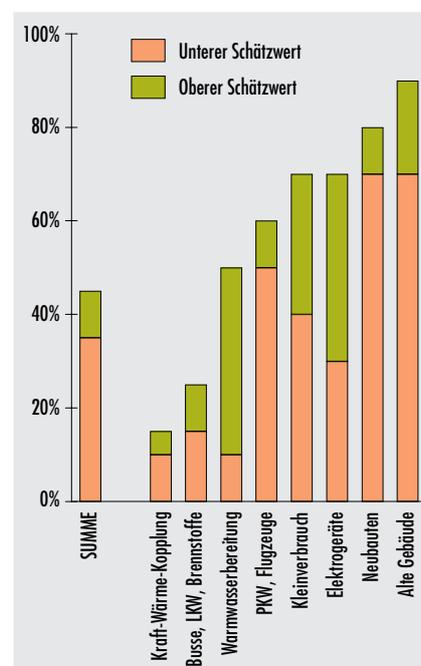


Abb. 1 Technische Energieeinsparpotentiale in einzelnen Sektoren bezogen auf den PEV von 1987 (Quelle: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages, Stand 1998)

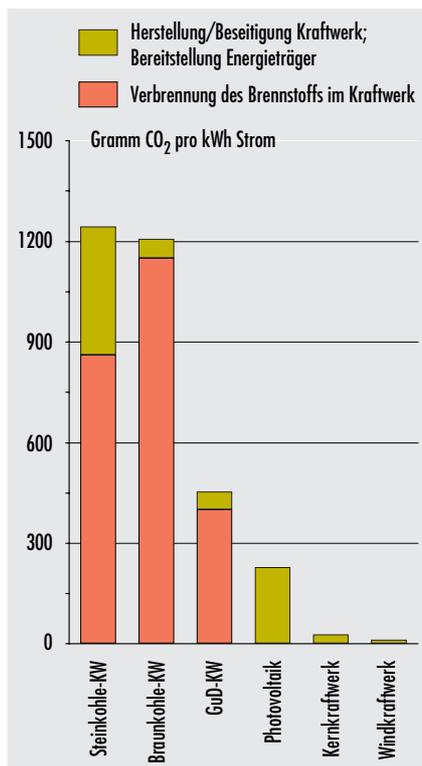


Abb. 2 CO₂-Emissionen pro erzeugter kWh Strom (Quelle: VDI-Bericht 1093)

darf zwar um ein Vielfaches, doch ist dieses Potenzial derzeit nicht nutzbar.

Wie stark der Einfluss der Art und Weise der Energieerzeugung auf die damit verbundenen Emissionen ist, macht Abb. 2 am Beispiel der klimarelevanten CO₂-Emissionen bei der Stromerzeugung deutlich. Während bei Kraftwerken (KW) mit fossilen Brennstoffen CO₂-Emissionen sowohl beim Betrieb der Anlage als auch in den vor- und nachgelagerten Prozessketten entstehen, wird bei der Energieerzeugung durch Kernenergie, Sonne und Wind während des Betriebs kein CO₂ freigesetzt.

Energieverbrauch

Primärenergieverbrauch (PEV)

Die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs (PEV) in Baden-Württemberg 1973-1998 zeigt deutlich die Auswirkungen der beiden „Ölkrisen“ der Jahre 1973 und 1979, die einen bemerkenswerten Rückgang des Energieverbrauchs in den jeweiligen Folgejahren mit sich brachten. Insgesamt hat der PEV seit 1973 jedoch

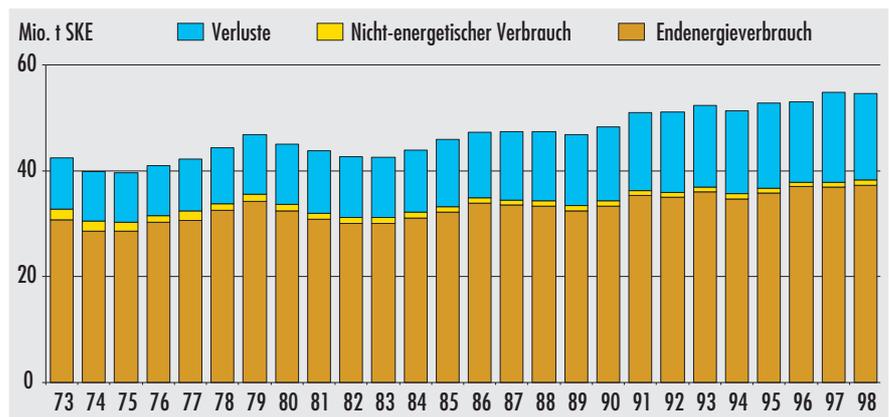


Abb. 3 Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in Baden-Württemberg (Quelle: Statistisches Landesamt)

um etwa 30 % zugenommen (Abb. 3). Die Verluste bei der Energieumwandlung von ca. 17 Mio. Tonnen Steinkohleeinheiten (t SKE, siehe auch Tab. 2) bei einem derzeitigen PEV von ca. 55 Mio. t SKE entstehen überwiegend bei der Stromproduktion. Bei dieser wird mit den derzeit gängigen Techniken nur etwa ein Drittel der eingesetzten Primärenergie als Endenergie in Form von Strom gewonnen. Der auffällige Anstieg der Verlustquote bei der Umwandlung von Primär- in Endenergie (1973: 23 %, 1996: 32,5 %) ist daher auf den immer größeren Anteil des Stromes am Endenergieverbrauch (EEV) zurückzuführen. Zur Zeit werden etwa 40 % der Primärenergie in Baden-Württemberg zur Stromproduktion eingesetzt.

Bei den Energieträgern gab es im Zeitraum 1973-1998 erhebliche Verschiebungen (Abb. 4). Insbesondere wurde, in erster Linie als Reaktion auf die Ölkrise, der Anteil des Erdöls von über 71 % um ca. 27 % auf nunmehr ca. 43,3 % zurück-

Einheit	t SKE	MWh	GJ	t ROE
1 t SKE	1,000	8,140	29,308	0,693
1 MWh	0,123	1,000	3,600	0,086
1 GJ	0,034	0,278	1,000	0,024
1 t ROE	1,442	11,630	41,868	1,000

Tab. 2 Umrechnungsfaktoren für die gängigen Energieeinheiten: Tonne Steinkohleeinheiten, Megawattstunde, Gigajoule und Tonne Rohöleinheiten (Quelle: BMU; Stand 1996)

geführt. Entsprechend wurden vor allem die Kernenergie ausgebaut (Anteil 1973: 2,2 %, Anteil 1996: 26,6 %) und kam verstärkt Erdgas (Anteil 1973: 6,5 %, 1995: 15,3 %) zum Einsatz.

Der Anteil sämtlicher erneuerbarer Energieträger (Wasser, Brennholz, Müll, Klärgas, Sonne und Wind) am PEV betrug 1996 ca. 4,3 %.

Unter Berücksichtigung sozioökonomischer Gesichtspunkte muss es deshalb ein wesentliches Ziel sein, eine nachhaltige Entkopplung von PEV und Wirtschaftskraft zu erreichen. Dies ist bis zum Jahr 1994 gut gelungen (Abb. 5). Neben Energiesparbemühungen ist dieser Erfolg auch Umstrukturierungsprozessen in der Industrie zu verdanken. Die eingesetzte Energie pro DM Bruttoinlandsprodukt (BIP, in Preisen von 1985) hat sich bis 1994 kontinuierlich auf 77 % des Wertes von 1973 gesenkt. 1994 war möglicherweise eine Trendwende zu verzeichnen, nämlich ein Wiederanstieg bis 1996 auf über 80 % des Wertes von 1973. Auch der Energieverbrauch pro Einwohner, der von 1973 bis 1994 nur leicht um etwa 8 % angestiegen war, stieg bis Ende 1996 überproportional um insgesamt beinahe 25 % an.

Mit den 1994 erreichten Werten von 0,11 kg SKE/DM bzw. ca. 5,0 t SKE/Einwohner befindet sich Baden-Württemberg jedoch weit unter dem Durchschnitt der alten Bundesländer (Abb. 6). Dies liegt u.a. daran, dass bei uns die energieintensive

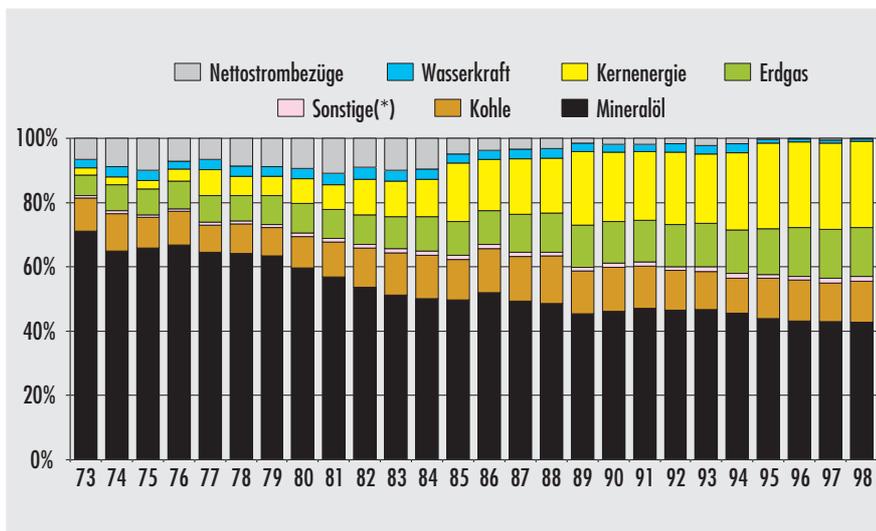


Abb. 4 Anteile der Energieträger am Primärenergieverbrauch in Baden-Württemberg (Quelle: Statistisches Landesamt) (*Brennholz, Müll u.ä.)

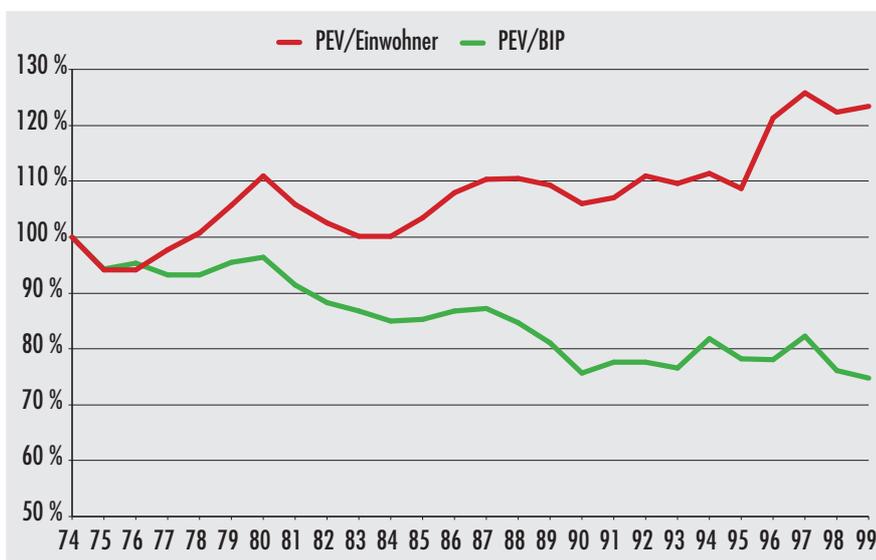


Abb. 5 Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs in Baden-Württemberg (Quellen: Statistisches Landesamt, LfU)

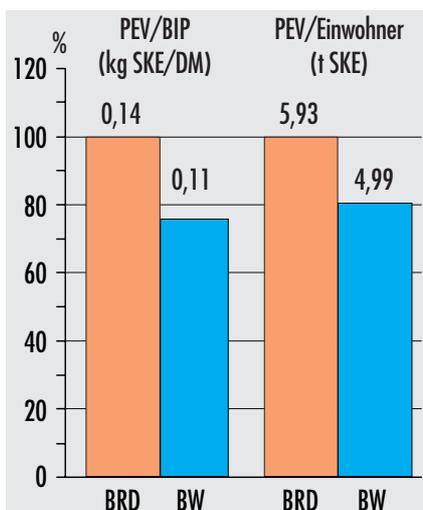


Abb. 6 Vergleich BRD (gesamt) – Baden-Württemberg beim Primärenergieverbrauch 1994, BRD = 100 % (Quellen: Statistisches Landesamt, LfU)

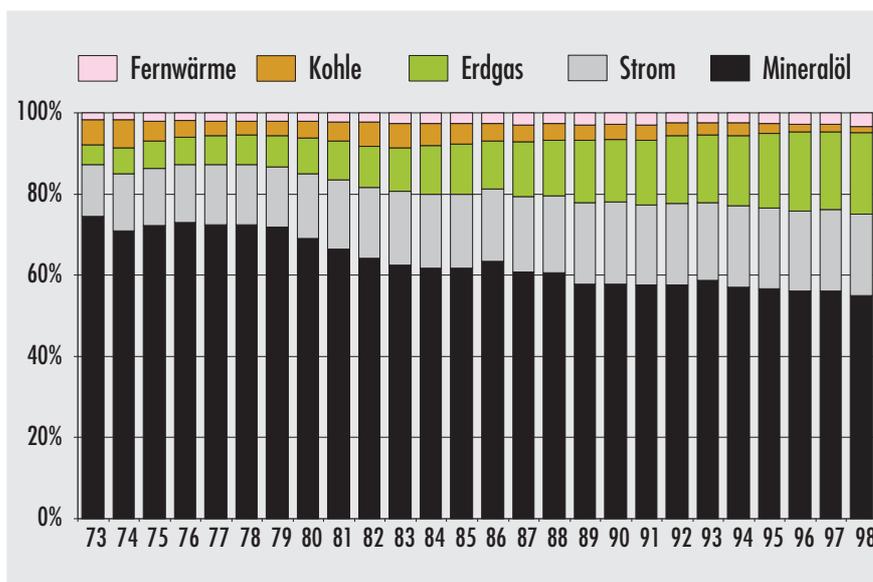


Abb. 7 Anteile der Endenergieträger am Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg (Quelle: Statistisches Landesamt)

Grundstoff- und Produktionsgüterindustrie unterdurchschnittlich vertreten ist.

Von 1991 bis 1994 stagniert der Energieverbrauch auf hohem Niveau und verläuft nahezu parallel mit der Entwicklung des BIP. Seit 1995 steigt der Energieverbrauch deutlich stärker als das BIP.

Endenergieverbrauch (EEV)

Der Endenergieverbrauch (EEV) erfasst den Verbrauch an Endenergieträgern, die aus der Umwandlung von Primärenergie in Kraftwerken (Strom, Fernwärme) und Raffinerien (Mineralölprodukte) entstehen und in dieser Form bei den Verbrauchergruppen Industrie, Verkehr und Haushalte/Kleinverbraucher ankommen. Die Endenergie ist nicht zu verwechseln mit der Nutzenergie, d.h. derjenigen Energie, die letztlich wirklich vom Verbraucher benötigt wird: eine bestimmte Raumwärme, die Beleuchtung eines Raumes, eine Transportleistung oder eine bestimmte Prozesstemperatur. Bei der Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie in Heizkesseln, Motoren, elektrischen Geräten usw. entstehen – ebenso wie bei der Umwandlung von Primärenergie in Endenergie – noch einmal hohe Verluste, die je nach Verbrauchergruppe unterschiedlich sind: Die Industrie setzt ca. 50-60 % der Endenergie in Nutzenergie um, Haushalte und Kleinverbraucher

Energieverbrauch

ebenfalls ca. 50-60 %, der Verkehr nur ca. 15-20 %. Insgesamt beträgt das Verhältnis von Primär-, End- und Nutzenergie etwa 3:2:1.

Mit rd. 37,3 Mio. t SKE lag der EEV in Baden-Württemberg auch 1996 über dem Durchschnitt der 80er Jahre von ca. 32 Mio. t SKE. Die qualitative zeitliche Entwicklung des EEV ist naturgemäß im wesentlichen identisch mit der des PEV (Abb. 3).

Deutliche Verschiebungen gibt es während der vergangenen 20 Jahre bei den prozentualen Anteilen der einzelnen Endenergieträger Mineralölprodukte (Heizöl, Benzin und Diesel, Flugbenzin), Erdgas (inkl. Erdölgas), Kohle (inkl. eines geringen Anteils sonstiger Brennstoffe wie Holz und Müll), Strom und Fernwärme (Abb. 7). Das starke Absinken des Mineralölanteils von über 74 % (1973) auf knapp über 55 % (1996) ist in erster Linie auf den Ersatz von Heizöl durch Erdgas beim Hausbrand zurückzuführen. Im Zuge dieser Entwicklung konnte Erdgas seinen Anteil von 5 % auf nahezu 20 % ausbauen. Trotz dieser Zunahme wird immer noch relativ wenig das gegenüber Heizöl weniger umweltbelastende Erdgas gewählt. Einen immer größeren Anteil am EEV nimmt der Strom ein (Stromerzeugung 1973: 30 Mrd kWh, 1996: ca. 68 Mrd kWh, Abb. 8). Hierbei gibt es ebenfalls noch große Einsparpotentiale. So beträgt der Stromverbrauch allein durch den Stand-By-Betrieb von Fernsehern, Stereoanlagen usw. deutschlandweit 4,8 Mrd kWh pro Jahr. Dies entspricht etwa dem Stromverbrauch einer Stadt mit 700.000 Einwohnern.

Die Stromerzeugung wird in Baden-Württemberg zu etwa 58 % durch Kernenergie abgedeckt, zu weiteren 27 % durch Steinkohle (Abb. 9).

Im Gegensatz zum PEV war der Stromverbrauch nie vom Wirtschaftswachstum abgekoppelt (Abb. 10). Dies dokumentiert u.a. den Wandel von einer produktionsorientierten Gesellschaft hin zu einer

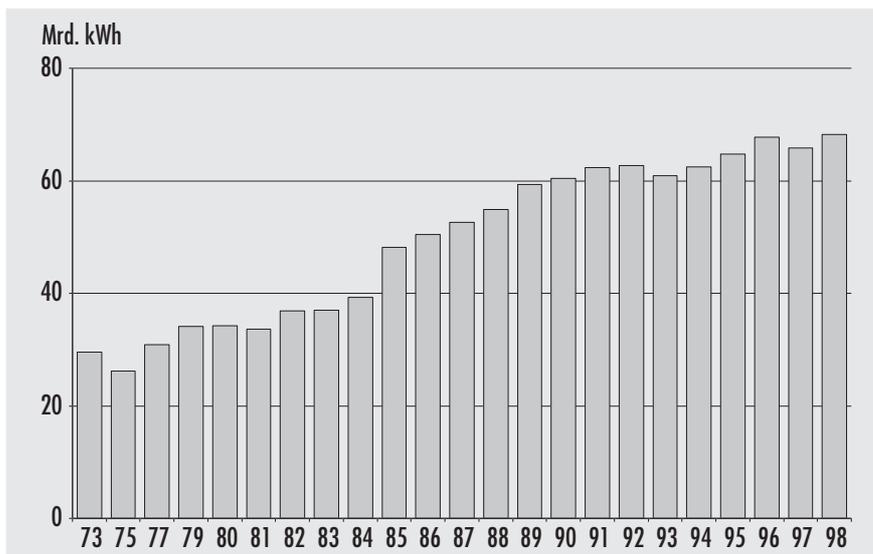


Abb. 8 Entwicklung der Stromerzeugung in Baden-Württemberg (Quelle: Statistisches Landesamt)

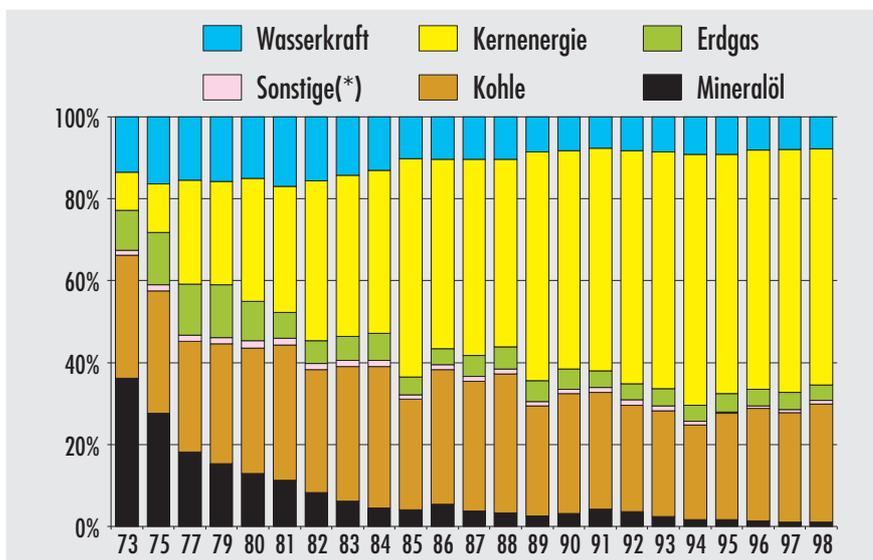


Abb. 9 Anteile der Energieträger an der Stromerzeugung in Baden-Württemberg (Quelle: Statistisches Landesamt) (*Brennholz, Müll u.ä.)

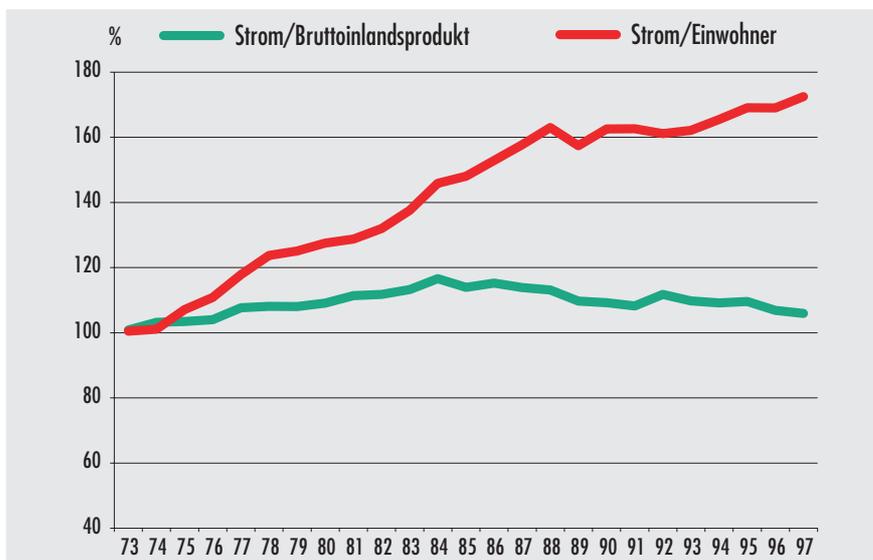


Abb. 10 Stromerzeugung bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt (Quellen: Statistisches Landesamt, LfU)

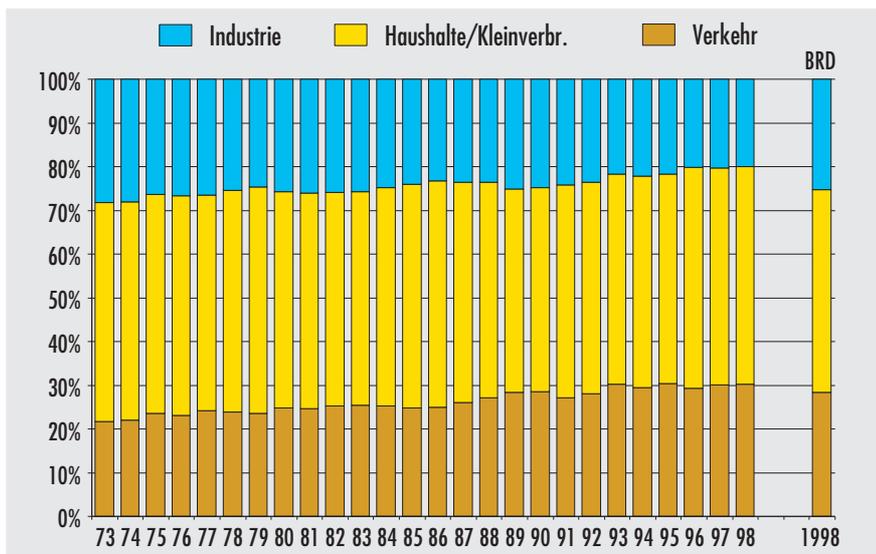


Abb. 11 Anteile der Verbrauchsgruppen am Endenergieverbrauch und Vergleich zur BRD (Quellen: Statistisches Landesamt, Statistisches Bundesamt)

Dienstleistungsgesellschaft. Im Dienstleistungsbereich sind etwa 54 % aller Erwerbstätigen beschäftigt.

Die Fernwärme wird im Land zu mehr als 80 % in Heizkraftwerken, d.h. mit der umweltfreundlichen Kraft-Wärme-Kopplung, gewonnen, macht jedoch erst etwa 3,5 % des EEV aus. Deutschlandweit ist der Fernwärmeanteil etwa gleich groß.

Die prozentualen Anteile der Verbrauchergruppen Industrie, Haushalte/Kleinverbraucher und Verkehr am EEV zeigt Abb. 11. Die Entwicklung ist von einer deutlichen Zunahme des Verkehrsanteils und von einer leichten Abnahme des Anteils der Industrie gekennzeichnet. Ein genaueres Bild des EEV liefern die Zeitreihen des absoluten EEV der Verbrauchergruppen und der Blick auf die jeweiligen Energieträgerstrukturen (Abb. 12).

Die Industrie, die ihre Energie hauptsächlich für Prozesswärme benötigt (ca. 70 %), konnte ihren Energieverbrauch seit 1973 praktisch konstant halten und insbesondere den Anteil des Heizöls drastisch reduzieren, obwohl das BIP in diesem Zeitraum um über 50 % anstieg. Bei den Haushalten und Kleinverbrauchern wird der Energieverbrauch durch die Verbrauchszwecke Raumheizung und Warmwasserbereitung dominiert (zusammen etwa 80 %). Der absolute Verbrauch zeigt eine ausgeprägte Schwankung, ist aber trotz der gestiegenen Zahl der Haushalte insgesamt nicht wesentlich angewachsen. Auch bei dieser Verbrauchergruppe zeigt sich die wachsende Bedeutung des Erdgases beim Hausbrand sowie des Stromes aufgrund der zunehmenden Verbreitung technischer Geräte. Der EEV des Verkehrs schließlich ist 1973 bis 1996 kontinuierlich um über 70 % gestiegen. Die Energieträgerstruktur belegt die leicht wachsende Bedeutung von Dieseldieselkraftstoff gegenüber Benzin.

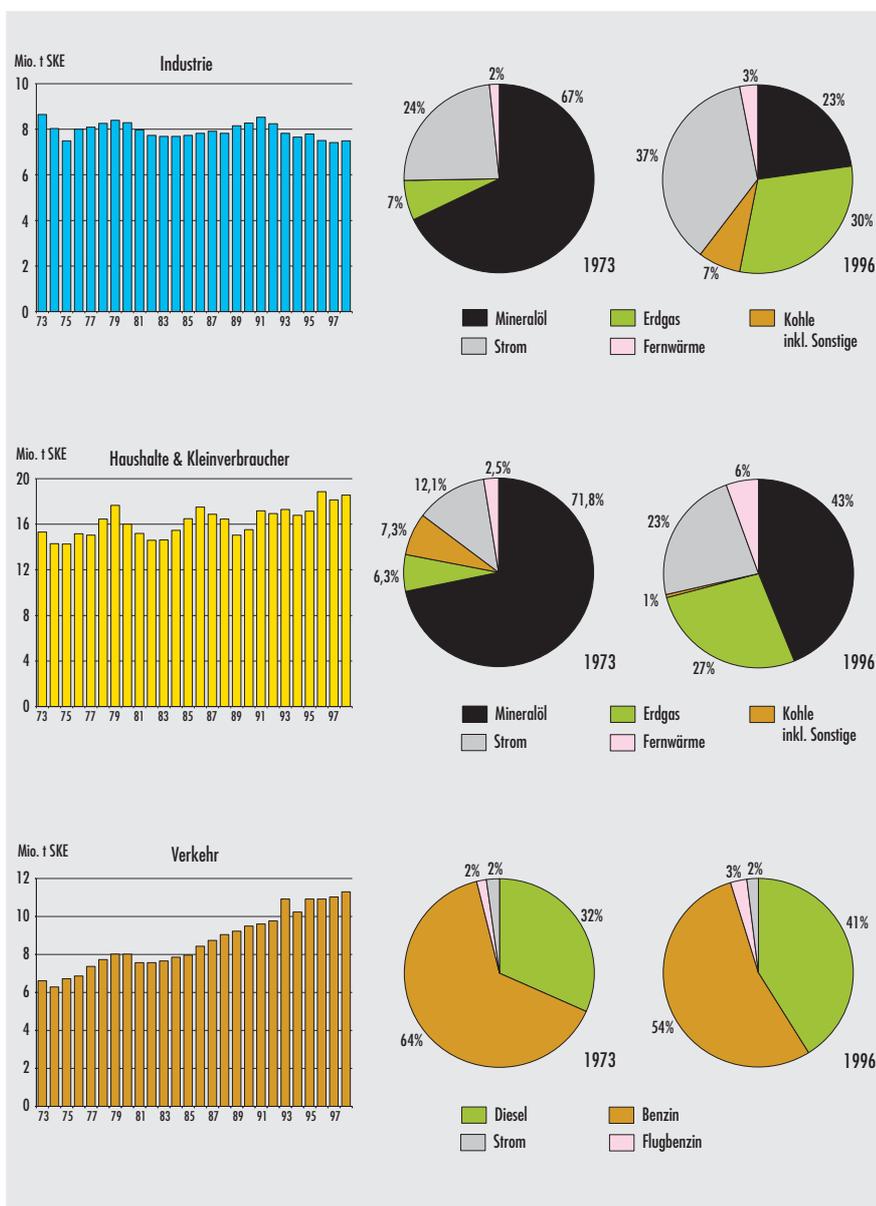


Abb. 12 Entwicklung und Struktur des Endenergieverbrauchs nach Verbrauchsgruppen in Baden-Württemberg (Quellen: Statistisches Landesamt, LfU)

CO₂-Emissionen

Die mit der Verbrennung fossiler Energieträger verbundenen CO₂-Emissionen verursachen wesentlich den anthropogenen Treibhauseffekt und wirken nach heutigen wissenschaftlichen Erkenntnissen auf eine Änderung des Weltklimas hin. Die CO₂-Emissionen in Baden-Württemberg können aus der Energiebilanz und aus CO₂-Emissionsfaktoren (kg CO₂ pro verbranntem Kilogramm eines Energieträgers) berechnet werden. Allein die Umstellung von Kohle und Öl auf Erdgas bewirkt eine deutliche Verringerung der CO₂-Emissionen (Tab. 3).

Neben den energiebedingten CO₂-Emissionen gibt es auch nicht-energiebedingte CO₂-Emissionen aus der Zementindustrie (ca. 5 Mio t/Jahr); diese werden im Folgenden jedoch nicht berücksichtigt.

Der Verlauf der CO₂-Emissionen von 1973 bis 1996 folgt qualitativ der Entwicklung des PEV (Abb. 13). Die leichte Aufwärtsentwicklung beim Energieverbrauch wird durch den verstärkten Einsatz der CO₂-emissionsfreien Kernenergie kompensiert. Spätestens seit 1996 scheint jedoch ein Aufwärtstrend vorzuliegen. Die Aufgliederung der CO₂-Emissionen in die Bereiche Industrie, Kraftwerke und Raffinerien, Haushalte und Kleinverbraucher sowie

Brennstoff	kg SKE/ kg Stoff ¹⁾	kg CO ₂ / kg Stoff ²⁾	kgCO ₂ / kg SKE
Steinkohle	1,00	2,86	2,86
Braunkohle	ca. 0,70	ca. 2,50	ca. 3,65
Erdöl	ca. 1,45	ca. 3,12	ca. 2,20
Erdgas	1,39	2,48	1,78

¹⁾ Erdgas: kg SKE/m³ Stoff;
²⁾ Erdgas: kg CO₂/m³ Stoff

Tab. 3 CO₂-Emissionsfaktoren verschiedener Brennstoffe (Quelle: LfU; Stand: 1999)

Verkehr zeigt die wachsende Bedeutung des Verkehrs für die CO₂-Problematik (Abb. 14). Der Anteil der Industrie ging dagegen zurück, während der Anteil der Haushalte und Kleinverbraucher 1996 wieder zunahm.

Mit einer Pro-Kopf-Emission von 7,1 t CO₂/Einwohner liegt Baden-Württemberg etwa ein Drittel unter dem deutschen Durchschnitt. Dies hat zwei Ursachen: Zum einen liegt der spezifische PEV pro Einwohner um ca. 21 % niedriger (Abb. 6), zum anderen ist der Anteil der Kernenergie am PEV im Land mit 26,6 % (Abb. 4) viel höher als in Deutschland (ca. 10 %). Damit liegt Baden-Württemberg etwa gleichauf mit den Durchschnittswerten der EU und Japans, jedoch fast doppelt so hoch wie der Weltdurchschnitt.

Blockheizkraftwerke

Die mit dem Energieeinsatz verbundenen Umweltbelastungen rücken Technologien der rationellen Energieanwendung in den Mittelpunkt des Interesses. Insbesondere konzentrieren sich die Bemühungen dabei darauf, die Emissionen von Treibhausgasen, zu denen vor allem das CO₂ zählt, zu vermindern. Auf der Seite der Energieerzeugung/-umwandlung kommt vor allem die verstärkte Nutzung der Kernenergie, der erneuerbaren Energien und der Kraft-Wärme-Kopplung in Betracht.

Die Nutzung der Kernenergie ist gesellschaftspolitisch umstritten, die Nutzung der erneuerbaren Energien stößt auf wirtschaftliche Grenzen und macht absolut gesehen nur langsame Fortschritte. Daher findet der mögliche Ausbau der KWK verstärkte Aufmerksamkeit. Dies gilt für die

- Fernwärmeauskopplung aus großen KWK-Anlagen
- Nahwärme- oder unmittelbare Objektversorgung aus kleinen, dezentralen Einheiten, die in Form von Motor-Blockheizkraftwerken (BHKW) verstärkt eingesetzt werden.

Ein BHKW ist eine Verbrennungsmotoranlage, die um einen Heizkessel (Spitzenkessel) ergänzt wird. Die Motoren

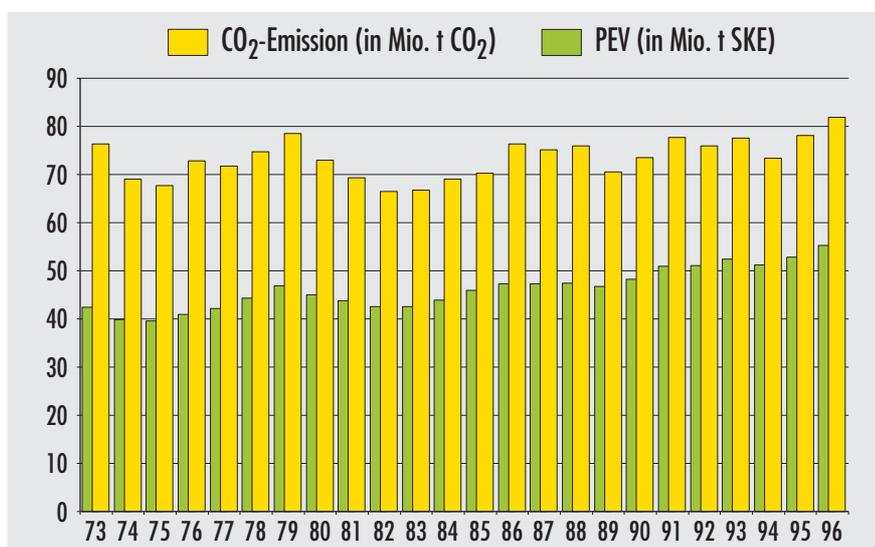


Abb. 13 Entwicklung der energiebedingten CO₂-Emissionen in Baden-Württemberg (Quelle: Statistisches Landesamt)

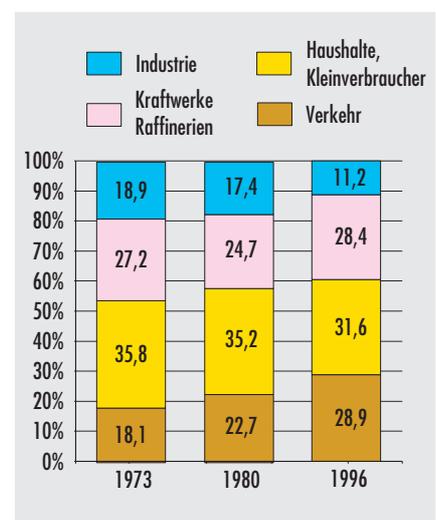


Abb. 14 Anteile der Entstehungsbereiche an den CO₂-Emissionen 1973, 1980 und 1996 (Quelle: Statistisches Landesamt)

stammen meist aus der Lkw-Industrie oder dem Schiffbau. Damit erklärt sich, dass diese hauptsächlich für Leistungen unterhalb 1 Megawatt (MW) in Frage kommen. Das Prinzip entspricht dem bei der Motorentechnik, wie sie von den Pkw her bekannt ist. Anstatt jedoch die Drehbewegung für die Fortbewegung zu nutzen, wird ein Generator zur Stromerzeugung angetrieben. Die BHKW-Technik ist ausgereift. Eingesetzt werden Teile aus der Serienproduktion. Dadurch steigert sich die Zuverlässigkeit.

Abwärme wird genutzt

Während die Abwärme, die der Motor im Auto erzeugt, meistens verpufft, wird sie beim BHKW genutzt. Das Prinzip der KWK wird hierbei auf anderem Wege als bei den Turbinen-Anlagen umgesetzt. Die bei der Verbrennung in den Zylindern des Motors entstehende Wärme wird zum Teil an das Kühlwasser und das Schmieröl abgegeben. Weitere Wärme ist im Abgas enthalten.

Wärmeaustauscher machen die Abwärme nutzbar. Das Kühlwasser und das Schmieröl besitzen ein Temperaturniveau von 80 bis 90 Grad. Die Abgase haben hingegen höhere Temperaturen. Dadurch wäre es auch möglich, höhere Temperaturen für die Nutzwärme zu erzielen. Doch ist hierfür der technische Aufwand mit zwei getrennten Wärmesystemen sehr hoch. Meistens wird deshalb mit einem Wärmesystem die Wärme von Kühlwasser, Schmieröl und Abgas genutzt und Heizwasser auf einem Niveau von ca. 90 Grad erzeugt. Das erwärmte Heizwasser kann dann zum Beispiel Schwimmbäder, Krankenhäuser und Wohnräume heizen. Eine gleichmäßige Wärmeabnahme ist für den Betrieb eines BHKW entscheidend. Wie beim Pkw muss beim BHKW der Motor stets gekühlt sein, da er sich sonst überhitzen würde. Besteht kein kontinuierlicher Wärmebedarf oder ergeben sich Tagesschwankungen im Wärmebedarf, muss man die Anlage entsprechend ganz oder teilweise abstellen oder einen Wärmespeicher einsetzen. Ein Speicher

kann jedoch nur den schwankenden Wärmebedarf für wenige Stunden eines Tages puffern. Als Brennstoffe wird bei BHKW meist Erdgas oder Mineralöl verwendet.

Einsparung von Primärenergie

Was macht die KWK- und somit auch die BHKW-Technik so begehrt? Zwei Vorteile weist diese Anwendung auf: Wirtschaftlichkeit für bestimmte Bedarfsfälle und ihre Möglichkeiten für eine hohe Energieausnutzung. Hierzu ein Vergleich: Bei der Produktion von Strom in Kondensationskraftwerken werden elektrische Wirkungsgrade von 35-43 % erzielt. Moderne Gas- und Dampfturbinen (GUD)-Anlagen auf Erdgasbasis erreichen Werte von über 50 %. Wärme wird in den kleinen Einzelfeuerstätten mit thermischen Wirkungsgraden von 70-90 % produziert. Moderne Brennkessel kommen sogar auf Wirkungsgrade von 95-98 %. Ein mit Erdgas befeuertes BHKW erzeugt Strom mit einem Wirkungsgrad von 25-35 % und Wärme mit 40-60 %. Wird es mit Heizöl extra leicht (HEL) betrieben (Dieselmotor), kann es hinsichtlich der Stromausbeute für große Anlagen bei entsprechender Minderung des Wirkungsgrades der Wärmeerzeugung Werte von bis zu 44 % erzielen.

Beim Vergleich der Erzeugungstechniken zeigt sich der Vorteil der besseren Primärenergieausnutzung durch ein BHKW gegenüber dem bestehenden Anlagenpark. Die unterschiedliche Wertigkeit der beiden Produkte Strom und Wärme wird hierbei nicht berücksichtigt. Würde die im BHKW erzeugte Energiemenge getrennt im Kraftwerk und in einer kleinen Heizkesselanlage produziert, ergäbe sich für das BHKW ein Energievorteil von 25 %. Vergleicht man das BHKW mit den modernen und bereits verfügbaren Techniken, bei gleichem Brennstoffeinsatz, beträgt dieser Vorteil 8 Prozentpunkte.

Einsparung von CO₂

Die CO₂-Emissionen bei Energieerzeugung mit fossilen Brennstoffen hängen von der Effizienz der Energieumwandlung (System-Wirkungs-/Nutzungsgrad) und damit vom Primärenergieeinsatz (Technologie-Effekt) sowie vom eingesetzten Brennstoff (Brennstoff-Effekt) ab. Es besteht die Option, den Energiebedarf durch technisch möglichst effiziente und möglichst CO₂-arme Brennstoffe zu decken. Nach dem Prinzip der KWK arbeitende BHKW entsprechen diesen Forderungen, zumal wenn sie mit Erdgas betrieben werden (CO₂-Emissionsfaktor für Erdgas: 224 g/kWh; für Heizöl EI: 301 g/kWh; für Steinkohle: 381 g/kWh; Strommix Deutschland: 739 g pro kWh Strom). Legt man in erster Linie den deutschen Kraftwerkmix zugrunde, dann fallen in Deutschland bei der Stromerzeugung einschließlich der vor- und nachgeschalteten Prozessketten (Brennstoffbereitstellung, Kraftwerksbau und Demontage) sowie unter Einbeziehung der Verluste bei der Stromverteilung im Mittel 739 g CO₂ pro kWh Strom an.

Als Grobabschätzung lassen sich somit beispielsweise durch Nahwärmesysteme auf der Basis von BHKW-Anlagen CO₂-Minderungen um bis zu 80 % gegenüber Erdgas-Einzelzentralheizungen erzielen. Die Ergebnisse sind abhängig von Brennstoffart, Deckungsanteilen, Verteilungsverlusten, Umwandlungsverlusten und Strombewertung.

Einsatzbereiche von BHKW

Die in der Bundesrepublik Deutschland installierten BHKW-Anlagen verteilen sich unterschiedlich. 60 % aller Anlagen sind in den drei Ländern Baden-Württemberg (mehr als 20 %), Nordrhein-Westfalen und Bayern konzentriert. BHKW-Anlagen arbeiten in den neuen Ländern vor allem in der Fernwärmeversorgung und ersetzen vielfach die bisherigen braunkohlebefeueren Heizkraftwerke.

Ausblick

Je geringer der Energieverbrauch ist, desto weniger Belastungen fallen für die Umwelt an. Für die Senkung des Energieverbrauchs und damit der klimarelevanten CO₂-Emissionen sind vor allem energiebewusstes Verhalten, rationelle Energieerzeugung und -verwendung (Steigerung der Wirkungsgrade und Nutzeneinsparung aufgrund moderner Techniken) sowie der Einsatz regenerativer Energiequellen notwendig.

Das Haupthindernis auf dem Weg zu niedrigeren Energieverbräuchen, insbesondere fossiler Brennstoffe, ist die geringe Wirtschaftlichkeit vieler Maßnahmen. Dies ist darin begründet, daß die mit dem Energieverbrauch verbundenen Umweltschäden als externe Kosten nicht im

Objekttyp	Anzahl
Industrielle Raumwärme	776
Industrielle Prozesswärme	589
Wohngebäude	589
Öffentliche Gebäude	570
Schwimmbäder	476
Krankenhäuser	185
Kälteerzeugung	55
Summe	3.240

Tab. 4 Aufteilung der durch BHKW versorgten Objekte (Quelle: VDEW; Stand 1996)

Bundesland	Anlagenzahl	installierte el. Leistung in kW
Baden-Württemberg	474	167.377
Bayern	378	236.200
Berlin	47	8.670
Brandenburg	38	56.457
Bremen	22	21.721
Hamburg	24	23.837
Hessen	179	60.990
Mecklenburg-Vorpommern	20	27.234
Niedersachsen	258	128.869
Nordrhein-Westfalen	468	213.852
Rheinland-Pfalz	76	24.929
Saarland	13	2.239
Sachsen	58	80.234
Sachsen-Anhalt	36	110.379
Schleswig-Holstein	69	47.070
Thüringen	28	48.312
Summe	2.197	1.258.370

Tab. 5 Anzahl der in Deutschland installierten BHKW-Anlagen (Quelle: VDEW; Stand 1996)

Energiepreis berücksichtigt sind. Es sind daher massive politische und gesellschaftliche Anstrengungen erforderlich, um die Möglichkeiten zur Energieverbrauchssenkung und der damit verbundenen CO₂-Emissionsreduktion zumindest annähernd auszuschöpfen.

Möglich wäre vor allem die Einführung einer Steuer auf Kohlendioxid und Energie (bei gleichzeitiger Senkung anderer Steuern), um über höhere Energiepreise Anreize zum Einsatz rationaler und regenerativer Energiesysteme sowie zum Energiesparen zu schaffen.

Zusätzlich können ordnungsrechtliche Bestimmungen wie die novellierte Wärmeschutzverordnung zu verstärkten Energieeinsparungen führen. Allerdings sind Altbauten nur in beschränktem Umfang einbezogen. Das größte Potenzial zur CO₂-Reduzierung liegt in der Energieeinsparung im Altbaubereich. Durch die energetische Sanierung von Gebäuden, etwa durch den Einbau moderner Heiz- und Regelungstechnik und optimale Wärmedämmung, könnten 15 % an Kosten eingespart werden. Dies bedeutete ein Einsparpotenzial von landesweit bis zu 200 Mio. DM und eine Verringerung der Kohlendioxid-Emissionen des Landes um rund 1 %.

Das Land unterstützt mit der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH die Kommunen, Handwerk und mittelständische Industrie bei der Realisierung rationaler und regenerativer Energiesysteme sowie beim sparsamen Umgang mit Energie. Außerdem laufen verschiedene Förderprogramme des Landes. Für die energieträchtigen Bereiche „Rationelle Energieverwendung“, „Wärmedämmung“ und „Nutzung regenerativer Energien“ gewährt das Land über verschiedene Ministerien Investitionshilfen.

Auch in den Kommunen bewegt sich viel: So haben mit Freiburg, Tübingen und Rastatt drei Städte lineare, d.h. stark verbrauchsabhängige Strompreise, eingeführt. In Freiburg wird Solarstrom zu deutlich höheren Preisen, als sie das

Stromeinspeisungsgesetz vorschreibt, abgenommen. Dies sind wichtige Meilensteine auf dem Weg zur angestrebten Entkopplung von Stromverbrauch und Wirtschaftswachstum.

Anhang

Quellen- und Literaturhinweise

Energie-Bericht 99. Hrsg.: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2000. (Bericht erscheint jährlich)

Mehr Zukunft für die Erde, Bericht 1994, Economica Verlag Bonn, Hrsg.: Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages

Wirtschaft in Zahlen, Broschüre 1998, Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft

Energiedaten, 1998, Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft

Statistisches Taschenbuch 1999, Hrsg.: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

Statistik Baden-Württemberg, Energiebilanzen 1973-1996, Hrsg.: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

Statistisch-prognostischer Bericht 1998. Hrsg.: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

Informationsmöglichkeiten

Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, Griesbachstr. 10, 76185 Karlsruhe. Tel.: 07 21/98 47 10. E-Mail: Reinhard.Jank@KEA-BW.de

Informationszentrum Energie des Landesgewerbeamtes Baden-Württemberg, Willi-Bleicher-Str. 19, 70174 Stuttgart. Tel.: 0711/1 23-25 26. E-Mail: ortrud.stempel@lgabw.de. Internet: <http://www.lgabw.de/ie>

www.bmwi.de

Abfallwirtschaft

Aus den bundes- und landesrechtlichen Vorschriften ergeben sich für die Abfallwirtschaftspolitik Baden-Württemberg folgende Grundsätze:

- Abfälle sind in erster Linie zu vermeiden. Die Abfallvermeidung hat zwei Aspekte: die Verminderung der Menge und die Verminderung der Schädlichkeit.
- Nichtvermeidbare Abfälle sind zu verwerten. Die Abfallverwertung kennt zwei Varianten: Die stoffliche und die energetische Verwertung. Vorrang hat die umweltverträglichere Verwertungsart.
- Abfälle, die nicht verwertet werden können, sind so zu behandeln, dass sie danach gemeinwohlverträglich abgelagert werden können.

Ziel ist gemäß Landesabfallgesetz die abfallarme Kreislaufwirtschaft. Diesem Ziel dienen insbesondere eine abfallarme Produktion und Produktgestaltung, die anlageninterne Kreislaufführung von

ABFALL

Abfallwirtschaft	D – 1
Öffentliche Abfallentsorgung	D – 2
Abfallbilanz	D – 4
Wertstofffassung, Abfallverwertung	D – 4
Problemstoffe	D – 5
Sonderabfall	D – 12
Anhang	D – 12

Stoffen, schadstoffarme Produktion und Produkte, die Entwicklung langlebiger und reparaturfreundlicher Produkte, die Wiederverwendung von Stoffen und Produkten und der bevorzugte Einsatz nachwachsender Rohstoffe. Jeder soll durch sein Verhalten zur Verwirklichung der abfallarmen Kreislaufwirtschaft beitragen.

Der Abfallwirtschaftsplan für Baden-Württemberg, Teilplan Siedlungsabfälle, hat weitere Ziele formuliert:

- Die Vermeidung und Verwertung von Abfällen muss auf hohem Niveau stabilisiert werden.
- Die TA Siedlungsabfall ist planmäßig umzusetzen.
- Die Entsorgungssicherheit ist langfristig in Baden-Württemberg zu gewährleisten.
- Verbundlösungen im Rahmen kommunaler, kreisübergreifender Zusammenarbeit sind anzustreben (Kooperationsprinzip).

Abfallart	Abfallaufkommen in 1.000 t									
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Haus-, Sperrmüll ¹⁾	2.619	2387	2.279	2.043	1.943	1.781	1.727	1.705	1.605	1.638
Grün-, Bioabfälle	320	373	499	657	791	895	1.043	1.106	1.173	1.255
Wertstoffgemische; Wertstoffe getrennt erfasst ²⁾	849	1.093	1.225	1.423	1.507	1.543	1.556	1.599	1.654	1.702
Gewerbe-, Baustellenabfälle	2.526	2.371	1.902	1.393	1.166	870	663	551	534	502
Klärschlamm ³⁾	735	693	753	817	648	413	133	121	104	-
Industrieschlamm, Straßenkehrschutt	327 ⁵⁾	185	144	120	125	121	96	78	66	65,9
Bodenaushub, verunreinigt	213	311	200	125	82	126	64	124	431	-
Bodenaushub, nicht verunreinigt	16.969	14.674	15.357	13.216	12.159	10.149	8.831	7.937	7.027	8.504
Bauschutt, Abbruchmaterial, Straßenaufbruch	5.784	6.602	6.210	3.445	2.894	2.211	1.835	1.524	1.653	1.794*
Schlamm aus der Papierherstellung	- ⁵⁾	135	97	48	30	24	12	16	16	-
Formsande aus Gießereien	263	220	186	108	92	95	62	56	84	-
sonst. produktionsspez. Abfälle	102	120	88	67	59	44	41	45	46	527
Abfälle von Stationierungstreitkräften	49	60	47	38	30	26	23	22	21	-
sonstige Abfälle ⁴⁾	106	89	66	61	46	45	45	26	24	43

1) Einschließlich stofflich verwertetem Sperrmüll

2) Wertstoffgemische einschließlich Rückständen aus der Sortierung

3) 1996 geänderte Erhebungsmethodik

4) Problemstoffe, Aschen, Stäube, Schlacken, Shredderrückstände

5) für 1990 keine getrennten Daten für Industrieschlamm und Schlamm aus der Papierherstellung

* ohne Abbruchmaterial

Tab. 1 Aufkommen an Abfällen und Reststoffen im kommunalen und gewerblichen Bereich in Baden-Württemberg (Quelle: Abfallberichte)

Abfallwirtschaft, Öffentliche Abfallentsorgung

- Vorrang hat die regionale Entsorgung von Abfällen (Näheprinzip).
- Alle abfallwirtschaftlichen Maßnahmen sind so zu gestalten, dass die menschliche Gesundheit nicht beeinträchtigt und Beeinträchtigungen der Umwelt minimiert werden.
- Beseitigungsautarkie.

Öffentliche Abfallentsorgung

Im Bereich Siedlungsabfälle haben die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger jährlich Abfallmengenbilanzen zu erstellen, die über den jeweiligen Stand des Abfallaufkommens Aufschluss geben; dies geschieht seit 1989. Aus den Bilanzen geht hervor, dass die Restabfallmengen insgesamt zurückgehen, die Wertstoff- und die Bioabfallmengen zunehmen.

Beim Gewerbeabfall waren Ende der 80er Jahre die größten Zuwachsraten zu verzeichnen. Die Intensivierung der gewerblichen Abfallberatung, Erhöhung der Gebühren für Direktanlieferung, Vorsortierpflicht und Ausschluss mancher Abfallarten, aber auch die Inanspruchnahme preiswert angebotener Verwertungsmöglichkeiten in den neuen Bundesländern nach 1990 und schließlich die für die gewerblichen Abfallbesitzer vorgeschriebene Verwertungspflicht führten zu einem drastischen Rückgang der Gewerbeabfallmengen.

Im Jahr 1999 fielen 15,96 Mio. Tonnen Siedlungsabfälle an (1998: 14,44 Mio. t; 1997: 14,91 Mio. t).

Tab. 1 stellt die im kommunalen und gewerblichen Bereich angefallenen Abfälle und Reststoffe aufgeschlüsselt nach Abfallarten dar. Abfallwirtschaftliche Erfolge werden sichtbar, wenn man die einzelnen Abfallarten differenziert betrachtet.

Das Aufkommen an *Haus- und Sperrmüll* ist im Jahr 1999 mit 1.639 Mio. t gegenüber 1998 (1.605 Mio. t) angestiegen. Es ist damit aber immer noch unter dem Stand des Jahres 1997 mit 1.705 Mio. t. Dieser leichte Anstieg beendet die elf Jahre andauernde Phase einer erst

Abfallart Abfallgruppe	Abfallauf- kommen insgesamt	stofflichen Verwertung	biologischen Verwertung in 1.000 t	davon zur thermischen Behandlung	sonstigen Verwertung	Ablagerung auf Deponie
Hausmüll	1.400,9	4,1	-	540,3	0,3	856,2
Sperrmüll	237,8	17,0	-	94,3	-	126,4
Grünabfälle	823,6	-	797,1	3,7	-	22,7
Bioabfälle	422,2	-	419,3	-	-	2,9
Wertstoffe	1.701,8	1.698,1	-	3,6	-	-
Gewerbeabfälle	432,4	-	-	115,0	-	317,4
Baustellenabfälle	69,7	22,2	-	6,8	-	40,6
Straßenkehrschutt, Sinkkastenschlamm	65,9	4,3	-	9,2	-	52,4
Problemstoffe	7,0	0,2	-	0,5	6,2	0,1
Sonstige Problemstoffe	42,8	38,1	-	0,4	4,3	-
Bauschutt	1.621,4	799,5	-	-	-	821,9
Straßenabruch	106,6	39,1	-	-	-	67,5
Bodenaushub, nicht verunreinigt	8.503,7	1.655,8	-	-	-	6.847,9
Sonstige Abfälle	526,6	123,7	11,9	61,3	-	329,6

Tab. 2 Siedlungsabfall 1999 in Baden-Württemberg nach Art der Entsorgung (Quelle: Abfallbericht 2000)

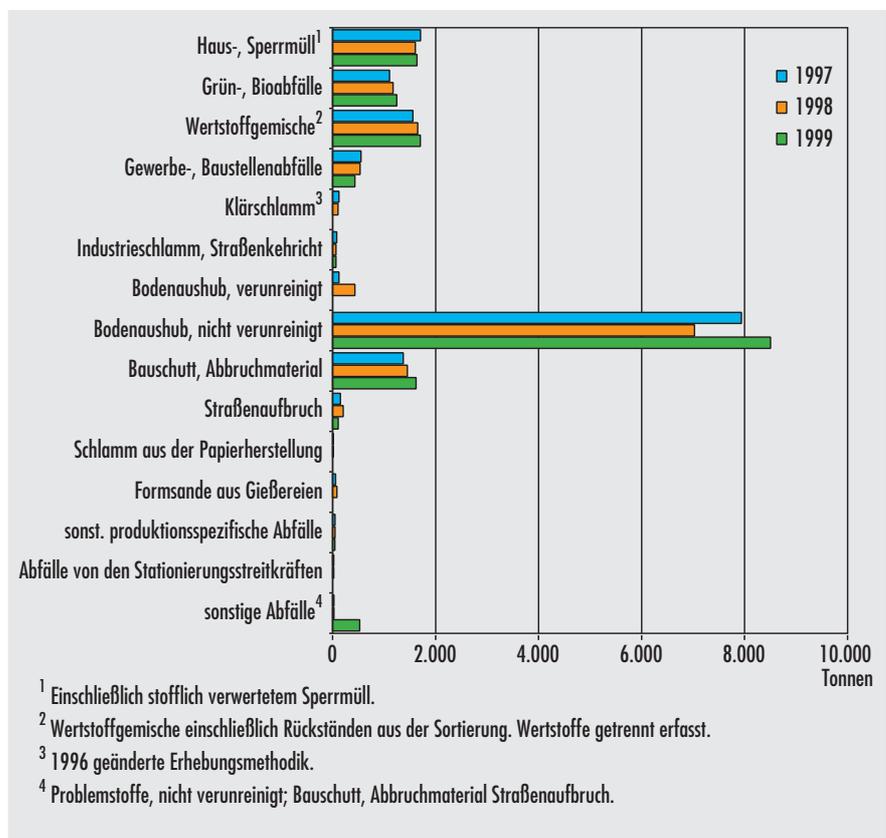


Abb. 1 Aufkommen an Siedlungsabfällen in Baden-Württemberg (Quelle: Statistisches Landesamt)

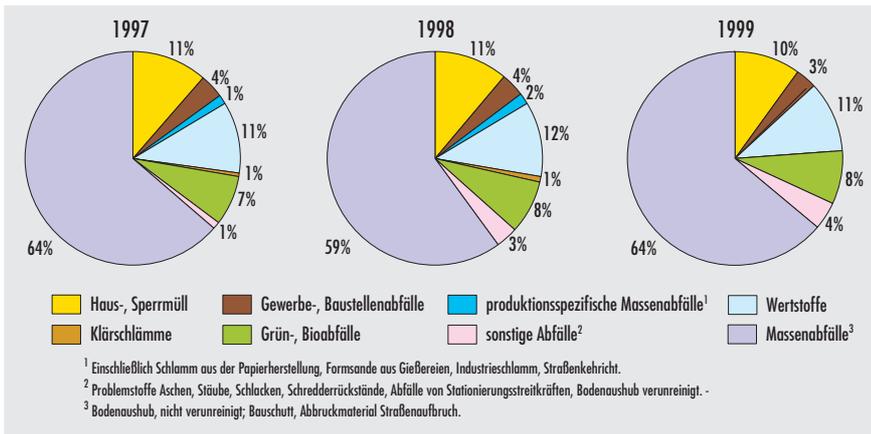


Abb. 2 Gesamtaufkommen an Siedlungsabfällen in Baden-Württemberg (Quelle: Statistisches Landesamt)

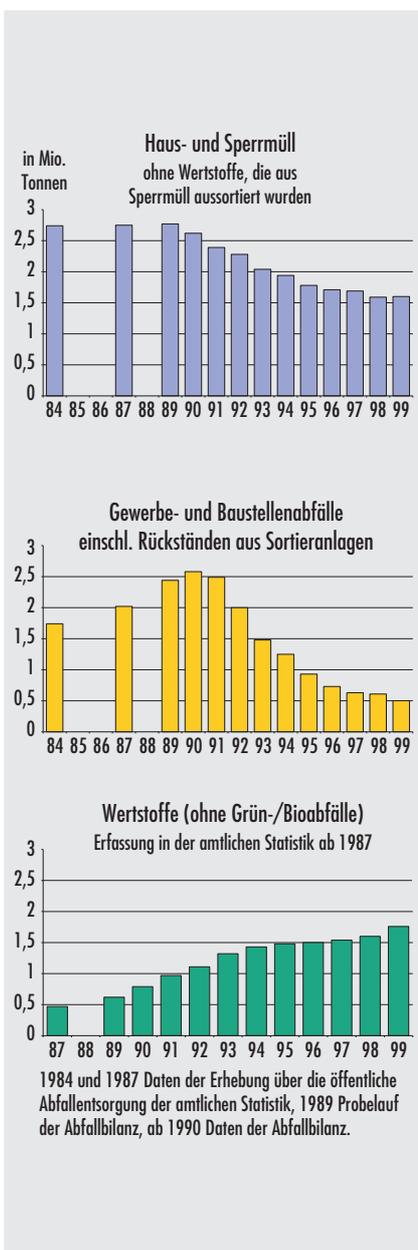


Abb. 3 Abfall- und Wertstoffaufkommen in Baden-Württemberg (Quelle: StaLa)

starken, später abflachend rückläufigen Entwicklung der Haus- und Sperrmüllmengen.

Bodenaushub und Bauschutt sind nach wie vor die Abfallarten größter Menge: Mit 10.232 Mio. t im Jahr 1999 beträgt ihr Anteil am Gesamtabfallaufkommen 64 %. (1998 fielen 8.680 Mio. t an, 1997 waren es 9.461 Mio. t.)

Diese Abfallart ist stark von der Baukonjunktur abhängig und daher schwer kalkulierbar. Beim Bauschutt wie auch beim nicht verunreinigten Bodenaushub liegt das im Land insgesamt angefallene Aufkommen deutlich über den bei den Kreisen erfassten Mengen. Erhebliche Mengen werden außerhalb der öffentlichen Abfallentsorgung verwertet bzw. für Auffüllmaßnahmen verwertet. Diese Mengen, die nicht den Kreisen überlassen werden, sind nicht in den Abfallbilanzen der Kreise enthalten.

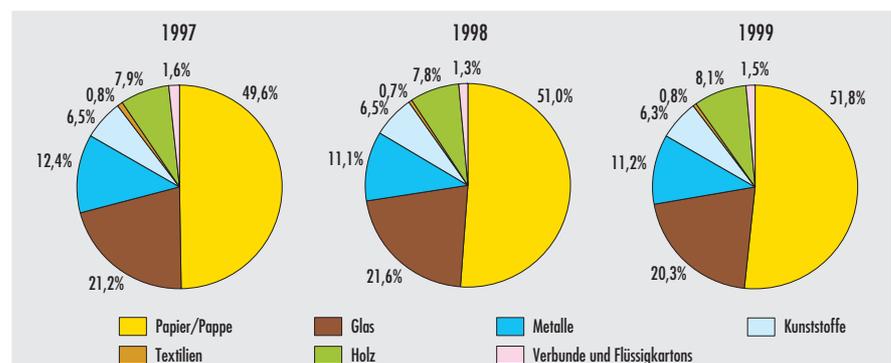


Abb. 4 Getrennt erfasste Wertstoffmengen in Baden-Württemberg (Quelle: StaLa)

Die *Gewerbe- und Baustellenabfälle* sind deutlich zurückgegangen. Deren Aufkommen in den Stadt- und Landkreisen verringerte sich von 0,551 Mio. t 1997 über 0,534 Mio. t 1998 auf 0,502 Mio. t im Jahr 1999.

1999 wurden 1,246 Mio. t *Grün- und Bioabfälle* erfasst (1998: 1,173 Mio. t; 1997: 1,106 Mio. t). Davon waren 0,824 Mio. t Grünabfälle (1998: 0,777 Mio. t; 1997: 0,739 Mio. t) und 0,422 Mio. t Bioabfälle (1998: 0,396 Mio. t; 1997: 0,367 Mio. t). Hier wurden nur Mengen erfasst, die zu Anlagen der Stadt- und Landkreise oder beauftragten Dritten transportiert wurden. Daher ist davon auszugehen, dass die tatsächliche Menge weit größer ist.

1999 wurden 1,640 Mio. t *Wertstoffe* (einschließlich der Mengen des Dualen Systems Deutschland - DSD) erfasst (1998: 1,599 Mio. t; 1997: 1,541 Mio. t), das ist ein stetiger Zuwachs. Die Hauptmenge entfiel dabei auf Pappe/Papier (1999: 0,849 Mio. t; 1998: 0,811 Mio. t; 1997: 0,765 Mio. t), Hohl- und Flachglas (1999: 0,333 Mio. t; 1998: 0,338 Mio. t; 1997: 0,327 Mio. t), Metalle (1999: 0,184 Mio. t; 1998: 0,182 Mio. t; 1997: 0,191 Mio. t) und Kunststoffe (1999: 0,102 Mio. t; 1998: 0,101 Mio. t; 1997: 0,100 Mio. t). Der Rest verteilt sich auf Verbunde, Textilien, Holz und Altfette.

Verträge mit der Dualen System Deutschland AG (DSD) bestehen seit 1993 für alle Kreise des Landes. Mit 46 % hat die DSD AG 1999 etwas weniger als die Hälfte des Wertstoffaufkommens im Land (760.000

t) erfasst, dies sind 73 kg pro Einwohner. In dieser Wertstoffmenge sind 244.000 t Verpackungen aus Papier/Pappe/Kartonen enthalten. Dieses über die DSD AG entsorgte Papieraufkommen spiegelt jedoch nicht die tatsächlich gesammelte Menge an Papierverpackungen wider, sondern entspricht einer mit dem System vertraglich festgelegten, von Kreis zu Kreis unterschiedlichen Quote.

Die Gesamtmenge der Siedlungsabfälle weist im Vergleich zum Jahr 1998 einen Zuwachs von knapp 11 % auf. Demnach scheint der in den vergangenen Jahren beobachtete Trend eines kontinuierlichen Rückgangs beendet zu sein. Betrachtet man diese Entwicklung allerdings differenziert nach den unterschiedlichen Abfallfraktionen, so zeigt sich, dass Mengenzuwächse bei den Fraktionen Sperrmüll und Baurestmassen zu finden sind. Auch die Menge des nicht verunreinigten Bodenaushubs nahm 1999 im Vergleich zum Vorjahr um 21 % zu.

Daneben sind im Anstieg der Siedlungsabfälle Zuwachsraten auch dort enthalten, wo sie durchaus erwünscht sind. Hierzu gehören z.B. die Mengenzuwächse bei den getrennt erfassten Grün- und Bioabfällen sowie eine leichte Zunahme bei den Wertstoffen.

In der Regierungserklärung von 1984 war angekündigt worden, dass die Landesregierung anstrebe, die Hälfte des anfallenden Hausmülls moderneren Verwertungsverfahren zuzuführen. Das seinerzeit hochgesteckte Ziel haben die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger durch vielfältige abfallwirtschaftliche Aktivitäten, insbesondere durch Mengenreduktion und Ausbau der Verwertung, längst erreicht. Es gilt nun, den erreichten Stand bei der Verwertung von Siedlungsabfällen zu bewahren und spätestens bis 2005 die abzulagernden Abfallmengen so vorzubehandeln, dass sie den Anforderungen der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi) genügen. Als neues Planziel ist die Beendigung des "Deponiezeitalters" ab 2005 zu sehen.

Weiterhin wichtigster Planungsgrundsatz ist, dass Abfälle, die in Baden-Württemberg anfallen, auch im Land beseitigt werden. Die Einführung einer solchen Benutzungspflicht für Beseitigungsanlagen dient der Auslastung der im Lande vorhandenen Abfallbeseitigungsanlagen.

Die künftig noch benötigte Deponiekapazität, die als Garant für die Entsorgungssicherheit in Baden-Württemberg notwendig sein wird, liegt deutlich über dem derzeit vorgehaltenen Restvolumen.

Abfallbilanz

Nach § 3 Abs. 2 des Landesabfallgesetzes haben die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger jährlich bis zum 1. April, jeweils für das vorhergehende Kalenderjahr, über Art, Menge, Herkunft und Verbleib der in ihrem Gebiet angefallenen und von ihnen entsorgten Abfälle eine Abfallbilanz zu erstellen. Soweit Abfälle nicht verwertet wurden, haben die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger dies zu begründen. Näheres regelt die Verordnung über die Erstellung von Abfallbilanzen.

Die Abfallbilanz 1999 ist die elfte Bilanz dieser Art. Die Erhebungsbogen zum Abfallaufkommen wurden Ende Dezember 1999 an alle Stadt- und Landkreise versandt, von diesen ausgefüllt und dann vom Statistischen Landesamt ausgewertet.

Im Jahr 1999 wurden die Abfallmengen aller Stadt- und Landkreise durch Wiegung auf den Hausmüllentsorgungsanlagen ermittelt. Damit ist der unmittelbare Vergleich der Abfallmengen aus den Stadt- und Landkreisen möglich.

Die Abbildungen auf den Seiten D-6 bis D-11 berücksichtigen die rechnerisch enthaltenen Problemstoffmengen wegen ihres geringen Aufkommens nicht. Diese sind aber im Abschnitt Problemstoffe gesondert dargestellt (Abb. 5). Das Wertstoffaufkommen ist deutlich durch die Aktivitäten des DSD beeinflusst.

Die einstmals angestrebte Zielvorstellung der Abfallmenge aus Haushaltungen (Haus- und Sperrmüll) von 200 kg pro Einwohner und Jahr im Landesdurchschnitt wurde 1999 mit 156 kg pro Einwohner und Jahr deutlich unterschritten. (1996 lag dieser Wert noch bei 166 kg.) Von 44 Stadt- und Landkreisen liegen 36 unter der Richtzahl von 200 kg pro Einwohner und Jahr.

Wertstofffassung, Abfallverwertung

Gewinnbare Stoffe sind insbesondere Glas (möglichst nach Farben getrennt), Papier, Holz, Metalle, Kunststoffe, Textilien und kompostierbare Abfälle.

Nach der Verpackungsverordnung sind Hersteller und Vertreiber von Verpackungen und Waren verpflichtet, Verpackungen nach Gebrauch zurückzunehmen und einer erneuten Verwendung oder Verwertung außerhalb der öffentlichen Abfallentsorgung zuzuführen.

Es wird zwischen Transport-, Um- und Verkaufsverpackungen unterschieden; für alle gilt eine Rücknahmepflicht.

Die Verordnung gewährt eine Freistellung von der Rücknahme von Verkaufsverpackungen, wenn die Wirtschaft ein eigenes Rücknahme- und Verwertungssystem anbietet. Diese Aufgabe hat die von der Wirtschaft gegründete DSD AG übernommen.

Das Konzept des DSD beruht auf folgenden wesentlichen Inhalten:

- Alle Verkaufsverpackungen von Herstellern und Vertreibern, die sich am Dualen System beteiligen, sind zur Erkennung mit einem Symbol (Grüner Punkt) versehen.
- Die Verkaufsverpackungen werden durch DSD-eigene haushaltsnahe Systeme erfasst, gekennzeichnet durch den "Gelben Sack" oder Vertragsgebunden über bereits vorhandene Erfassungssysteme zusammen mit anderen verwertbaren Abfällen (Nichtver-

packungen) in besonderen Wertstofftonnen.

- Das DSD bzw. an das DSD vertraglich gebundene Garantiegeber sortieren und verwerten die erfassten Materialien stofflich, wobei die Sortierreste der Abfallentsorgungspflichtige des Erfassungsgebietes abnehmen muss.

Die überwiegende Wertstoffmenge - 1999: 1,28 Mio. t (1998: 1,26 Mio. t; 1997: 1,21 Mio. t) - wurde sortenrein erfasst. Sie stammt aus Haushalten. Nur etwa 4 % lieferten Gewerbetreibende an. Weitere Wertstoffe kamen aus Wertstoffgemischen der Haushalte und Gewerbebetriebe, aus Sperrmüll, Baustellenabfällen und Bauschutt.

Dem DSD sind seit 1993 alle Stadt- und Landkreise Baden-Württembergs angeschlossen. Die Mengen verteilten sich 1999 wie folgt: Die vom DSD erfasste Wertstoffmenge betrug 0,760 Mio. t (1998: 0,756 Mio. t; 1997: 0,735 Mio. t) ohne Sortierreste, das entspricht ca. 73 kg pro Einwohner. Insgesamt ca. 1,25 Mio. t (1998: 1,17 Mio. t; 1997: 1,11 Mio. t) Bio- und Grünabfälle wurden getrennt erfasst, einer biologischen Behandlung (überwiegend durch Kompostierung, in wenigen Fällen auch durch Vergärung) unterzogen und als Bodenverbesserungsmittel verwertet. Die Menge entspricht einem Pro-Kopf-Aufkommen von 119 kg (1998: 113 kg; 1997: 106 kg). Im Vergleich dazu lag dieser Wert 1992 noch bei 49 kg.

Für 2005 ist von einem Orientierungswert von ca. 50 kg Bioabfall und ca. 100 kg Grünabfall pro Kopf auszugehen. Örtliche Besonderheiten können diese Planungszahlen stark beeinflussen.

Die Verwertung von Bio- und Grünabfällen hat stark zugenommen. Insbesondere Grünabfälle - hierbei hauptsächlich Strauch- und Heckenschnitt aus Park- und Grünanlagen - werden in überwiegend dezentralen Kleinanlagen und wenigen mittelgroßen Kompostierungsanlagen nach einfachen Mietenrotteverfahren ohne Zwangsbelüftung kompostiert.

Neben den über 66 Kompostanlagen für Grünabfälle und 846 Häckselplätzen waren Ende 1999 38 Bioabfallbehandlungsanlagen in Betrieb. Weitere Kombinationsanlagen für Vergärung mit Nachkompostierung und Anlagen zur Kofermentationsvergärung (Bioabfall mit Gülle aus Massentierhaltungen) sind in Planung oder im Bau.

Orientierungswerte für organische und anorganische Schadstoffe im Kompost gibt die seit 1998 geltende Bioabfallverordnung.

Problemstoffe

Problemstoffe im Hausmüll, Sperrmüll und Gewerbeabfall sind alle Stoffe, die bei der Entsorgung zu Problemen führen können. Dazu zählen z. B. Reste von Lacken, Lösungsmittel, Haushaltschemikalien, Altmedikamente, Altbatterien sowie Elektro- und Elektronikaltgeräte.

Um eine Belastung durch derartige Stoffe zu reduzieren, werden diese seit einigen Jahren getrennt erfasst. Alle Stadt- und Landkreise haben für die meisten schadstoffrelevanten Produktgruppen eine Problemstoffsammlung eingeführt. Mengenmäßig spielen getrennt erfasste

Problemstoffe nur eine untergeordnete Rolle.

Für die getrennte Erfassung kommen verschiedene Systeme zum Einsatz. Die meisten Stadt- und Landkreise haben mobile (Schadstoffmobile) oder zentrale Sammelstellen. Jeder Bürger hat damit die Möglichkeit, diese zu nutzen.

Abb. 5 zeigt die jährliche Zunahme an getrennt erfassten Problemstoffen seit 1987.

Bis 1997 gelang es, mit der Schaffung und dem Ausbau entsprechender Infrastrukturen das Ergebnis der Sammlungen kontinuierlich zu steigern. Allerdings gingen die gesammelten Problemstoffmengen 1998 auf 8.286 t und 1999 noch einmal auf 6.954 t deutlich zurück.

1999 haben die Kreise landesweit insgesamt 42.807 t (1998: 36.175 t) Elektro-/Elektronikschrott und sonstige Problemabfälle eingesammelt. Davon entfielen auf Kühlgeräte 10.604 t (1998: 10.930 t), Leuchtstoffröhren 213 t (1998: 206 t), Altreifen 2.087 t (1998: 2.094 t), Büro-, Informations- und Kommunikationsgeräte 14.073 t (1998: 10.394 t) sowie auf andere Haushaltsgeräte 15.830 t (1998: 12.348 t).

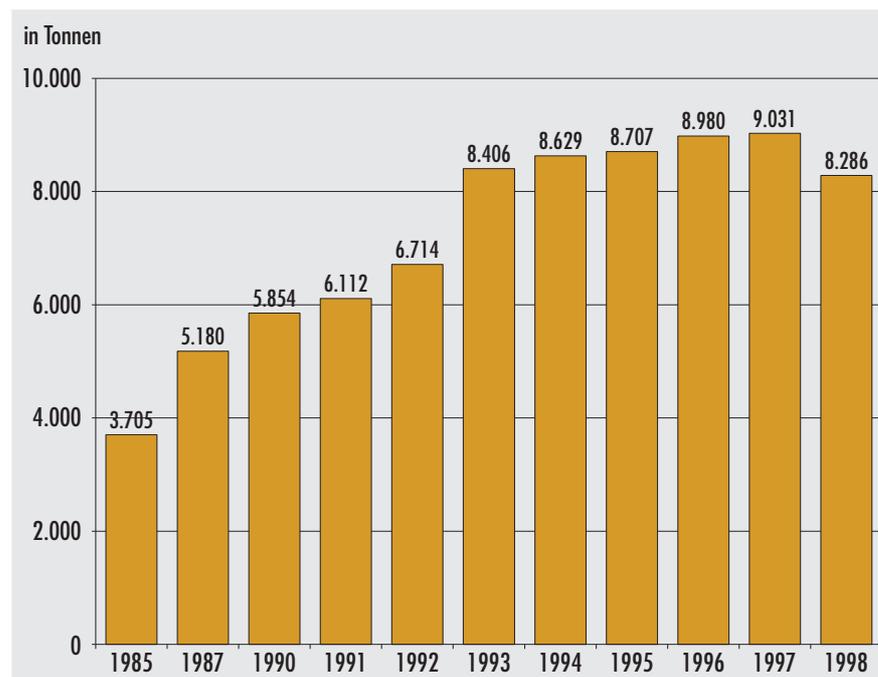


Abb. 5 Entwicklung des Problemstoffaufkommens in Baden-Württemberg (Quelle: StaLa)

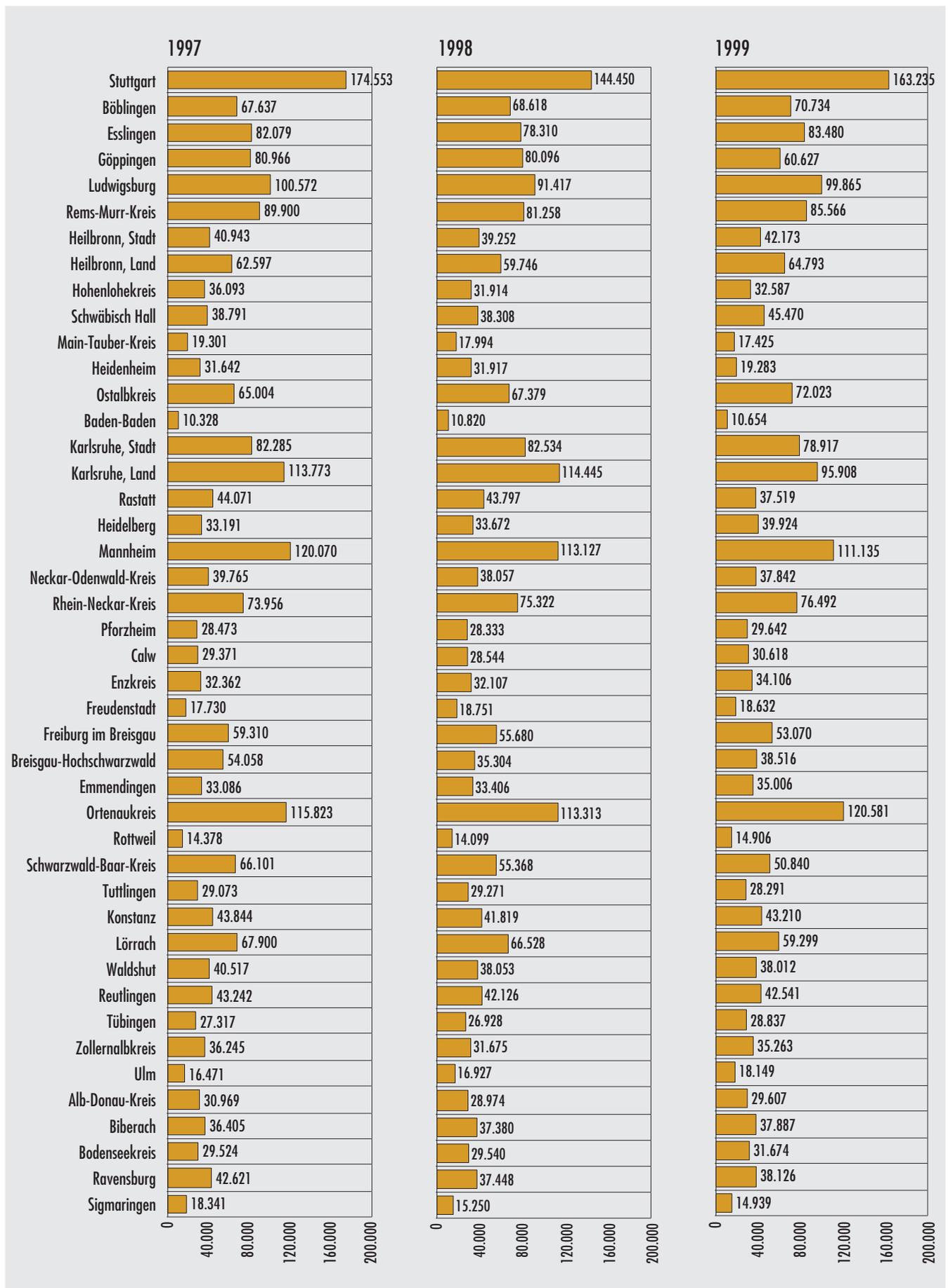


Abb. 6 Aufkommen an Haus- und Sperrmüll, Gewerbe- und Baustellenabfällen einschl. Rückständen aus Sortieranlagen, ohne Wertstoffe und Bio-/Grünabfälle (Quelle: StaLa)

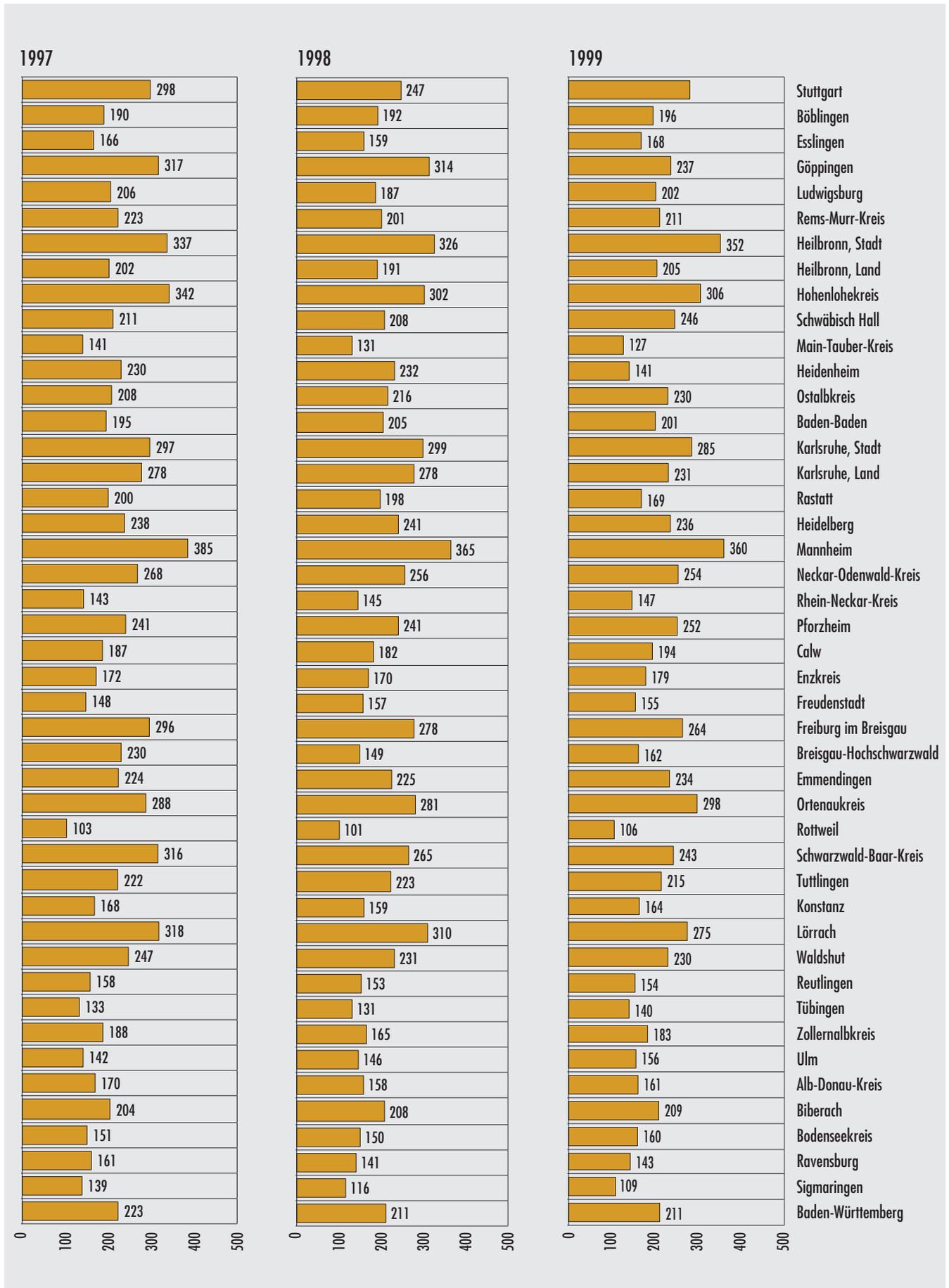


Abb. 7 Pro-Kopf-Aufkommen an Haus- und Sperrmüll, Gewerbe- und Baustellenabfällen einschl. Rückständen aus Sortieranlagen, ohne Wertstoffe und Bio-/Grünabfälle (Quelle: StaLa)

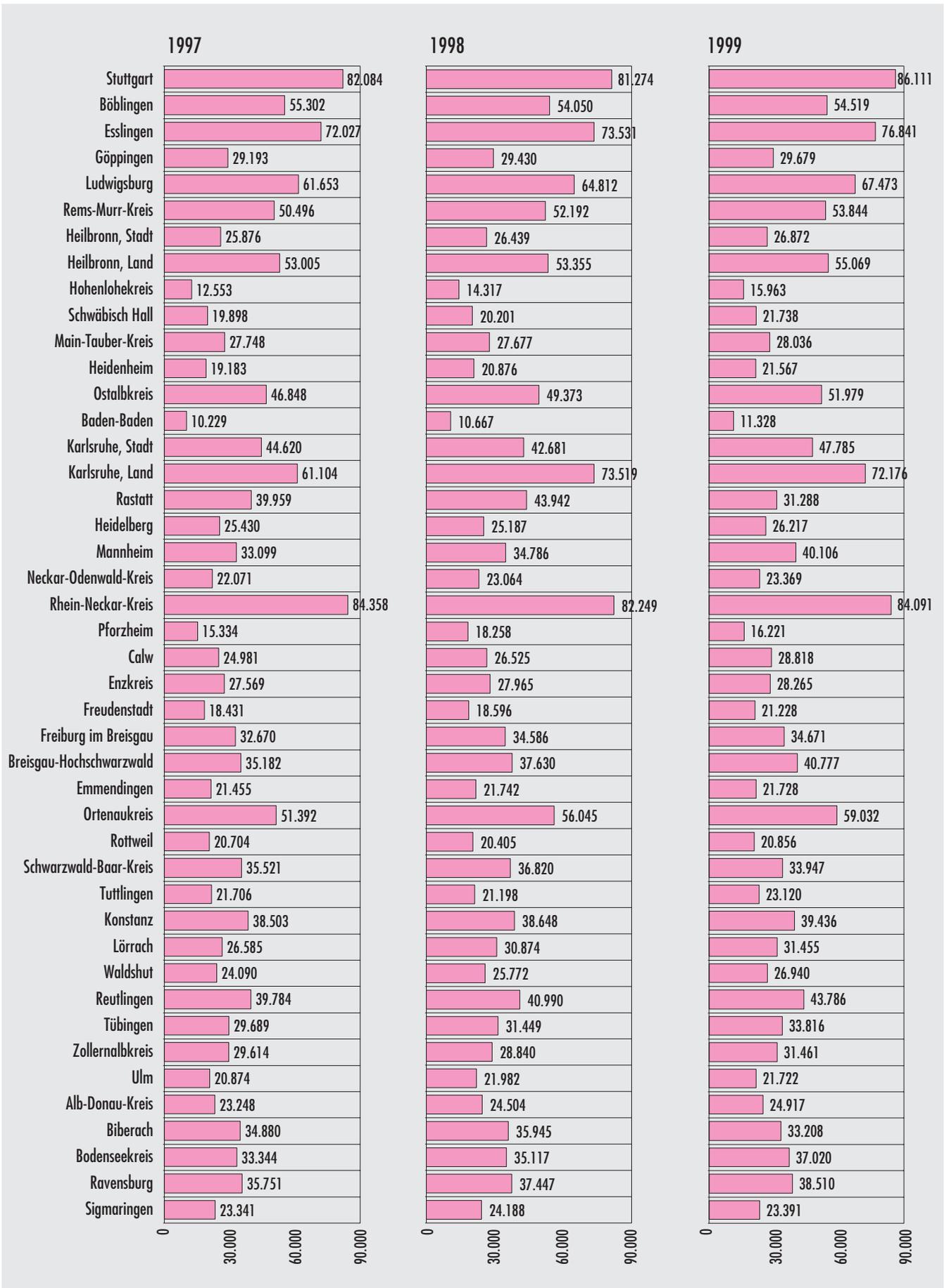


Abb. 8 Wertstoffaufkommen der Stadt- und Landkreise in Baden-Württemberg (ohne Bio-/Grünabfälle)
(Quelle: StaLa)

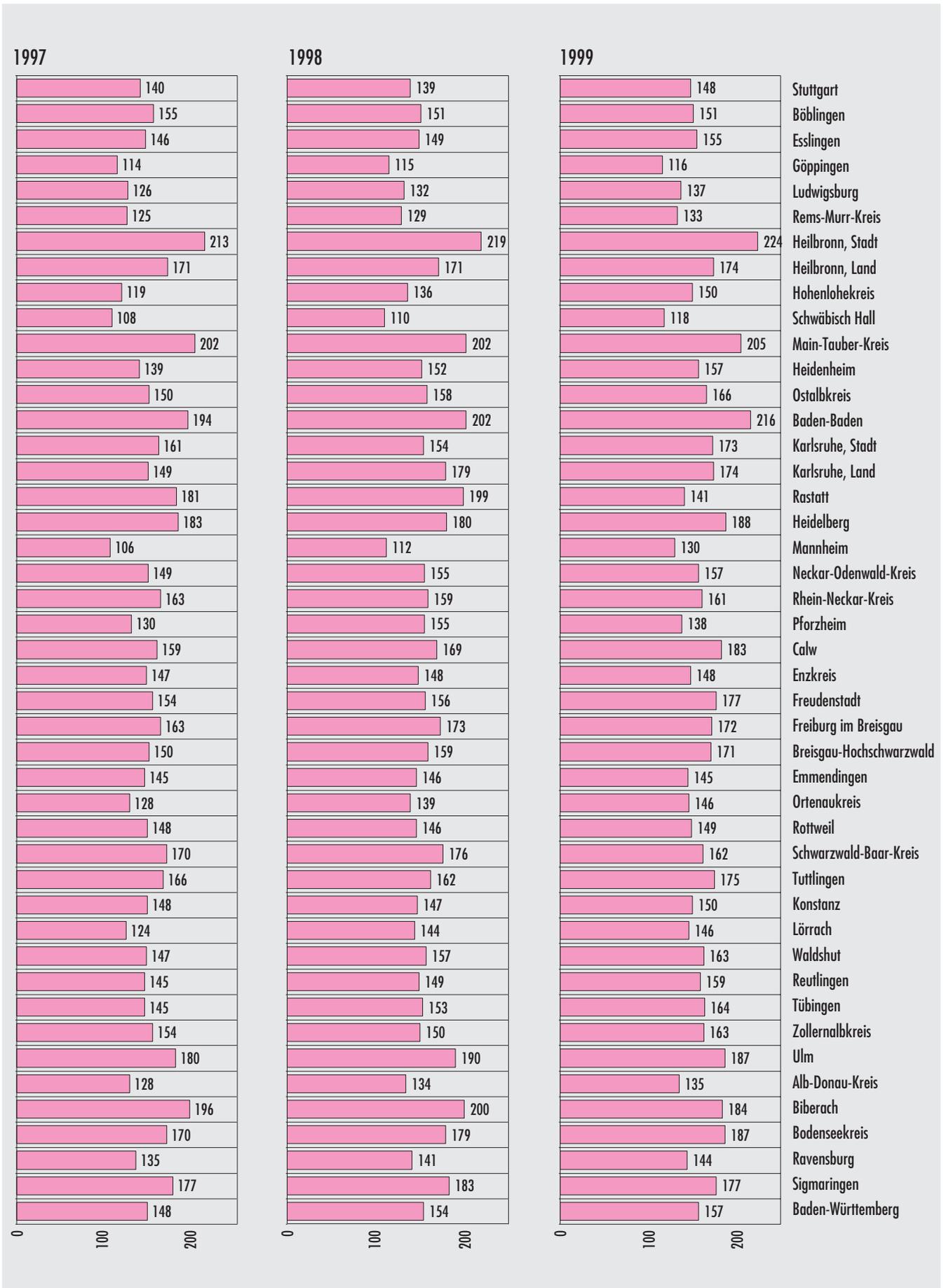


Abb. 9 Pro-Kopf-Wertstoffaufkommen der Stadt- und Landkreise in Baden-Württemberg (ohne Bio-/Grünabfälle) (Quelle: StaLa)

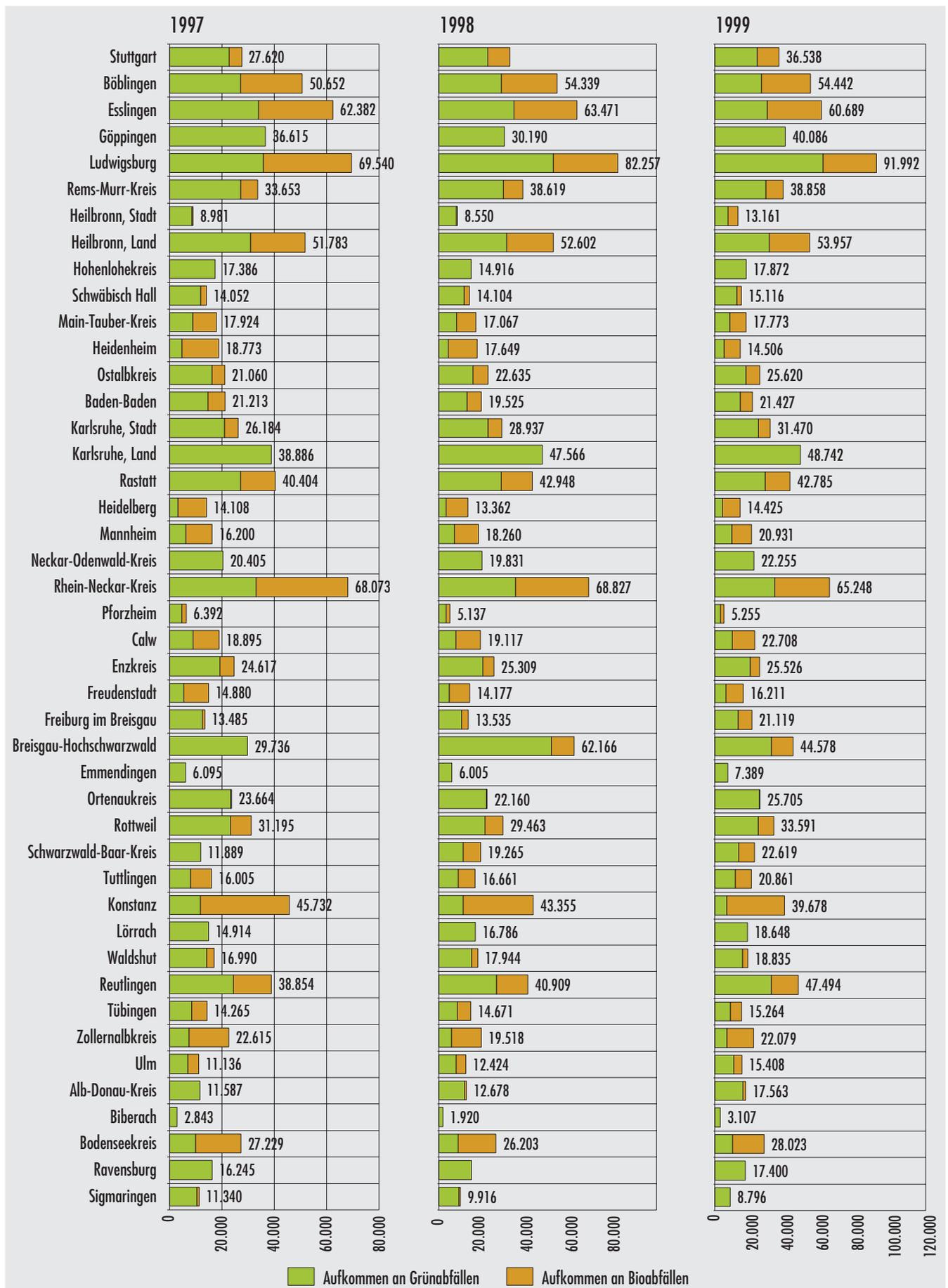


Abb. 10 Grün- und Bioabfallaufkommen der Stadt- und Landkreise in Baden-Württemberg (Quelle: StaLa)

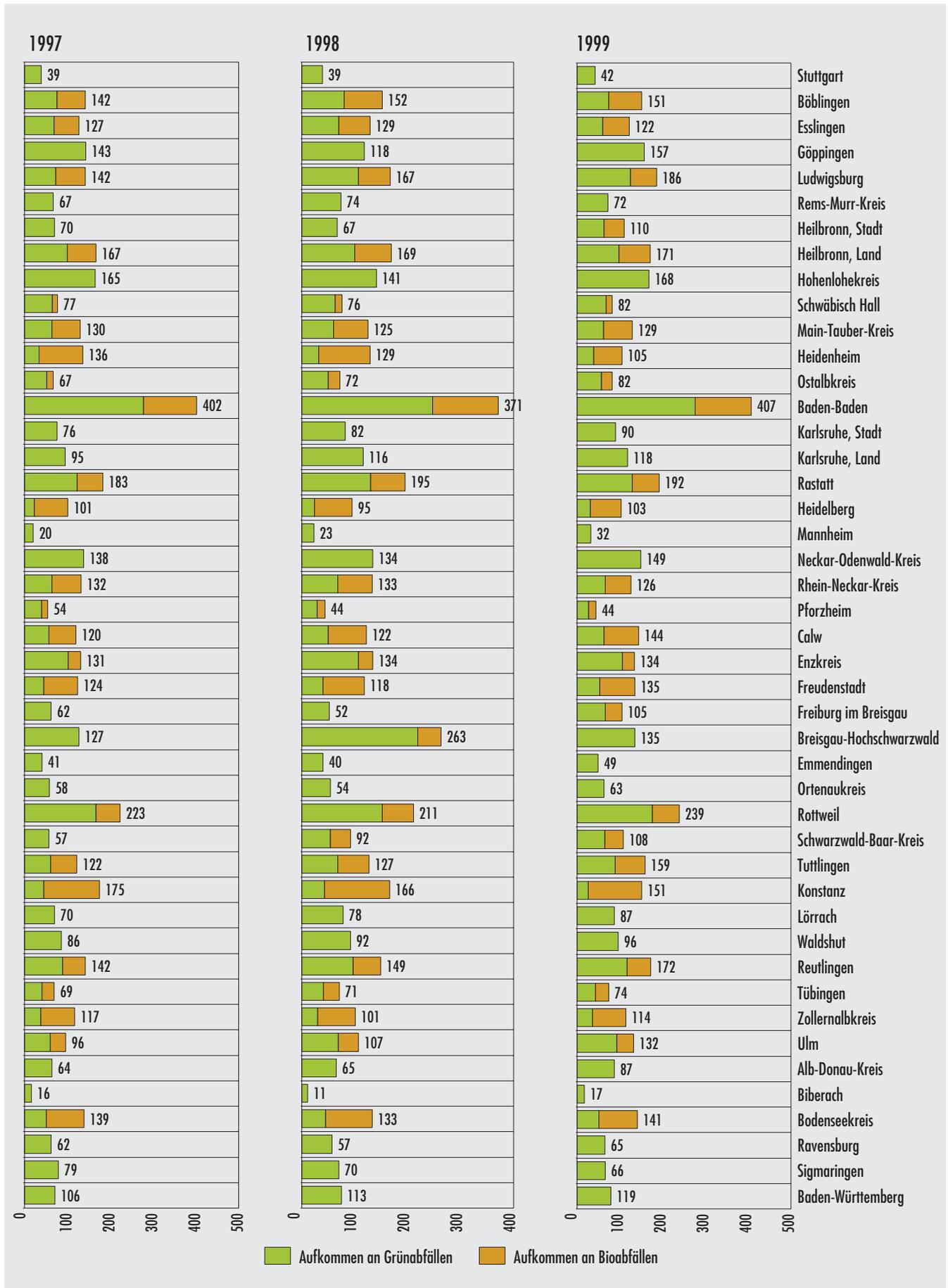


Abb. 11 Pro-Kopf-Grün- und Bioabfallaufkommen der Stadt- und Landkreise in Baden-Württemberg (Quelle: StaLa)

Sonderabfall

Das von der Landesanstalt für Umweltschutz erfasste Gesamtaufkommen (Beseitigung und Verwertung) der besonders überwachungsbedürftigen Abfälle (Sonderabfälle) der Jahre 1990 bis 1998 stellt Tab. 3 dar.

Jahr	Erfasstes Gesamtaufkommen in Tonnen
1990	456.000
1991	431.000
1992	353.000
1993	292.000
1994	335.000
1995	340.000
1996	330.000
1997	390.000
1998	472.000

Tab. 3 Von der LfU erfasste Sonderabfälle (Quelle: LfU)

Die Angaben basieren auf Auswertungen von Begleitscheindaten. Angegeben ist das Primäraufkommen ohne verunreinigte Böden, wofür deren Mengen wegen einzelner Bau- oder Altlastensanierungsmaßnahmen starken jährlichen Schwankungen unterliegen.

Die aufgeführten Mengen lassen keine Rückschlüsse auf die tatsächliche Entwicklung zu. Ursache hierfür sind mehrfache Änderungen in den gesetzlichen Rahmenbedingungen und im Verwaltungsvollzug. So ist z. B. der zuletzt beobachtete Mengenanstieg insbesondere auf die heute rechtlich vorgeschriebene Erfassung der Abfälle zur Verwertung zurückzuführen. Diese Abfälle zur Verwertung unterlagen nach der früheren Abfall- und Reststoffüberwachungs-Verordnung des Bundes vom 3. April 1990 nicht bzw. nur teilweise der Nachweispflicht, so dass bei diesen Abfällen zunächst keine bzw. nach einer entsprechenden Einzelfallanordnung der Behörden nur teilweise Begleitscheine geführt werden mussten. Nach der neuen Nachweisverordnung vom 10. September 1996 unterliegen nun auch alle besonders überwachungsbedürftigen Abfälle zur Verwertung der Nachweispflicht, so

dass diese Abfälle nun in die Begleitscheinstatistik eingehen.

Die Sonderabfallmengen zur Beseitigung haben sich seit Anfang der 90er Jahre parallel zum bundesweiten Trend deutlich verringert. Ursache dafür sind konjunkturelle Einflüsse sowie die zunehmende Vermeidung und Verwertung der Abfälle. Hierzu haben die Entwicklung von Abfallvermeidungsmaßnahmen sowie die Information und Beratung der Firmen durch die Abfallberatungsagentur (seit 1.1.1999 als ABAG itm-Gesellschaft für innovative Technologie- und Managementberatung mbH im Unternehmerverein der Steinbeis-Stiftung), die Sonderabfallabgabe und die Andienungspflicht für besonders überwachungsbedürftige Abfälle zur Beseitigung beigetragen. Bei der Umstellung der Verordnung zur Bestimmung der besonders überwachungsbedürftigen Abfälle (des Bundes) auf den europäischen Abfallkatalog (EAK) wurden einige Sonderabfallarten nicht mehr in die Bestimmungsverordnung aufgenommen. Dies wird einen Rückgang der Sonderabfallmengen zur Folge haben.

Anhang**Quellen- und Literaturhinweise**

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.): Öffentliche Abfallwirtschaft 1994 – Verwertung weiterhin auf Erfolgskurs. In: Baden-Württemberg in Wort und Zahl, Heft 9/95

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.): Abfallbilanzen der Stadt- und Landkreise Baden-Württembergs 1994. In: Baden-Württemberg in Wort und Zahl, Heft 9/95

Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg: Abfallbilanz 1990, Stuttgart 1991

Umweltministerium Baden-Württemberg:

Abfallbilanz 1991, Stuttgart 1992
Abfallbilanz 1992, Stuttgart 1993
Abfallbilanz 1993, Stuttgart 1994

Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg:

Abfallbilanz 1995, Stuttgart 1996
Abfallbilanz 1996, Stuttgart 1997
Abfallbilanz 1997, Stuttgart 1998
Abfallbilanz 1998, Stuttgart 1999
Abfallbilanz 1999, Stuttgart 2000

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Kommunale Abfallvermeidungs- und Verwertungsstrategien. Karlsruhe 1997

Informationsmöglichkeiten

E-Mail: stala.bw@t-online.de; Internet: <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de>

Allgemeines

Neben den Hauptkomponenten Stickstoff und Sauerstoff besteht die Luft aus einer Vielzahl weiterer gasförmiger und partikelförmiger Stoffe, die aus natürlichen Quellen freigesetzt werden, wie zum Beispiel Fäulnisprozessen oder Vulkan- ausbrüchen. Darüber hinaus enthält die Luft aber auch Luftverunreinigungen anthropogenen Ursprungs. Als Luftverun- reinigungen werden alle Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft bezeichnet, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe und Geruchsstoffe.

Die Luftverunreinigungen wirken auf den Menschen, Tiere, Pflanzen und Sachgüter (z.B. Bauwerke) ein. Nicht alle Luftver- unreinigungen führen allerdings zwangsläufig zu Gesundheitsschäden beim Menschen oder zu Umweltschäden.

Aufgabe einer vorsorgenden Luftreinhal- tepolitik ist es, die schädlichen Wirkun- gen von Luftverunreinigungen auf den Menschen und die Umwelt frühzeitig zu erkennen und die Ursachen gezielt zu beseitigen.

Aus diesem Grund werden in Baden- Württemberg sowohl die Art und Menge der in die Luft freigesetzten Stoffe (Emissionen) als auch die Konzentra- tionen der Stoffe in der Außenluft (Im- missionen) systematisch erfasst.

Emissionen

Die räumlich und zeitlich hochaufge- löste Ermittlung der von verschiedenen Verursachern freigesetzten Luftverun- reinigungen (Emissionen), ist Grundlage für die Einleitung von gezielten Luftrein- haltemaßnahmen. Bereits Anfang der achtziger Jahre wurde in Baden-Württem- berg punktuell damit begonnen, die Emissionsdaten zu erfassen. Mittlerweile wurden die Emissionserhebungen auf das ganze Land ausgedehnt, so dass eine lückenlose Gesamtbetrachtung der Emissionssituation auf der Basis der Emissionsdaten von 1995 vorliegt

LUFT

Allgemeines	E – 1
Meteorologie	E – 2
Schwefeldioxid (SO₂) und Kohlenmonoxid (CO)	E – 4
Stickstoffoxide (NO_x)	E – 5
Organische Verbindungen	E – 7
Non-Methane Volatile Organic Compounds (NMVOC)	E – 7
Ozon	E – 9
Staub	E – 11
Krebs erzeugende Luftschadstoffe	E – 13
Anhang	E – 17

[UMEG, 1998]. Die Emissionserhebungen umfassen folgende Quellengruppen:

- Industrie und Gewerbe
- Kleinf Feuerungsanlagen (häusliche/gewerbliche Feuerungs- anlagen für die Gebäudeheizung und die Warmwasserbereitung sowie für die Erzeugung von Prozesswärme bei Kleinverbrauchern)
- Verkehr (Straßen-, Schienen-, Luftverkehr; Schifffahrt)
- Biogene Quellen (Nutztierhaltung, Pflanzenprodukti- on; Vegetation)
- Sonstige nicht gefasste Quellen (Abfalldeponien; Erdgasverteilung; Produkthanwendung wie z.B. Kon- sumgüterverbrauch, Lackverarbei- tung, Oberflächenbehandlung)

Die räumliche Auflösung der erhobenen Emissionen erlaubt neben der landeswei- ten auch eine regionale, kreis- und gemeindebezogene Betrachtung der Emissionssituation.

Immissionen

In Baden-Württemberg werden seit Mitte der siebziger Jahre die Immissionen einzelner Luftschadstoffe systematisch erfasst. Durch Vergleich der ermittelten Konzentrationen der einzelnen Luftschadstoffe mit vorgegebenen Grenz- werten kann Handlungsbedarf aufge- zeigt und kann die Wirksamkeit bereits

eingeleiteter Luftreinhaltemaßnahmen unmittelbar überprüft werden.

Bis heute hat das Land ein Luftmessnetz aus 62 kontinuierlich arbeitenden Luftmessstationen aufgebaut, das die Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen mbH (UMEG) in Karlsruhe betreibt. Die Stationen des Messnetzes sind über das ganze Land verteilt (Abb. 1).

An den Stationen werden folgende Luftschadstoffe gemessen:

- Schwefeldioxid (SO₂)
- Stickstoffoxide (NO₂)
- Kohlenmonoxid (CO)
- Ozon (O₃)
- Schwebstaub und Inhaltsstoffe
- Ruß
- Organische Verbindungen

Das Luftmessnetz Baden-Württemberg dient der Langzeitüberwachung der Luftverunreinigungen. Die jahrelangen kontinuierlichen Messungen erlauben Aussagen über die zeitliche Entwicklung der Luftbelastung. Außerdem erfüllt das Luftmessnetz die Aufgabe eines Warn- systems. Die an den Luftmessstationen ermittelten Messwerte werden rund um die Uhr überwacht. Die zeitnahe Erfas- sung der Immissionen durch das Messnetz erlaubt es, auftretende hohe Konzentrationen, zum Beispiel von Ozon (O₃), rasch zu erkennen, um die Be- völkerung zu informieren und gegebe-

nenfalls Maßnahmen einleiten zu können.

Die Standorte der Luftmessstationen ermöglichen es darüber hinaus, die Luftqualität in unterschiedlich stark belasteten Gebieten zu vergleichen. Deshalb werden die Luftmessstationen in folgende Standortkategorien eingeteilt:

- Städtische Luftmessstationen
Die Standorte dieser Stationen liegen in Gebieten mit hoher Besiedlungsdichte oder hoher Dichte an Industrie und Gewerbe. Es werden alle die oben genannten Luftschadstoffe gemessen.
- Verkehrsmessstationen
Die Standorte dieser Stationen liegen an stark befahrenen innerstädtischen Verkehrsknotenpunkten unmittelbar am Straßenrand. Es werden nur die typischen verkehrsbedingten Luftschadstoffe Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂), Kohlenmonoxid (CO) und die organischen Verbindungen gemessen. Diese Stationen werden erst seit 1994 betrieben.
- Hintergrundmessstationen
Die Standorte dieser Stationen liegen in Gebieten weitab von Industrie-, Gewerbe-, Besiedlungs- und Verkehrseinflüssen sowie in verschiedenen Höhenlagen und Regionen. Bei im Wald gelegenen Stationen sind aus technischen Gründen nur eingeschränkt Staubmessungen möglich.

Zur Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Luftbelastung werden im Folgenden Luftmessstationen betrachtet, die seit 1985 oder später in Betrieb sind und deren Standort sich nicht wesentlich verändert hat. Dieser Trend wird für die einzelnen Luftverunreinigungen in den folgenden Kapiteln beispielhaft für die städtischen Luftmessstationen Aalen, Karlsruhe-Mitte, Mannheim-Mitte und Stuttgart-Bad-Cannstatt sowie für die Hintergrundmessstation Schwarzwald-Süd dargestellt.

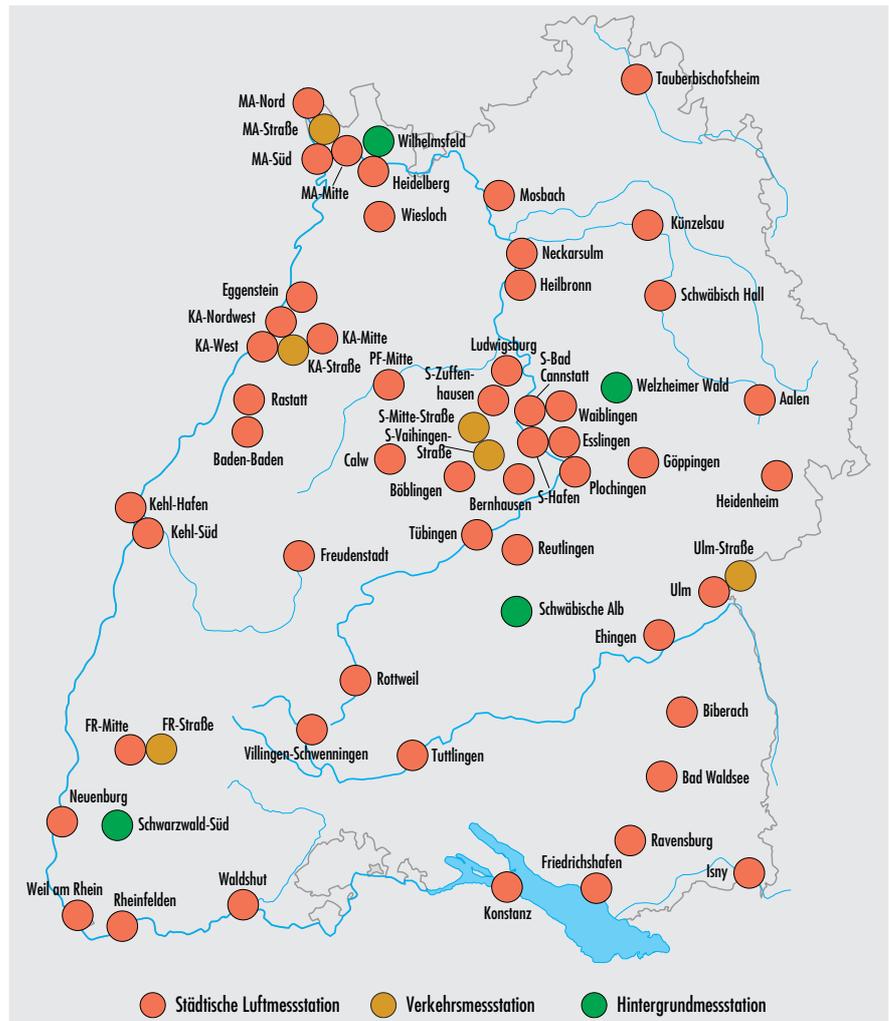


Abb. 1 Stationen des Luftmessnetzes Baden-Württemberg (Quellen: LfU, UMEG; Stand 7/2000)

Depositionen

Luftverunreinigungen können nicht nur unmittelbar über den Luftpfad Gesundheits- und Umweltschäden bewirken, sondern auch über ihre Ablagerung (Deposition) auf Böden, in Gewässern oder auf Pflanzen. So ist die Versauerung der Böden und Gewässer auf die Deposition saurer Gase wie Schwefeldioxid(SO₂) und Stickstoffdioxid (NO₂) und ihrer Umwandlungsprodukte wie Sulfat und Nitrat zurückzuführen.

Das landesweites Depositionsmessnetz wurde seit 1992 aufgebaut (Abb. 2). Es verfügt über 24 Depositionsmesspunkte in ländlich strukturierten Gebieten, 6 im Stadtgebiet von Mannheim und 8 im Stadtgebiet von Karlsruhe. Die 24 Depositionsmesspunkte in den dünn besiedelten ländlichen Gebieten sind dabei nach naturräumlichen Gesichtspunkten über

das Land verteilt und reichen von den regenreichen Hochlagen des Schwarzwaldes bis zu den Trockengebieten des Taubertales.

Derzeit werden folgende Depositionen gemessen:

- Staubniederschlag
- Nitrat
- Sulfat

Meteorologie

Die gemessenen Immissionen zeigen während langer Zeitspannen im Jahr einen eher unauffälligen Verlauf. Auftretende Schwankungen ergeben sich ganz überwiegend durch die periodischen Tages-, Wochen- und Jahresgänge, welche durch Veränderungen der steuernden meteorologischen Größen wie Wind, Temperatur und Sonnenstrahlung sowie



Abb. 2 Depositionsmessnetz und Naturräume in Baden-Württemberg
(Quellen: LfU, UMEG; Stand 2000)

Meteorologie, Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid

die wechselnden Emissionsmengen verursacht werden. Daneben gibt es immer wieder auffällige Episoden viel höherer Belastung bei einzelnen oder mehreren Luftschadstoffen. Ihre charakteristische Ausprägung erfahren sie vorwiegend im Sommer und Winter, während die Übergangsjahreszeiten davon weniger betroffen sind.

Das allgemeine Interesse konzentriert sich auf solche Episoden von wenigen Tagen und führt zur Frage nach den Ursachen bezüglich Emission, Witterung und luftchemischen Verhältnissen.

In Tab. 1 sind diejenigen meteorologischen Situationen zusammengestellt, die zu Episoden mit hoher Immissionsbelastung führen, und solche, die eher mit durchschnittlichen oder niedrigen Konzentrationen verbunden sind.

Nicht übersehen werden darf, dass sich in Episoden mit hoher Immissionsbelastung auch die Emissionen, verursacht durch Wettereinflüsse, oft erhöhen. So sind zum Beispiel an heißen Hochsommertagen die biogenen Emissionen der flüchtigen organischen Verbindungen überdurchschnittlich hoch. An trüben, kalten Wintertagen sind die Emissionen aus Heizungsanlagen wesentlich stärker als an milden sonnigen Tagen.

Schwefeldioxid (SO₂) und Kohlenmonoxid (CO)

Zusammen mit Anstrengungen der Wirtschaft und Erkenntnissen der Wissenschaft haben politische Entscheidungen zur Luftreinhaltung eine deutliche Verbesserung der Luftqualität bewirkt. Dies hatte auch zur Folge, dass die 1988 erlassene Smog-Verordnung im Dezember 1996 wieder aufgehoben werden konnte.

Die deutliche Verbesserung der Luftqualität lässt sich insbesondere an der verbesserten Emissions- und Immissionsituation bei den klassischen Luftschadstoffen Schwefeldioxid (SO₂) und Kohlenmonoxid (CO) belegen. So konnten die SO₂-Emissionen von 334.200

Tonnen 1973 auf 58.800 Tonnen 1995 reduziert werden, was einem Rückgang um über 80 % entspricht. Dieser starke Rückgang der Emissionen geht vor allem auf die Abgasentschwefelung bei Kraftwerken und den verstärkten Einsatz schwefelarmer Brennstoffe zurück. Der starke Rückgang der Emissionen hat auch unmittelbare Auswirkungen auf die gemessenen SO₂-Immissionen. So lagen

die Jahresmittelwerte von Luftmessstationen selbst in Ballungsgebieten 1999 unterhalb von 10 µg/m³ (Abb. 3). Der in Deutschland rechtsverbindliche Immissionswert der Verordnung über Immissionswerte [22. BImSchV, 1993] von 80 µg/m³ (Median der Tagesmittelwerte eines Jahres) wurde somit weit unterschritten. Selbst der für den Schutz der Ökosysteme vorgesehene Immissions-

Witterung	Luftqualität
<p>Milde, feuchte Winter</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tiefdruckeinfluss mit häufigem Wechsel von Luftmassen, gute Luftaustauschbedingungen niederschlagsreich bei überwiegenden Winden aus Westen 	<p>gut</p> <ul style="list-style-type: none"> - geringe Konzentrationen an Luftverunreinigungen auf Grund der guten Luftaustauschbedingungen - verstärkte Deposition (Auswaschen) - geringe Schwefeldioxid-Konzentrationen auf Grund reduzierter Heizleistungen
<p>Kalte Winter</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hochdruckeinfluss mit stabiler Luftmasse, seltener Wechsel von Luftmassen <p>sonnige Witterung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - windschwach, kalt - auch tagsüber andauernde großräumige Inversionen, schwache tagesperiodische Lokalwinde <p>trübe Witterung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - windschwach - Hochnebel, Bewölkung - fehlende Lokalwinde 	<p>belastend</p> <ul style="list-style-type: none"> - lufthygienisch belastend - unterhalb der Inversion starker Anstieg der Stickstoffoxide und Schwebstaub, aber kein Ozon - oberhalb der Inversion erhöhte Ozon-Konzentrationen in Berglagen - eingeschränkte Deposition - Stickstoffmonoxid großräumig vorhanden, auch in ländlichen Gebieten - mittlere Stickstoffdioxid-Belastung - kein Ozon unter der Inversion - Anstieg der Schwefeldioxid-Konzentrationen auf Grund höherer Heizleistungen
<p>Heiße, trockene Sommer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hochdruckeinfluss mit stabiler Luftmasse, kaum Wechsel von Luftmassen - sonnige Witterung, windschwach, heiß - nächtliche Inversion - Konvektion tagsüber - tagesperiodische Lokalwinde 	<p>belastend</p> <ul style="list-style-type: none"> - hohe Ozon-Konzentrationen wegen starker Sonneneinstrahlung und erhöhter Emissionen an organischen Verbindungen - im Bereich stark befahrener Straßen hohe Stickstoffoxid-Konzentrationen, besonders abends - zeitweise erhöhte Schwebstaubkonzentrationen
<p>Kühle, nasse Sommer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tiefdruckeinfluss mit Wechsel von Luftmassen mit Warm- und Kaltfronten - niederschlagsreich und gute Durchlüftung bei Winden aus westlichen Richtungen 	<p>gut</p> <ul style="list-style-type: none"> - generell günstig, geringe Konzentrationen aller Luftverunreinigungen auf Grund der guten Luftaustauschbedingungen, verstärkte Deposition (Auswaschen) - nur geringe Ozon- und Stickstoffoxid-Konzentrationen

Tab. 1 Beziehung zwischen Witterung und Luftqualität (Quellen: Lufthygieneamt Basel 1998, LfU)

grenzwert der EU-Richtlinie 1999/30/EG [EU, 1999] von 20 µg/m³ (Jahresmittelwert) wurde 1999 eingehalten.

Ein Rückgang der Emissionen ist auch bei Kohlenmonoxid (CO) zu beobachten. CO entsteht überwiegend bei der unvollständigen Verbrennung in Motoren und Feuerungsanlagen. Dominiert werden die CO-Emissionen durch den Verkehr. So hat 1995 im Land der Kfz-Verkehr 65 % der gesamten freigesetzten CO-Emissionen verursacht. Trotz Zunahme des Kfz-Verkehrs von 1985 bis 1995 um fast 35 % konnten die CO-Emissionen im gleichen Zeitraum um 32 % auf 798.000 Tonnen reduziert werden. Vor allem strengere Abgasnormen für Kraftfahrzeuge haben diesen Rückgang der Emissionen

erreicht. Auf EU-Ebene wird derzeit auch eine Tochterrichtlinie erarbeitet, die einen Grenzwert für CO von 10 mg/m³ vorsieht [EU, 1999]. Dieser Grenzwert wird selbst in Ballungsgebieten weit unterschritten (Abb. 4).

Der gezeigten positiven Entwicklung bei der Luftreinhaltung stehen immer noch hohe Belastungen durch andere Luftschadstoffe gegenüber. So besteht nach wie vor Handlungsbedarf für die Luftreinhaltungspolitik des Landes bei den Stickstoffoxiden, den organischen Verbindungen, bei Ozon, Schwebstaub und den krebserzeugenden Luftschadstoffen Benzol und Ruß.

Stickstoffoxide (NO_x)

Stickstoffoxide (NO_x) entstehen bei Verbrennungsprozessen zum einen durch die Oxidation des in der Luft enthaltenen Stickstoffes und zum anderen durch die Umwandlung des im Brennstoff enthaltenen Stickstoffes. Bei diesem Vorgang wird in erster Linie Stickstoffmonoxid (NO) freigesetzt, das in der Atmosphäre zu Stickstoffdioxid (NO₂) oxidiert wird. Akute Vergiftungserscheinungen durch NO_x treten erst ab hohen Konzentrationen auf, weswegen NO_x in Abgasen lange Zeit als unbedenklich galt. Auf Pflanzen können gasförmige Stickstoffoxide sogar eine düngende Wirkung haben. NO_x kann jedoch Salpetersäure bilden, die ähnlich der Schwefelsäure eine der wesentlichen Ursachen des "Sauren Regens" darstellt. Stickstoffoxide sind außerdem Ausgangsstoffe für die Bildung von Photooxidantien. Photooxidantien bilden sich erst unter dem Einfluss von Sonnenlicht aus anderen Stoffen in der Atmosphäre. Die bekannteste Komponente ist das Ozon.

Emissionen

Im Jahr 1995 wurden im Land insgesamt 200.900 Tonnen Stickstoffoxide (berechnet als NO₂) freigesetzt. Die Quellengruppe Verkehr hatte daran einen Anteil von 65 %, gefolgt von der Quellengruppe Industrie und Gewerbe (18 %), den Sonstigen nicht gefassten Quellen mit 9 % und den Kleinfeuerungsanlagen mit 8 % (Abb. 5).

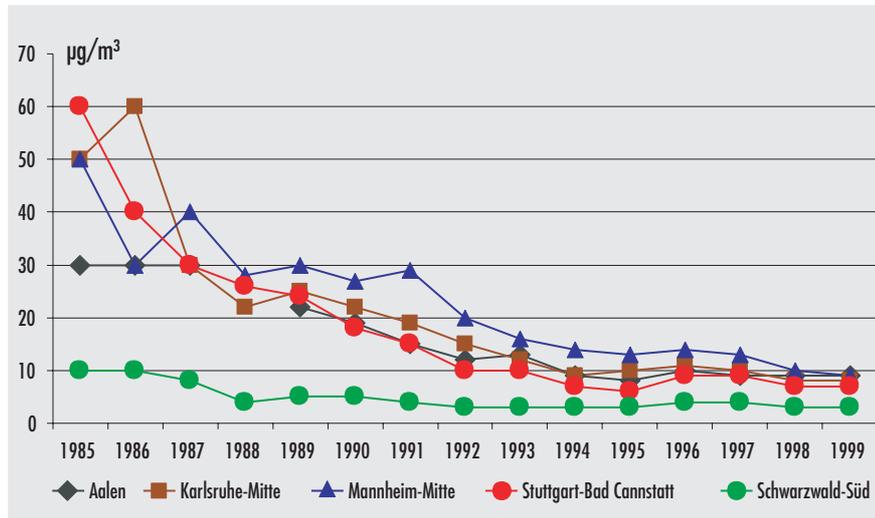


Abb. 3 Entwicklung der SO₂-Konzentrationen (Jahresmittelwerte) an den Luftmessstationen Aalen, Karlsruhe-Mitte, Mannheim-Mitte, Stuttgart-Bad Cannstatt und Schwarzwald-Süd (Quellen: LFU, UMEG)

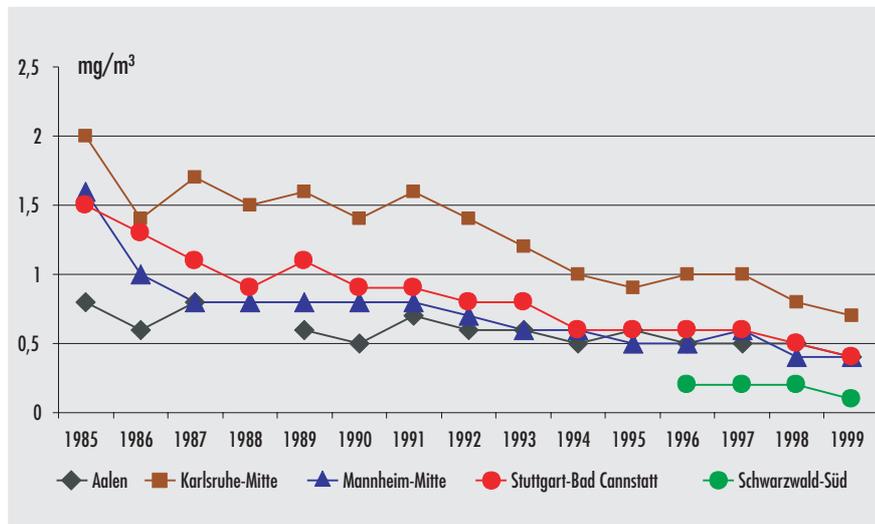


Abb. 4 Entwicklung der CO-Konzentrationen (Jahresmittelwerte) an den Luftmessstationen Aalen, Karlsruhe-Mitte, Mannheim-Mitte, Stuttgart-Bad Cannstatt und Schwarzwald-Süd (Quellen: LFU, UMEG)

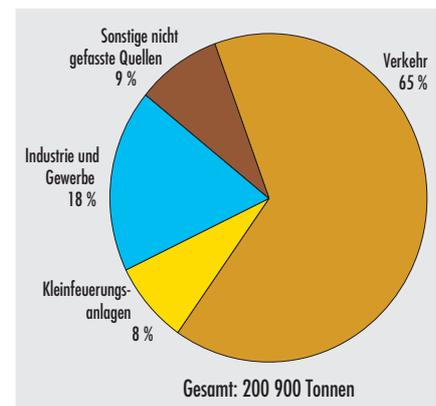


Abb. 5 Stickstoffoxid-Emissionen in Baden-Württemberg 1995 (Quelle: UMEG)

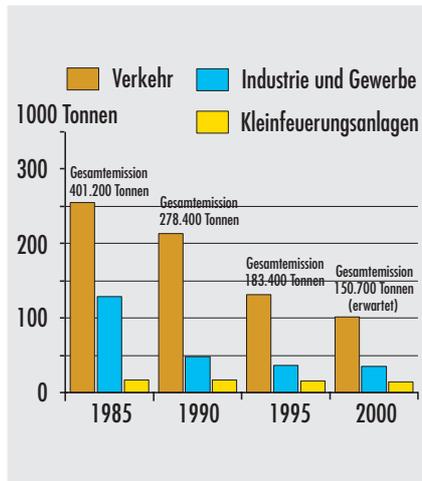


Abb. 6 Entwicklung der Stickstoffoxid-Emissionen ausgewählter Quellengruppen in Baden-Württemberg (Quelle: UMEG)

An der Quellengruppe Verkehr (Straßen-, Schiffs-, Schienen- und Flugverkehr) hat mit 89 % der Straßenverkehr einen hohen Anteil; dazu tragen die schweren Nutzfahrzeuge mit einem Anteil von 42 % bei. Bei der Quellengruppe Industrie und Gewerbe sind insbesondere die großen Kraft- und Heizwerke, die Mineralölverarbeitung und die Zementindustrie für die NO_x -Emissionen verantwortlich. Die wesentlichen Verursacher der NO_x -Emissionen der Sonstigen nicht gefassten Quellen sind Geräte der Land- und Forstwirtschaft sowie Baumaschinen. Die NO_x -Emissionen der drei Quellengruppen Verkehr, Industrie und Gewerbe sowie Kleinfeuerungsanlagen gingen 1985 bis 1995 um 54 % von 401.200 to auf 183.400 to zurück (Abb. 6).

Bei der Quellengruppe Verkehr führte vor allem der Einsatz des Katalysators trotz gesteigerter Fahrleistungen von 1985 bis 1995 zu einer Verminderung der NO_x -Emissionen um 49 %.

Bei der Quellengruppe Industrie und Gewerbe gingen die NO_x -Emissionen zwischen 1985 und 1995 um 72 % zurück. Dieser deutliche Rückgang gelang vor allem bei den Kraftwerken und Großfeuerungsanlagen durch den Einbau von Entstickungsanlagen und durch Verbesserung der Prozess- und Brenntechnik.

Die Quellengruppe Kleinfeuerungsanlagen weist relativ geringe NO_x -Emissio-

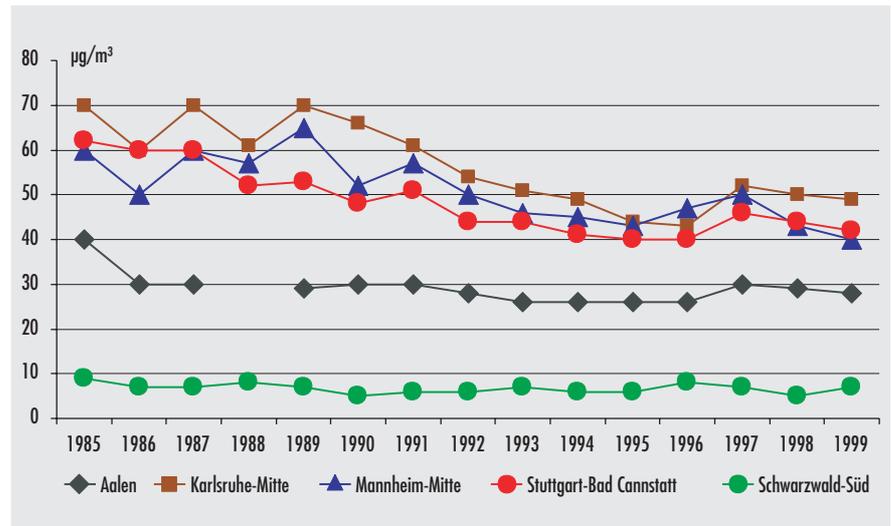


Abb. 7 Entwicklung der NO_2 -Konzentrationen (Jahresmittelwerte) an den Luftmessstationen Aalen, Karlsruhe-Mitte, Mannheim-Mitte, Stuttgart-Bad Cannstatt und Schwarzwald-Süd (Quellen: LfU, UMEG)

nen auf. Die Ursache liegt in gegenüber industriellen Feuerungsanlagen niedrigeren Verbrennungstemperaturen. Infolge von verschärften Anforderungen der Verordnung über Kleinfeuerungsanlagen [1. BImSchV, 1997] und der Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden [WärmeschutzVO] gingen die Emissionen von 1985 bis 1995 um 5 % zurück.

Bis 2000 gehen die NO_x -Emissionen aller Quellengruppen ausgehend von 1995 nochmals um ca. 18 % zurück. Den wesentlichen Beitrag hierzu liefert der Straßenverkehr. Bei ihm werden die NO_x -Emissionen durch den weiter zunehmenden Einsatz von Kraftfahrzeugen mit geregelter Katalysator auch künftig sinken. Bei den Quellengruppen Industrie und Gewerbe sowie Kleinfeuerungsanlagen werden die NO_x -Emissionen von 1995 bis 2000 nur geringfügig abnehmen. Die Emissionen wurden auf der Grundlage von Emissionsfaktoren berechnet [UMEG, 1998].

Immissionen

Bei allen Verbrennungsprozessen wird primär Stickstoffmonoxid (NO) freigesetzt, das in der Atmosphäre relativ schnell in Stickstoffdioxid (NO_2) umgewandelt wird. Für den Menschen ist NO_2 von höherer gesundheitlicher Relevanz, da es als Reizgas über eine längere Zeit

auf den Atemtrakt einwirken kann. Die Stickstoffdioxid-Immissionen werden daher an Hand der gemessenen NO_2 -Konzentrationen beschrieben.

Da NO_3 durch Oxidation aus NO entsteht, hängt seine Konzentration wesentlich von den Umwandlungsraten ab. Diese sind im Sommer auf Grund der höheren Temperaturen und Sonneneinstrahlung deutlich intensiver und laufen schneller ab als im Winter. So werden die besseren Ausbreitungsverhältnisse während der warmen Jahreszeit, die gegenüber dem Winter zu eher niedrigeren Konzentrationen führen, weitgehend kompensiert. Folglich variieren die Konzentrationen kaum mit der Jahreszeit. NO_2 ist mit einer Lebensdauer von etwa zwei Tagen eine relativ stabile Verbindung, die daher über größere Entfernungen transportiert werden kann.

NO_2 ist ein überwiegend verkehrsbedingter Luftschadstoff, so dass die höchsten NO_2 -Konzentrationen an stark verkehrsbeeinflussten städtischen Luftmessstationen auftreten. An emittententfernten Hintergrundmessstationen werden nur geringe NO_2 -Konzentrationen gemessen.

Bei der zeitlichen Entwicklung der NO_2 -Konzentrationen ist für ausgewählte Stationen des Luftmessnetzes zu erkennen, dass die NO_2 -Konzentrationen an den verkehrsbeeinflussten städtischen Luftmessstationen (Karlsruhe-Mitte,

Mannheim-Mitte, Stuttgart-Bad-Cannstatt) seit 1985 im Mittel um $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zurückgegangen sind (Abb. 7). Die unterschiedlichen Witterungsbedingungen der vergangenen Jahre erschweren jedoch eine Aussage über den tatsächlichen Rückgang der NO_2 -Belastung. So sind die Konzentrationsunterschiede seit 1992 im Wesentlichen durch witterungsbedingte Schwankungen verursacht.

Der in Deutschland rechtsverbindliche Immissionswert der 22. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (98%-Wert) wird an allen Luftmessstationen des Landes sicher eingehalten. Der höchste 1999 gemessene 98%-Wert betrug an der Station Freiburg-Straße $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die EU hat 1999 die Richtlinie 99/30/EG über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft verabschiedet [EU, 1999]. Zum Schutz der menschlichen Gesundheit sieht die EU u. a. einen Grenzwert für NO_2 von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jahresmittelwert) vor. Diesen zukünftigen Grenzwert müssen die EU-Mitgliedstaaten ab 1.1.2010 einhalten; er wird im Land nur an den verkehrsbeeinflussten Luftmessstationen (z.B. Karlsruhe-Mitte, Mannheim-Mitte, Stuttgart-Bad-Cannstatt) überschritten (Abb. 7).

Durch chemische Umwandlung entsteht aus den freigesetzten Stickstoffoxiden in der Atmosphäre Nitrat, das mit dem Regenwasser in Böden und Gewässer eingetragen wird (*Deposition*). Das so deponierte Nitrat führt zu einem zusätzlichen Nährstoffeintrag und trägt neben Sulfat zur Versauerung von Böden und Gewässern bei. Die Entstehung des Nitrats in der Atmosphäre ist ein großräumiger Vorgang mit einer Umwandlungszeit von mehreren Tagen, so dass sich in der Nitrat-Deposition auch die Emissionsverhältnisse außerhalb Baden-Württembergs widerspiegeln. Die bisherigen Ergebnisse der Depositionsmessungen zeigen, dass in den regenreichen Hochlagen des Schwarzwalds der größte Nitratreintrag stattfindet. Die Depositionsmessungen

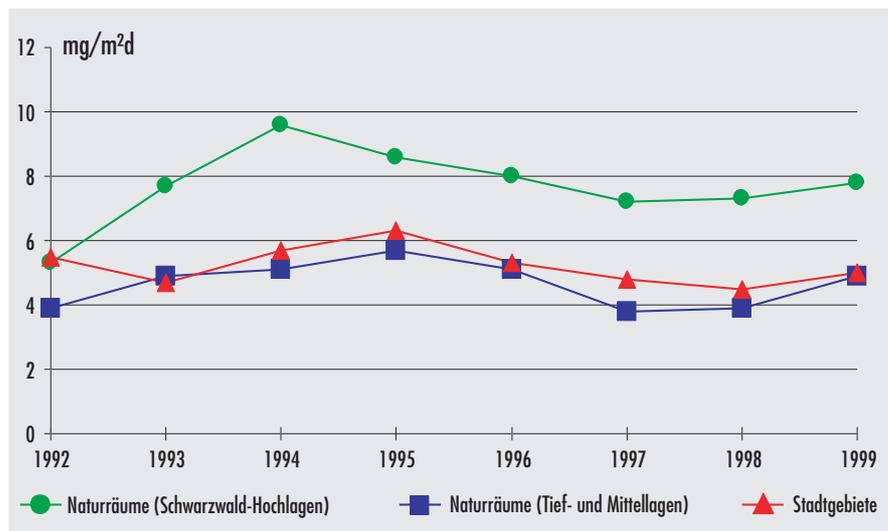


Abb. 8 Entwicklung der Nitrat-Deposition in Baden-Württemberg (Quellen: Lfu, UMEG)

seit 1992 zeigen noch keinen eindeutigen abnehmenden Trend. Die Überwachung muss daher noch über mehrere Jahre weitergeführt werden (Abb. 8).

Organische Verbindungen

Unter dem Oberbegriff Organische Verbindungen (englische Abkürzung: Volatile Organic Compounds - VOC) ist eine Vielzahl unterschiedlicher Stoffarten flüchtiger organischer Verbindungen zusammengefasst, die sich in ihrer Wirkung auf den Menschen wie auch in ihrem Verhalten in der Umwelt stark unterscheiden. Einzelne organische Stoffe schädigen unmittelbar Menschen, Tiere und Pflanzen. Beispiele hierfür sind Benzol, polyzyklische Aromaten, Dioxine und Furane. Viele organische Verbindungen sind leicht flüchtig und gelangen deshalb rasch in die Umwelt, wo sie untereinander reagieren und auch in die chemischen Reaktionen anderer Luftschadstoffe eingreifen können, zum Beispiel bei der Ozonbildung. Bestimmte organische Verbindungen beeinflussen den globalen Zustand der Atmosphäre, indem sie in den Strahlungshaushalt der Erde eingreifen und den Treibhauseffekt verstärken. So ist zum Beispiel Methan neben CO_2 hauptverantwortlich für die Verstärkung des Treibhauseffektes. Andere Stoffe schwächen die stratosphärische Ozonschicht, so dass verstärkt UV-Strahlung auf die Erdoberfläche trifft.

Aus diesem Grund wird bei Darstellungen der VOC-Emissionen im allgemeinen zwischen Methan- und Nicht-Methan-VOC (NMVOC, Non-Methane Volatile Organic Compounds) unterschieden.

Non-Methane Volatile Organic Compounds (NMVOC)

Emissionen

In Baden-Württemberg betragen 1995 die NMVOC-Emissionen 245.900 Tonnen. Ihr Hauptverursacher ist die Quellengruppe Verkehr mit 31 %. Die Biogenen Quellen tragen mit einem Anteil von 25 % zu den NMVOC-Emissionen bei; der Anteil der Sonstigen nicht gefassten Quellen liegt bei 22 %, gefolgt von industriellen und gewerblichen Quellen mit 19 %. Wesentlich geringer ist der Anteil der Kleinfeuerungsanlagen mit 3 % (Abb. 9).

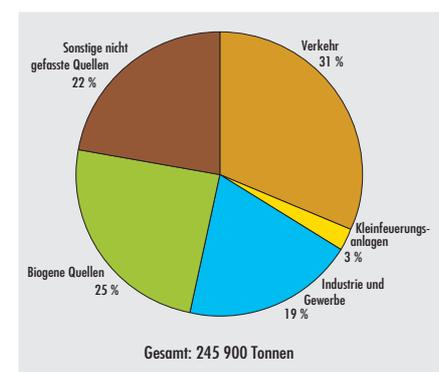


Abb. 9 NMVOC-Emissionen in Baden-Württemberg 1995 (Quelle: UMEG)

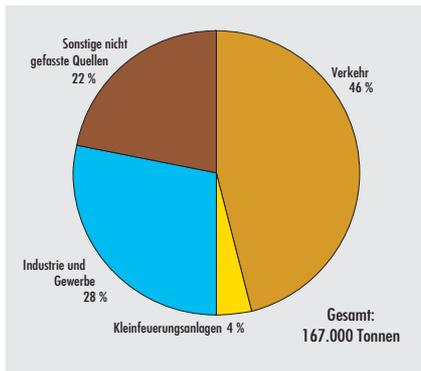


Abb. 10 NMVOC-Emissionen in Baden-Württemberg 1995 ohne biogene Quellen (Quelle: UMEG)

Die NMVOC-Emissionen des Verkehrs werden zu knapp drei Vierteln durch die Abgasemissionen und zu etwa einem Viertel durch die Verdunstungsemissionen bestimmt. Innerhalb der Biogenen Quellen sind vor allem die Wälder für die NMVOC-Emissionen verantwortlich. Bei den Sonstigen nicht gefassten Quellen trägt der Einsatz von Produkten mit organischen Lösemitteln wesentlich zu den NMVOC-Emissionen bei (zum Beispiel bei Anwendung von Reinigungsmitteln, Klebstoffen, Lacken usw. im Haushalt). In der Quellengruppe Industrie und Gewerbe ist die Quelle Gewerbe zu etwa zwei Dritteln für die NMVOC-Emissionen verantwortlich. Die Emissionen entstehen hier vor allem beim Umgang mit Reinigungsmitteln, Lacken, Druckfarben und Kraftstoffen. In Abb. 10 sind die NMVOC-Emissionen ohne die biogenen Quellen dargestellt.

Die NMVOC-Emissionen der drei Quellengruppen Verkehr, Industrie und Gewerbe

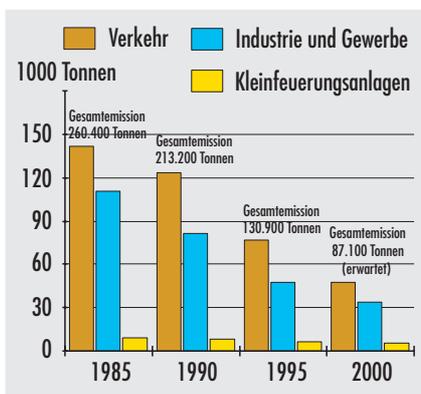


Abb. 11 Entwicklung der NMVOC-Emissionen ausgewählter Quellengruppen in Baden-Württemberg (Quelle: UMEG)

sowie Kleinfeuerungsanlagen gingen von 1985 bis 1995 um 50 % von 260.400 auf 130.900 Tonnen zurück (Abb. 11).

Der deutliche Rückgang der Emissionen innerhalb von 10 Jahren lässt sich mit der Entwicklung bei den beiden wichtigsten Verursachergruppen, dem Straßenverkehr sowie den Lösemittelanwendungen in Industrie und Gewerbe, erklären.

Die Emissionsminderung bei der Quellengruppe Verkehr von 1985 bis 1995 um 46 % resultiert vor allem aus dem fortschreitenden Anwachsen des Kfz-Bestandes mit geregelter Katalysator.

Auffällig war der Rückgang der NMVOC-Emissionen in der Quellengruppe Industrie und Gewerbe (- 57 %). Dies liegt vor allem an geringeren Emissionen bei den Lösemittelanwendungen. Durch Verwendung von Lacken und Reinigungsmitteln mit geringerem Lösemittelgehalt bzw. durch teilweise Umstellung auf wasserbasierende Systeme insbesondere in Lackierereien, Druckereien und metallbe- und -verarbeitenden Betrieben gelang es, die NMVOC-Emissionen deutlich zu senken. Immer mehr Tankstellen wurden mit Gasrückführungssystemen ausgestattet. Dies wirkt sich bei der Anlieferung des Kraftstoffs und der Betankung der Kraftfahrzeuge aus. Dadurch waren beim Gewerbe wesentliche Emissionsrückgänge zu verzeichnen.

Die Emissionen der Kleinfeuerungsanlagen konnten von 1985 bis 1995 um insgesamt 25 % gesenkt werden. Die NMVOC-Emissionen der Kleinfeuerungsanlagen spielen jedoch nur eine untergeordnete Rolle.

Ausgehend vom Jahr 1995, werden sich die NMVOC-Emissionen bis zum Jahr 2000 um 33 % weiter verringern. Wie bei den Stickstoffoxiden hat auch hier der Straßenverkehr absolut (ca. - 29.700 Tonnen) und relativ (- 39 % Tonnen) gesehen den größten Einfluss. Der Rückgang der NMVOC-Emissionen beim Verkehr ist der weiteren Durchdringung der Fahrzeugflotte mit Kraftfahrzeugen zu verdanken, die mit geregelter Katalysator ausgestattet sind. Bei der Quellengruppe Industrie und Gewerbe ist ein Rückgang der NMVOC-Emissionen um ca. 13.200 Tonnen (- 28 %) insbesondere bei Lösemittelanwendungen im gewerblichen Bereich zu erwarten. Relativ gesehen ist auch der Rückgang der NMVOC-Emissionen bei den Kleinfeuerungsanlagen mit 15 % von Bedeutung, absolut betrachtet bedeutet dies allerdings eine Minderung um nur ca. 1.000 Tonnen.

Die Emissionen wurden auf der Grundlage von Emissionsfaktoren berechnet [UMEG, 1998].

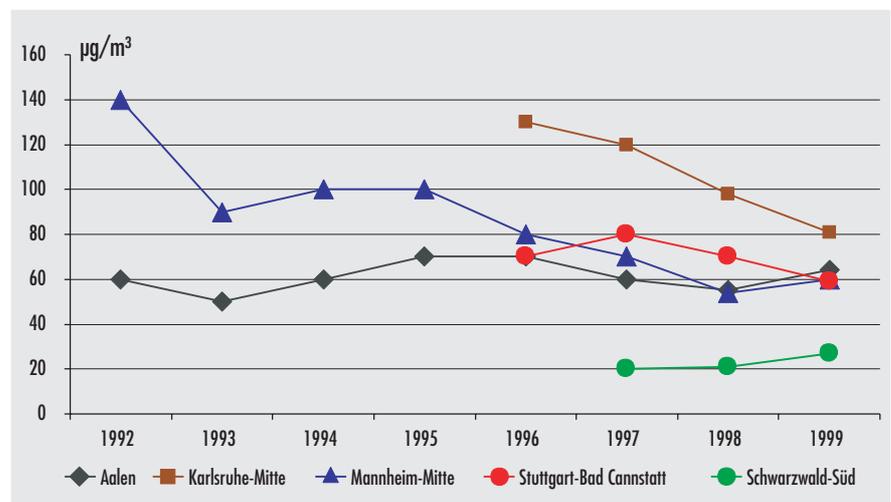


Abb. 12 Entwicklung der NMVOC-Konzentrationen (Jahresmittelwerte) an den Luftmessstationen Aalen, Karlsruhe-Mitte, Mannheim-Mitte, Stuttgart-Bad Cannstatt und Schwarzwald-Süd (Quellen: LfU, UMEG)

Immissionen

Die NMVOC-Immissionen werden nicht an allen Luftmessstationen gemessen, sondern überwiegend an den verkehrsbeeinflussten und städtischen Luftmessstationen in den Ballungsgebieten des Landes. Die höchsten Jahresmittelwerte werden an den verkehrsbeeinflussten städtischen Luftmessstationen, die niedrigsten an den emittentfernen Hintergrundmessstationen ermittelt.

Die zeitliche Entwicklung der NMVOC-Konzentrationen wird an Hand ausgewählter Luftmessstationen dargestellt (Abb. 12). Bei den Jahresmittelwerten ist, infolge steigender Zunahme an schadstoffarmen Kraftfahrzeugen, an den verkehrsbeeinflussten Luftmessstationen Karlsruhe-Mitte und Mannheim-Mitte ein starker Rückgang zu beobachten. An den Luftmessstationen Karlsruhe-Mitte, Stuttgart-Bad-Cannstatt und Schwarzwald-Süd werden erst seit 1996 bzw. 1997 die NMVOC-Immissionen kontinuierlich gemessen.

Ozon

Ozon (O_3) kommt als natürliches Spurengas in der Atmosphäre vor. Es wird in der Stratosphäre in 20 bis 50 km Höhe über der Erdoberfläche durch Sonnenlicht gebildet und schützt als sogenannte Ozonschicht die Menschen, Tiere und Pflanzen vor der harten UV-Strahlung der Sonne. Die Ozonkonzentrationen betragen in dieser Schicht ein Vielfaches gegenüber den Mengen in den unteren Luftschichten.

Bei Wetterlagen mit starken vertikalen Luftbewegungen gelangt Ozon bis in die bodennahe Atmosphäre. Aufgrund dieser Austauschprozesse werden dort natürliche mittlere Konzentrationen von 30-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht, in den Frühjahrs- und Herbstmonaten bei stürmischer Witterung sogar Werte von bis zu 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Im Gegensatz zu anderen Luftschadstoffen gibt es keine unmittelbaren künstlichen Emissionen von Ozon. In der bodennahen Atmosphäre ist Ozon ein

sekundärer Luftschadstoff. Hohe Ozonkonzentrationen im Sommer beruhen auf der zusätzlichen Bildung aus Vorläuferstoffen, im wesentlichen Stickstoffoxiden (NO_x) und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC). Voraussetzung hierfür ist eine intensive Sonneneinstrahlung, welche zu photochemischen Reaktionen zwischen den vorhandenen Substanzen führt. Dabei entsteht eine Reihe neuer, zum Teil sehr kurzlebiger Luftschadstoffe, von denen aber Ozon aufgrund seiner Konzentration, Lebensdauer und Wirkung die wichtigste Einzelkomponente ist und deshalb als Leitsubstanz angesehen wird. Das entstehende Gemisch wird als Photosmog, auch "Sommermog", bezeichnet. Für hohe Ozonkonzentrationen müssen daher folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- das Vorhandensein von NO_x und VOC in genügenden Konzentrationen,
- eine intensive Sonneneinstrahlung,
- eine mehrere Tage andauernde sommerliche windschwache Wetterlage.

Die Ozonbildung in den bodennahen Luftschichten wird zusätzlich durch eine Reihe natürlicher organischer Verbindungen gefördert, wie sie u. a. von Wäldern bei hohen Lufttemperaturen in zunehmender Menge freigesetzt werden. Die bedeutende Rolle dieser biogenen Emissionen bei der sommerlichen Ozonentstehung ist bisher weitgehend unterschätzt und erst in den vergangenen Jahren durch Forschungsarbeiten neu bewertet worden.

In Bezug auf die menschliche Gesundheit ist Ozon in erster Linie ein starkes Reizgas. Es ist nur mäßig wasserlöslich und dringt daher nach dem Einatmen tief in die Atemwege ein. Hier kann es zur Schädigung der Zellmembran und damit zu entzündlichen Prozessen kommen. Die bekannte Reizwirkung des photochemischen Smogs auf die Augen und die oberen Atemwege entsteht nur zum Teil durch Ozon, sondern eher durch andere Photooxidantien, die gut wasserlöslich

sind und deshalb unmittelbar auf die Schleimhäute einwirken können. Die individuelle Empfindlichkeit gegenüber Ozon ist unterschiedlich ausgeprägt, Risikogruppen sind schwer zu definieren. Etwa 10 bis 15 % der Bevölkerung reagieren besonders empfindlich auf Ozon. Wirkungen hängen ab von der Konzentration, der Expositionsdauer und dem Atemvolumen. Letzteres steigt mit zunehmender körperlicher Aktivität.

Zur Wirkung auf Pflanzen liegen hauptsächlich Untersuchungen an landwirtschaftlichen Nutzpflanzen und Waldbäumen vor. Neben den sichtbaren Schäden an Blättern werden auch Wachstumseinbußen verursacht. Die sommerliche Ozonbelastung ist auch für Wildpflanzen ein Stressfaktor, der möglicherweise langfristig Veränderungen der heimischen Flora bewirkt.

Die örtliche Ozonkonzentration in Stadtgebieten hängt weitgehend vom momentanen Verhältnis der Konzentrationen von Stickstoffdioxid (NO_2) und Stickstoffmonoxid (NO) ab. Wenn ständig NO nachgeliefert wird, zum Beispiel an verkehrsreichen Straßen, bleiben die Ozonkonzentrationen auch bei starker Sonneneinstrahlung niedrig, da lokal Ozon durch unmittelbare Reaktion mit NO abgebaut wird. Neben der regionalen Ozonproduktion, zum Beispiel an der dem Wind abgekehrten Seite, im Lee, einer Stadt oder einer VOC-emittierenden Anlage, ist der Einfluss großräumiger vertikaler und horizontaler Luftaustauschbewegungen auf den Verlauf der Ozonkonzentration von großer Bedeutung. So entstehen räumlich sehr variable Konzentrationsverteilungen und zeitlich starke Konzentrationsschwankungen.

Im Jahresgang zeigt sich eine starke jahreszeitliche Abhängigkeit der Ozonkonzentration (Abb. 13). Mit zunehmender Sonneneinstrahlung und steigenden Temperaturen sind in den Sommermonaten steigende Ozon-Konzentrationen zu beobachten. Im Gegensatz zu den Stickstoffoxiden sind bei Ozon an den höher-

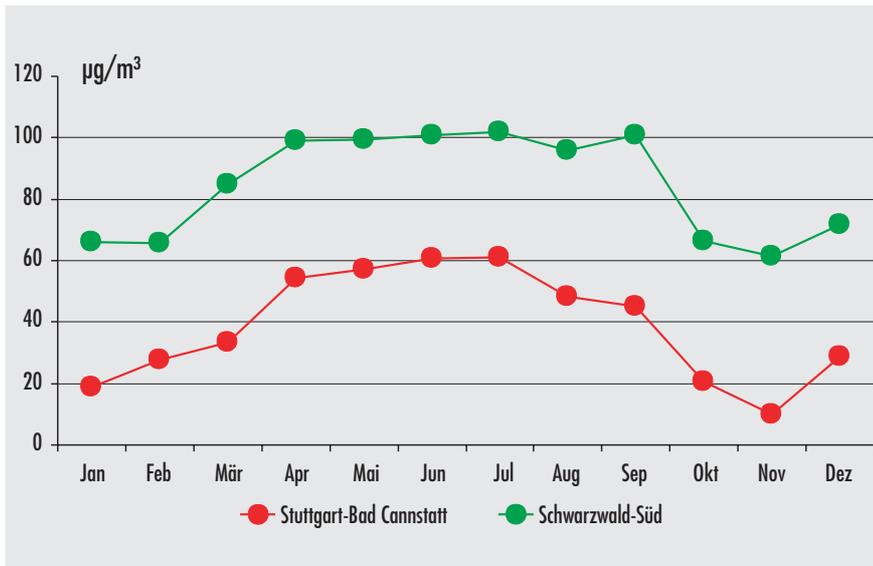


Abb. 13 Jahresgang (Monatsmittelwerte) der Ozon-Konzentrationen an den Luftmessstationen Stuttgart-Bad Cannstatt und Schwarzwald-Süd 1999 (Quellen: LFU, UMEG)

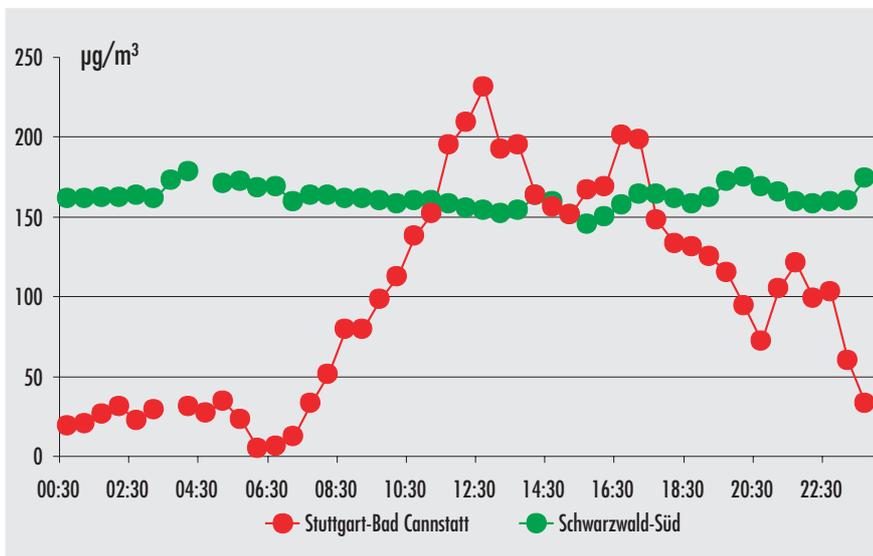


Abb. 14 Tagesgang (Halbstundenmittelwerte) der Ozon-Konzentrationen am 12.8.1998 an den Luftmessstationen Stuttgart-Bad Cannstatt und Schwarzwald-Süd (Quellen: LFU, UMEG)

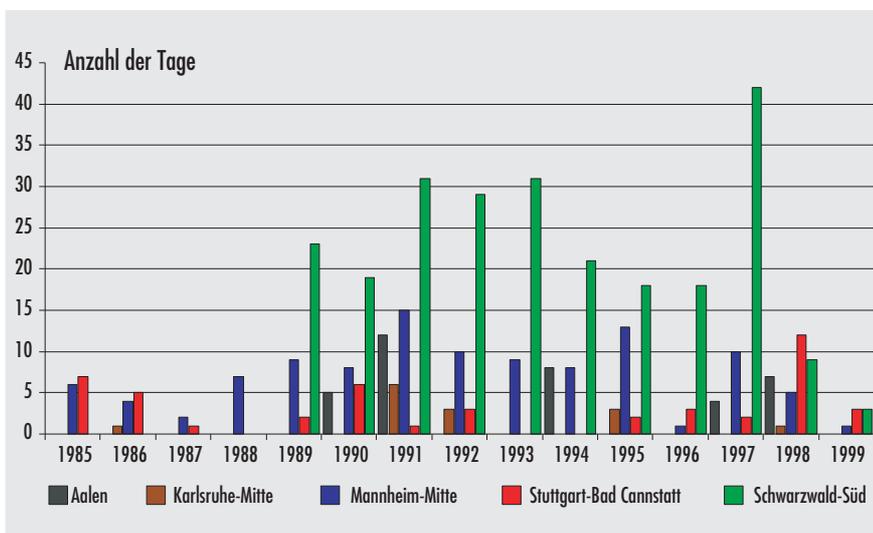


Abb. 15 Anzahl der Tage mit Überschreitungen des Ozon-Schwellenwertes von 180 µg/m³ (Einstundenmittelwert) an den Luftmessstationen Aalen, Karlsruhe-Mitte, Mannheim-Mitte, Stuttgart-Bad Cannstatt und Schwarzwald-Süd (Quellen: LFU, UMEG)

gelegenen und emittentfernen Luftmessstationen die mittleren Konzentrationen deutlich höher als in den Stadtgebieten. Die Ursachen liegen im Abbau von Ozon durch NO und andere Luftschadstoffe in den Stadtgebieten. Besonders im Winter wird in Stadtgebieten der natürliche Ozonpegel durch Reaktion mit NO und anderen Luftschadstoffen stark reduziert. Auf den Berglagen bleibt der Ozonpegel mit rund 60 µg/m³ dagegen weitgehend erhalten, da dort andere Substanzen, welche mit Ozon reagieren könnten, nur in Spuren vorhanden sind. Die gleichen Vorgänge treten auch in Sommernächten auf, weshalb Ozon in der Stadt zusätzlich zum Jahresgang auch eine starke Tagesdynamik aufweist. In Städten gehen die Ozonkonzentrationen nachts fast immer auf Werte nahe Null zurück, um dann im Laufe des Tages zu einem Maximum anzusteigen. Ähnlich wie beim Jahresgang ist auch der Tagesgang auf den Bergen viel ausgeglichener. Der nächtliche Konzentrationsrückgang fehlt fast ganz. Aus diesen Gründen ergibt sich dann ein deutlich höherer mittlerer Ozonpegel auf den Bergen und in ländlichen gegenüber städtischen Gebieten (Abb. 14).

Bei der Belastung durch Ozon sind weniger die mittleren Konzentrationen von gesundheitlichem Interesse als bestimmte überschrittene Schwellenwerte. So sind in der 22. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes verschiedene Schwellenwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit genannt. Für den Menschen ist u. a. der Schwellenwert von 180 µg/m³ (Einstundenmittelwert) relevant, bei dessen Überschreitung die Bevölkerung über die Medien informiert wird. Abb. 15 zeigt relativ hohe Überschreitungshäufigkeiten in den Jahren von 1989 bis 1997 vor allem an der hochgelegenen Hintergrundmessstation Schwarzwald-Süd. Die hohen Überschreitungshäufigkeiten sind im wesentlichen meteorologisch bedingt und rühren von den sehr warmen und sonnenreichen Sommermonaten in

diesen Jahren her. An den stark verkehrsbeeinflussten städtischen Luftmessstationen, wie zum Beispiel Karlsruhe-Mitte, treten erwartungsgemäß geringere Überschreitungshäufigkeiten auf, da wie bereits ausgeführt Ozon durch das primär verkehrsbedingte NO abgebaut wird.

Auch an den emittentfernen Hintergrundmessstationen zeigt sich eine höhere mittlere Ozonbelastung (Jahresmittelwerte) (Abb. 16). Die Ozonbelastung an der Hintergrundmessstation Schwarzwald-Süd liegt rund doppelt so hoch wie an den städtischen Luftmessstationen. Insgesamt haben von 1985 bis 1999 die mittleren Ozon-Konzentrationen an den städtischen Luftmessstationen leicht zugenommen. An der Hintergrundmessstation Schwarzwald-Süd ist die Entwicklung nicht so eindeutig. Hier wurden die höchsten Ozon-Konzentrationen 1991 bis 1992 und 1997 erreicht.

Im Gegensatz zu den Jahresmittelwerten zeigen die Ozon-Spitzenkonzentrationen eine Abnahme (Abb. 17). So wurden seit 1992 keine Ozon-Spitzenkonzentrationen über 300 µg/m³ mehr gemessen, und selbst während der extremen Ozonwetterlage im August 1998 stiegen die Konzentrationen nicht über 280 µg/m³ an.

Staub

Die in der Atmosphäre vorkommenden festen Teilchen (Partikeln) werden als Staub bezeichnet. Dabei wird zwischen groben und feinen Staubpartikeln unterschieden. Die groben Staubpartikeln setzen sich aufgrund ihres Gewichtes rasch ab, d. h. sie werden in der Luft nur über kurze Strecken transportiert. Die feinen Schwebstaubpartikeln, sogenannter Schwebstaub, hingegen können über größere Entfernungen verfrachtet werden.

Die Zusammensetzung der Stäube verändert sich ständig während ihrer Verweilzeit in der Atmosphäre. So vermischen sich Stäube aus anthropogenen Quellen (Industrie, Gewerbe, Hausbrand, Verkehr) mit natürlichen Stäuben wie Pflanzenpollen oder Sand, die vom Wind aufge-

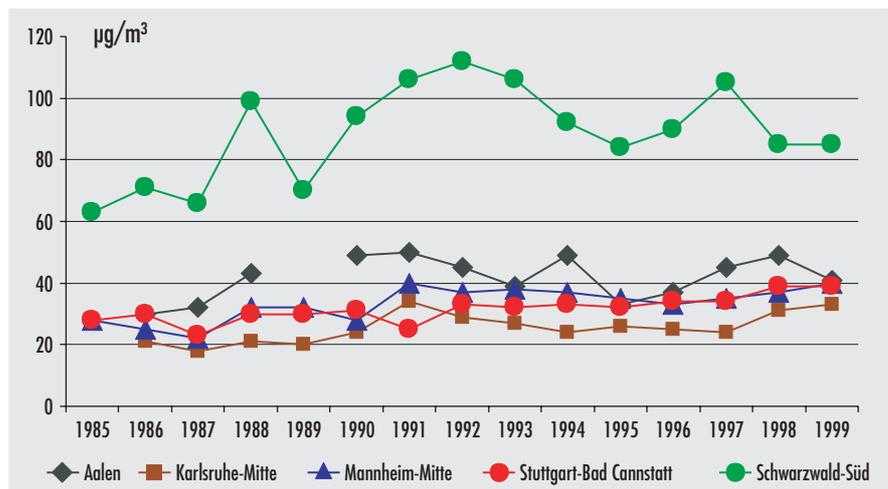


Abb. 16 Entwicklung der Ozon-Konzentrationen (Jahresmittelwerte) an den Luftmessstationen Aalen, Karlsruhe-Mitte, Mannheim-Mitte, Stuttgart-Bad Cannstatt und Schwarzwald-Süd (Quellen: LFU, UMEG)

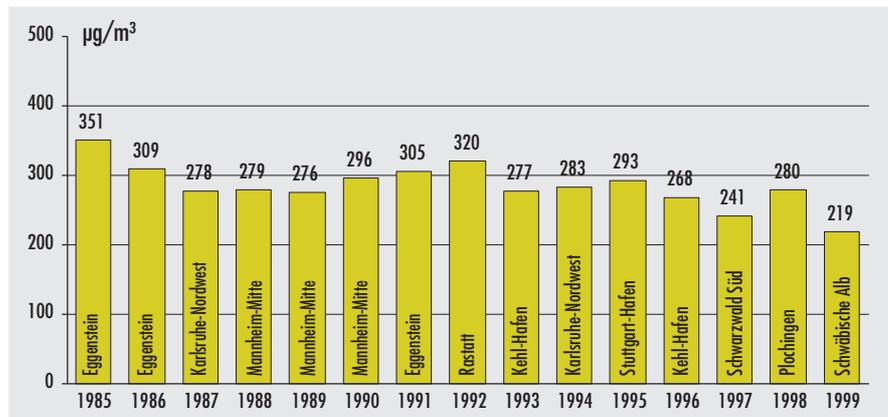


Abb. 17 Entwicklung der Ozon-Spitzenkonzentrationen (Einstundenmittelwerte) in Baden-Württemberg (Quellen: LFU, UMEG)

wirbelt und fortgetragen werden. Gasförmige Luftschadstoffe können an Staubkörnern adsorbiert oder in feste oder flüssige Reaktionsprodukte umgewandelt werden. Außerdem können auf dem Staubkorn chemische Reaktionen stattfinden.

Je kleiner die Staubpartikeln sind, umso tiefer können sie in den Atemtrakt gelangen. Partikeln mit 10 µm Größe lagern sich zu ca. 50 % im Tracheobronchialbereich, d. h. in der Luftröhre und den Bronchien, ab. Wenn die Größe der Partikeln weiter abnimmt, nimmt der bis in den Bronchialbereich (die Alveolen) gelangende Anteil zu. Winzige Partikeln (< 0,05 µm) pendeln mit dem Luftstrom in den Atemwegen und können auch wieder ausgeatmet werden, ohne sich im Atemtrakt abzulagern. Toxikologische und epidemiologische Untersuchungen

haben gezeigt, dass vor allem kleine und sehr kleine Staubpartikeln von besonderer gesundheitlicher Relevanz sind.

Emissionen

Die Staub-Emissionen betragen 1995 insgesamt 17.200 Tonnen. Für die Staub-Emissionen ist mit 46 % die Quellengruppen

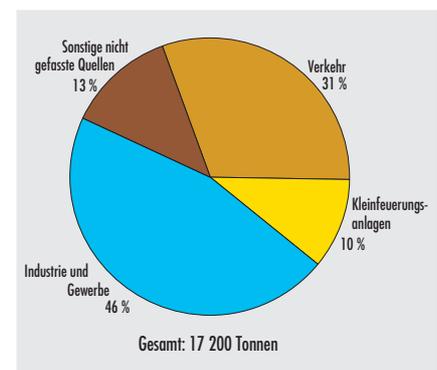


Abb. 18 Staub-Emissionen in Baden-Württemberg 1995 (Quelle: UMEG)

pe Industrie und Gewerbe überwiegend verantwortlich, gefolgt von der Quellengruppe Verkehr (31 %), den Sonstigen nicht gefassten Quellen (13 %) und den Kleinfeuerungsanlagen (10 %) (Abb. 18).

Innerhalb der Quellengruppe Industrie und Gewerbe werden insbesondere Gesteinstäube, Stäube aus Verbrennungsprozessen und Stäube aus der Holzbe- und Holzverarbeitung freigesetzt. Für die Staub-Emissionen der Quellengruppe Verkehr sind mit einem Anteil von 57 % die schweren Nutzfahrzeuge verantwortlich. Geräte der Land- und Forstwirtschaft sowie Baumaschinen verursachen die Staub-Emissionen der Sonstigen nicht gefassten Quellen. Bei den Kleinfeuerungsanlagen sind die Festbrennstoffe maßgeblich für die Emission der Stäube.

Es ist gelungen, die Staub-Emissionen der drei Quellengruppen Verkehr, Industrie und Gewerbe sowie Kleinfeuerungsanlagen 1985 bis 1995 um 74 % von 56.900 auf 15.000 Tonnen wesentlich zu reduzieren (Abb. 19).

Die Staub-Emissionen sind bei der Quellengruppe Industrie und Gewerbe einschließlich der öffentlichen Kraftwerke vor allem durch die Entstaubung von Großemittenten mit einer Reduktion um ca. 23.700 Tonnen am auffälligsten zurückgegangen.

Von 1995 bis 2000 beträgt der Rückgang bei den Staub-Emissionen etwa 20 %.

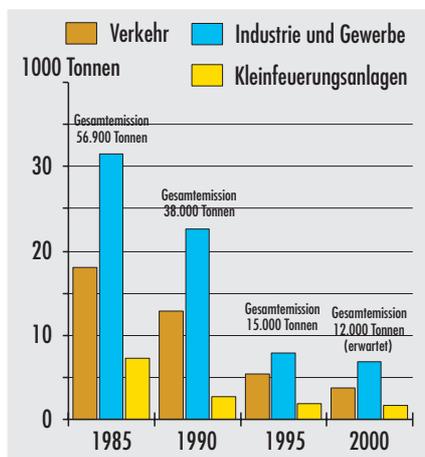


Abb. 19 Entwicklung der Staub-Emissionen ausgewählter Quellengruppen in Baden-Württemberg (Quelle: UMEG)

Dazu trägt bei der Quellengruppe Verkehr vor allem der Straßenverkehr bei. Bei den Quellengruppen Industrie und Gewerbe sowie Kleinfeuerungsanlagen ist bis 2000 keine bedeutende Verringerung der Staub-Emissionen zu erkennen. Die Emissionen wurden auf der Grundlage von Emissionsfaktoren berechnet [UMEG, 1998].

Immissionen

Beim Schwebstaub, der seit den siebziger Jahren messtechnisch überwacht wird, wurden aufgrund sich ändernder gesetzlicher Vorgaben unterschiedliche Messverfahren eingesetzt. Seit Ende der 80er Jahre wird an den meisten Luftmessstationen des Landes Schwebstaub gravimetrisch bestimmt. Hierbei wird der Schwebstaub auf einem Filter abgeschieden, und anschließend werden die abgeschiedenen Stäube gewogen.

Die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg und die Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen mbH haben 1998 einen ausführlichen Bericht über die Schwebstaubbela-stung im Land herausgegeben [LfU/UMEG, 1998].

An der Hintergrundmessstation Schwarzwald-Süd werden gravimetrische Schwebstaubmessungen erst seit 1996 durchgeführt. Sowohl in den großen Ballungsgebieten des Landes als auch in Gebieten mit eher kleinstädtischer Struktur weisen

die Jahresmittelwerte der Schwebstaubbelastung keine großen Unterschiede auf (Abb. 20). An der emittentfernen Hintergrundmessstation Schwarzwald-Süd werden die niedrigsten Schwebstaub-Konzentrationen gemessen.

Gesicherte Trendaussagen zur Entwicklung der Schwebstaubbelastung sind schwierig, da es auf Grund der seit den 70er Jahren häufig geänderten Messverfahren keine homogenen Messreihen über einen längeren Zeitraum gibt und zwischen den natürlichen und den vom Menschen verursachten Anteilen des Schwebstaubgehaltes der Luft nicht unterschieden werden kann. Meteorologische Bedingungen sowie die Lage und Umgebung der Luftmessstationen beeinflussen die Messergebnisse. Lang anhaltende trockene Wetterperioden mit intensiver Luftbewegung erhöhen den natürlichen Staubgehalt der Luft insbesondere dann, wenn sich in der Umgebung des Messortes Bodenflächen mit lockerer Krume befinden. Bewachsene Flächen in der Umgebung wirken sich weniger stark aus. Hinzu kommt, dass der Feinstaub mehrere Tage in der Atmosphäre verweilen und über große Entfernungen transportiert werden kann (zum Beispiel Saharastaub).

Der in Deutschland rechtsverbindliche Immissionswert der 22. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes von $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jahresmit-

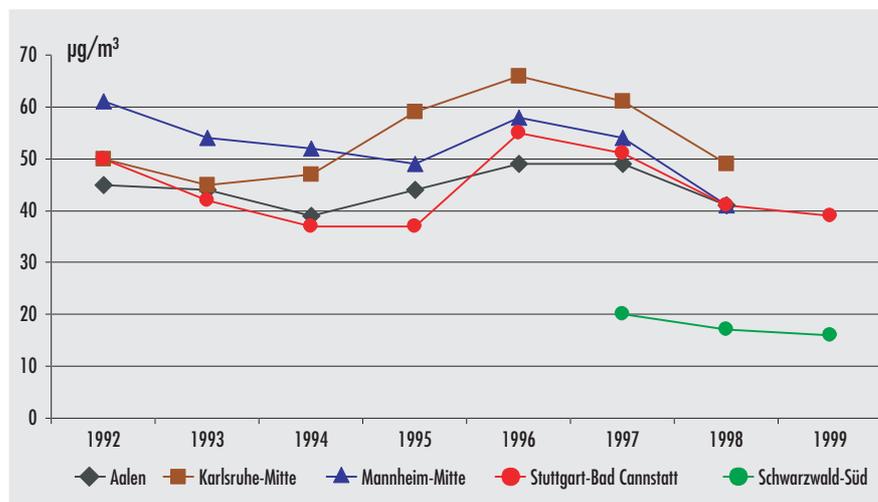


Abb. 20 Entwicklung der Schwebstaub-Konzentrationen (Jahresmittelwerte) an den Luftmessstationen Aalen, KA-Mitte, MA-Mitte, Stuttgart-Bad Cannstatt und Schwarzwald-Süd (Quellen: LfU, UMEG)

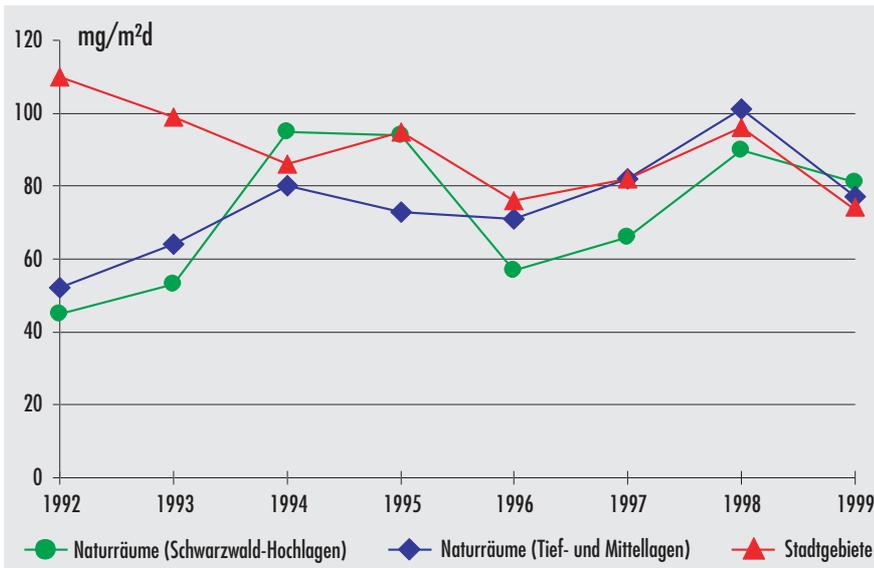


Abb. 21 Entwicklung des Staubniederschlags in Baden-Württemberg (Quellen: LfU, UMEG)

telwert) wird an sämtlichen Luftmessstationen des Landes weit unterschritten. Der höchste 1998 an den Luftmessstationen gemessene Jahresmittelwert betrug $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Luftmessstation Esslingen. In der EU wurde 1999 die Richtlinie 99/30/EG über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikeln und Blei in der Luft verabschiedet [EU, 1999]. Zum Schutz der menschlichen Gesundheit sieht die EU einen Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jahresmittelwert) für besonders feine Staubpartikeln, sogenannten PM10-Staub (PM = Particulate Matter), vor. Diesen Grenzwert müssen die EU-Mitgliedstaaten ab 1. Januar 2005 einhalten.

Seit April 1999 wird an den Luftmessstationen des Landes PM10-Schwebstaub gemessen. Nur noch an sechs Luftmessstationen wird Schwebstaub nach dem Ende der 80er Jahre eingeführten Messverfahren bestimmt, so z.B. an den Luftmessstationen Stuttgart-Bad Cannstatt und Schwarzwald-Süd. Aus diesem Grund kann die Entwicklung der Schwebstaub-Konzentrationen nur, wie in Abb. 19 gezeigt, für diese Luftmessstationen fortgeschrieben werden (Abb. 20). Erste Ergebnisse der Messungen zeigen, dass in einigen Gebieten des Landes dieser zukünftige EU-Grenzwert derzeit nicht eingehalten werden kann.

Deposition

Die Staubniederschläge können über die langfristige Entwicklung der Staubbela-stung Auskunft geben. Die Depositionsmessungen in den Stadtgebieten lassen darauf schließen, dass die großen industriellen Staubquellen erfolgreich saniert wurden. Der Staubniederschlag liegt heutzutage in den Stadtgebieten in der Größenordnung der weniger besiedelten Naturräume. Demgegenüber zeigen die Depositionsmessungen in den verschiedenen Naturräumen keinen eindeutigen Trend (Abb. 21). Außerdem ist beim Staubniederschlag noch unklar, welchen Anteil Stäube aus anthropogenen Emissionen oder natürlichen Staubquellen haben. Um diese Fragen zu klären und die weitere Entwicklung des Staubniederschlags zu beobachten, müssen die Messungen fortgeführt werden.

Krebs erzeugende Luftschadstoffe

Luftqualitätsstandards für Krebs erzeugende Luftverunreinigungen lassen sich schwerlich festlegen, denn es kann keine toxikologisch vertretbare Schwellendosis angegeben werden, deren Unterschreiten gesundheitlich unbedenklich wäre. Bereits geringste Mengen eines Krebs erzeugenden Stoffes können Erkrankungen auslösen. Eine Möglichkeit, die Krebs

erzeugende Wirkung von Luftverunreinigungen zu beschreiben, ist es, ein vertretbares Risiko für die Bevölkerung festzulegen, an Krebs zu erkranken. Der Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) hat auf der Grundlage der in Deutschland vorliegenden Emissions- und Immissionsverhältnisse sowie unter Einbeziehung national und international anerkannter Wissenschaftler ein durch Luftverunreinigungen verursachtes Gesamtkrebsrisiko für die Bevölkerung von 1:2500 vorgeschlagen [LAI, 1992]. Ein Gesamtkrebsrisiko von 1:2500 bedeutet, dass bei lebenslanger Einwirkung (70 Jahre) Krebs erzeugender Luftverunreinigungen auf den Menschen bei 2500 exponierten Personen mit einem (1) zusätzlichen Krebsfall zu rechnen ist. Auf der Basis dieses Gesamtkrebsrisikos hat der LAI für die umweltrelevantesten Krebs erzeugenden Luftverunreinigungen sogenannte Beurteilungsmaßstäbe abgeleitet (Tab. 2). Die Beurteilungsmaßstäbe sind flächenbezogene Werte. Das bedeutet: Die Beurteilungsmaßstäbe können eingehalten sein, obwohl an einzelnen Punkten, zum Beispiel in unmittelbarer Nähe stark befahrener Straßen, die Belastungen deutlich höher sind. Für solche hochbelasteten Punkte werden in der Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten [23. BImSchV, 1996] Konzentrationswerte für die überwiegend aus dem Straßenverkehr

Beurteilungsmaßstab	
Arsen	5 ng/m ³
Asbest	88 Fasern/m ³
Benzol	2,5 µg/m ³
Benzo[a]pyren*	1,3 ng/m ³
Cadmium	1,7 ng/m ³
Dieselmruß	1,5 µg/m ³
2,3,7,8-Tetrachlor-dibenzo-p-dioxin	16 fg/m ³

* Leitsubstanz der Polzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH)

Tab. 2 Beurteilungsmaßstäbe für sieben Krebs erzeugende Stoffe bezogen auf ein Gesamtkrebsrisiko durch Luftverunreinigungen von 1:2500 (Quelle: LAI; Stand 1992)

Krebs erzeugende Luftschadstoffe



Abb. 22 Vergleich verschiedener Lebenszeitriskos mit dem Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen (Quelle: LAI)

stammenden Krebs erzeugenden Luftschadstoffe Benzol und Ruß (im wesentlichen Dieselrußpartikel) festgelegt.

Bei der Festlegung eines Gesamtkrebsrisikos für die Bevölkerung von 1:2500 durch Krebs erzeugende Luftverunreinigungen hat der LAI insbesondere die Unterschiede in der Immissionsbelastung zwischen Ballungsgebieten und ländlichen Gebieten in Deutschland berücksichtigt. Auf Grund der höheren Immissionsbelastung mit Krebs erzeugenden Luftverunreinigungen beträgt das durchschnittliche Krebsrisiko in Ballungsgebieten etwa 1:1000 und in ländlich geprägten Gebieten etwa 1:5000. Die Belastungsunterschiede zwischen Stadt und Land sind relativ groß. Deshalb müssen Maßnahmen getroffen werden, um die Belastungssituation gerade in den Ballungsgebieten deutlich zu reduzieren. Um die von Luftverunreinigungen ausgehenden Risiken in den Ballungsgebieten nachhaltig zu verringern, hat der LAI den

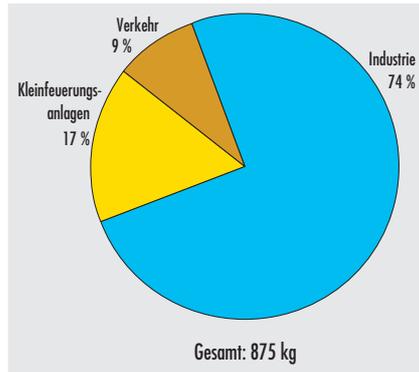


Abb. 23 Arsen-Emissionen 1996 in Baden-Württemberg (Quelle: LfU)

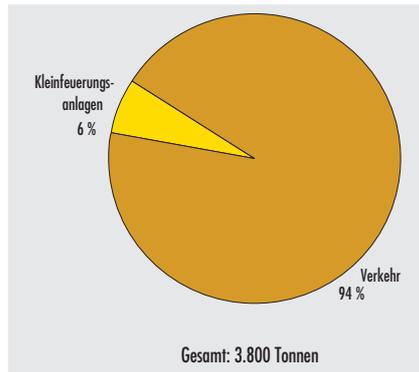


Abb. 25 Benzol-Emissionen 1996 in Baden-Württemberg (Quelle: LfU)

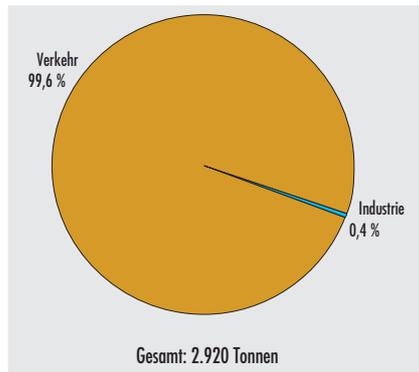


Abb. 27 Dieselruß-Emissionen 1996 in Baden-Württemberg (Quelle: LfU)

Zielwert für ein Gesamtkrebsrisiko von 1:2500 vorgeschlagen.

Die Skala der Lebenszeitriskos im Vergleich mit den durch Luftverunreinigungen bedingten Krebsrisiken reicht von dem recht unwahrscheinlichen Fall, vom Blitz getroffen zu werden, bis zu dem relativ hohen Risiko, an Krebs zu sterben (Abb. 22).

Emissionen

Für die vom LAI als umweltrelevant eingestuftes Krebs erzeugenden Luftverunreinigungen wurden zuletzt 1996

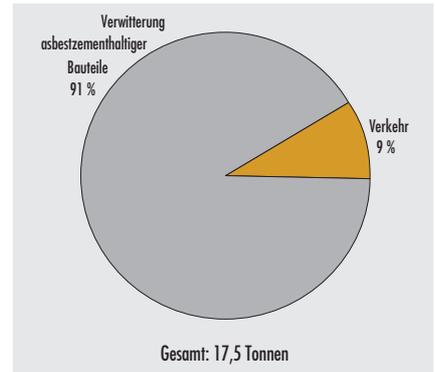


Abb. 24 Asbest-Emissionen 1996 in Baden-Württemberg (Quelle: LfU)

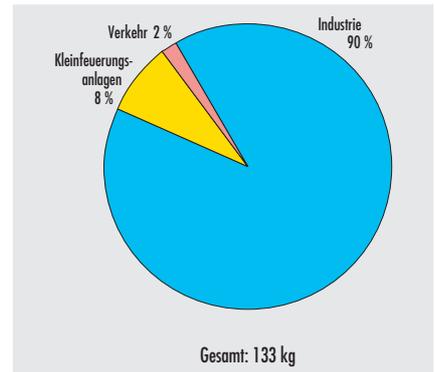


Abb. 26 Cadmium-Emissionen 1996 in Baden-Württemberg (Quelle: LfU)

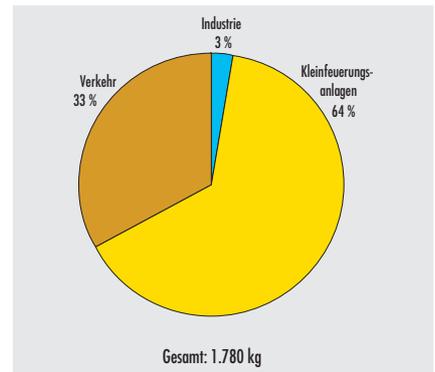


Abb. 28 Benzo[a]pyren-Emissionen 1996 in Baden-Württemberg (Quelle: LfU)

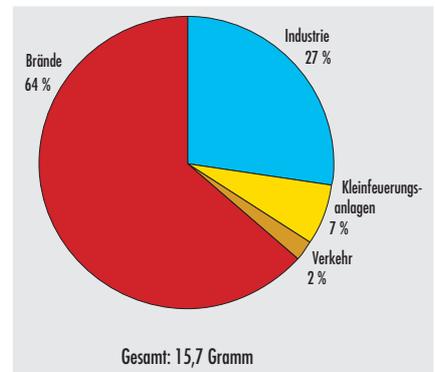


Abb. 29 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin-Emissionen 1996 in Baden-Württemberg (Quelle: LfU)

die Emissionen erhoben. Bis auf Benzol werden die Krebs erzeugenden Luftschadstoffe überwiegend als Staubbestandteile oder an Staubpartikel angelagert in die Atmosphäre abgegeben.

Arsenverbindungen kommen ubiquitär in der Erdkruste, insbesondere in Kohle, vor und reichern sich bei thermischen Prozessen in den freigesetzten Feinstäuben an. Deshalb sind Feuerungsanlagen, Anlagen der Zement- und Glasindustrie sowie Müllverbrennungsanlagen Hauptquellen der Arsenverbindungen.

Asbestfasern stammen im Wesentlichen aus der Verwitterung asbestzementhaltiger Bauteile.

Benzol als gasförmiger Luftschadstoff wird überwiegend vom Verkehr freigesetzt und tritt insbesondere an stark befahrenen, innerstädtischen Straßen in beachtenswerten Konzentrationen auf.

Cadmiumverbindungen entstehen vorwiegend bei der Metall-, Zement- und Keramikerstellung sowie in Feuerungsanlagen und bei der Müllverbrennung.

Rußpartikel stammen fast ausschließlich aus dem Straßenverkehr (Dieselruß) und nur zu einem geringen Anteil aus stationären Verbrennungsanlagen.

Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (Leitsubstanz: Benzo[a]pyren) treten als Abbauprodukte bei der unvollständig ablaufenden Verbrennung von organischen Materialien auf. Die bei der Verbrennung zunächst gasförmigen Verbindungen lagern sich an die Staubpartikel im Abgas an. Hauptquellen sind Hausbrand und Straßenverkehr.

2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin (2,3,7,8-TCDD) entsteht bei Verbrennungs- und Verschmelzungsprozessen chlorhaltiger Materialien bei Temperaturen um 500° C. Der hohe Siedepunkt führt dazu, dass bei normalen Temperaturen der Hauptanteil an Staubpartikel angelagert wird. Müll- und Sondermüllverbrennungsanlagen sowie Anlagen zur Metallgewinnung sind die Haupt-

verursacher. In der gleichen Größenordnung liegen die geschätzten Emissionen aus Bränden.

Die Abbildungen 23 bis 29 stellen die 1996 freigesetzten Emissionen Krebs erzeugender Stoffe und die Anteile der verschiedenen Quellengruppen an den jeweiligen Gesamtemissionen dar.

Verschärfte Anforderungen an bestehende Müllverbrennungsanlagen und die Verpflichtung, bei Neuanlagen Minderungs- und Vermeidungstechniken nach dem Stand der Technik einzusetzen, haben von 1992 bis 1996 zu einer Verminderung der Cadmiumverbindungen um etwa 86 % und um etwa 50 % bei den polyhalogenierten Dibenzodioxinen/-furanen geführt.

Der Energieverbrauch der Quellengruppe Hausbrand ist von der Witterung in der Heizperiode abhängig. Nach dem relativ milden Winter 1994 waren für den kälteren Winter 1996 ein höherer Energieverbrauch und somit höhere Emissionen zu beobachten. Die positiven Auswirkungen des Trends weg von der Kohle zu emissionsärmeren Brennstoffen wie Erdgas und Heizöl werden jedoch durch den verstärkten Einsatz von Brennholz wieder aufgehoben. Langfristig werden in der Quellengruppe Hausbrand die Emissionen durch verlustarme Feuerungen und Wärmeschutzmaßnahmen stetig abnehmen.

Verbesserte Motorentechnik führte im Bereich Straßenverkehr zu einem stetigen

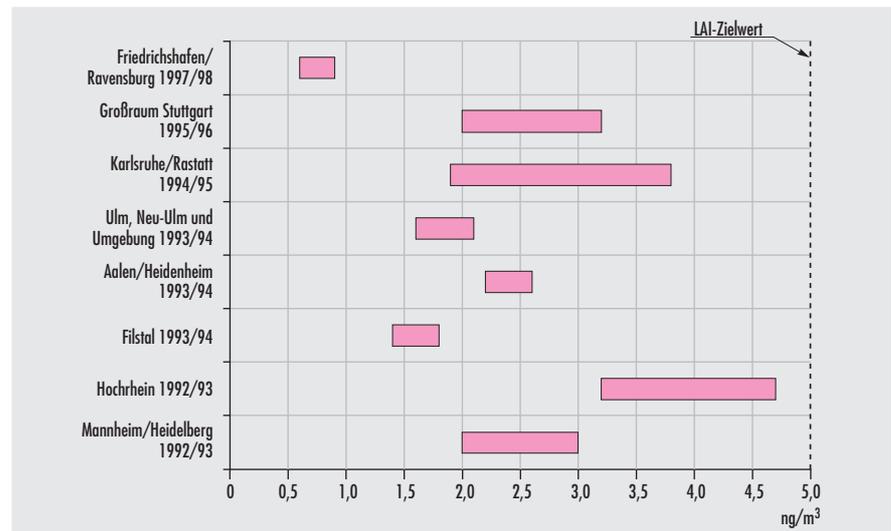


Abb. 30 Jahresmittelwerte (Streubereiche) für Arsen im Vergleich zum LAI-Beurteilungsmaßstab (Quelle: UMEG)

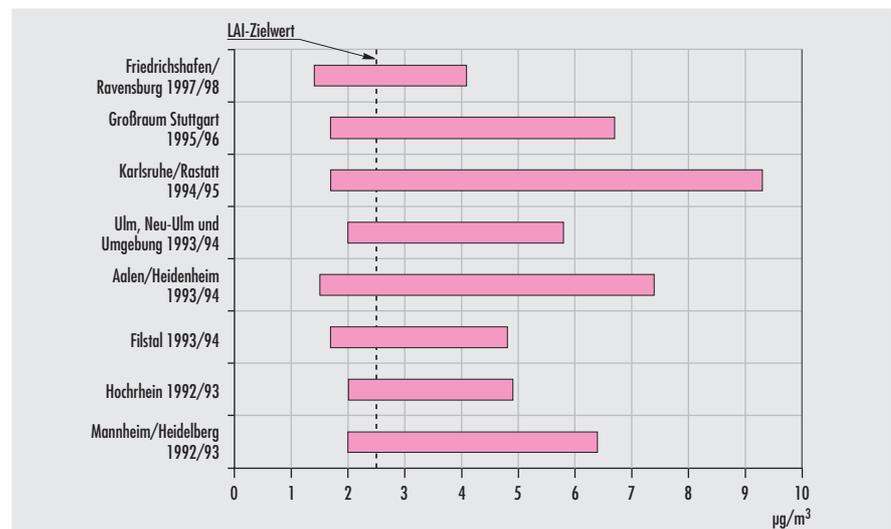


Abb. 31 Jahresmittelwerte (Streubereiche) für Benzol im Vergleich zum LAI-Beurteilungsmaßstab (Quelle: UMEG)

Krebs erzeugende Luftschadstoffe

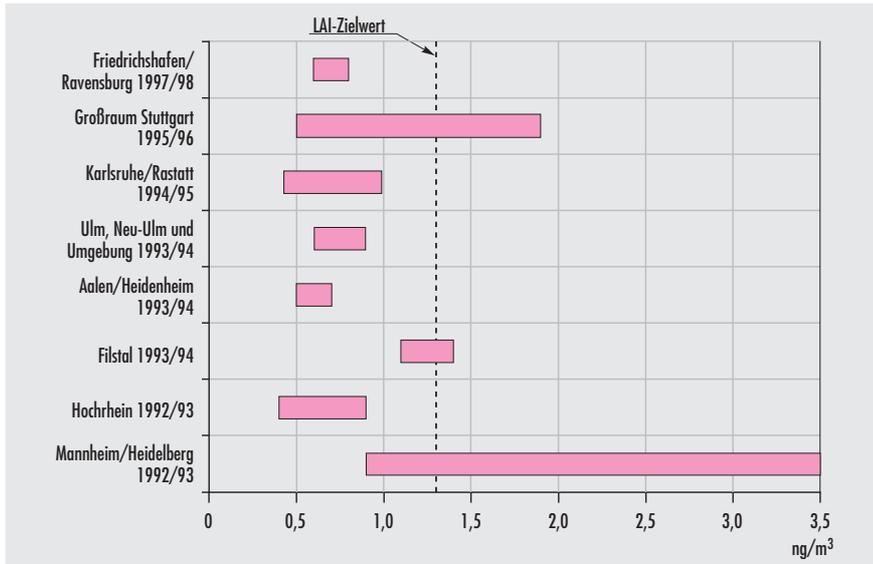


Abb. 32 Jahresmittelwerte (Streubereiche) für Benzo[a]pyren im Vergleich zum LAI-Beurteilungsmaßstab (Quelle: UMEG)

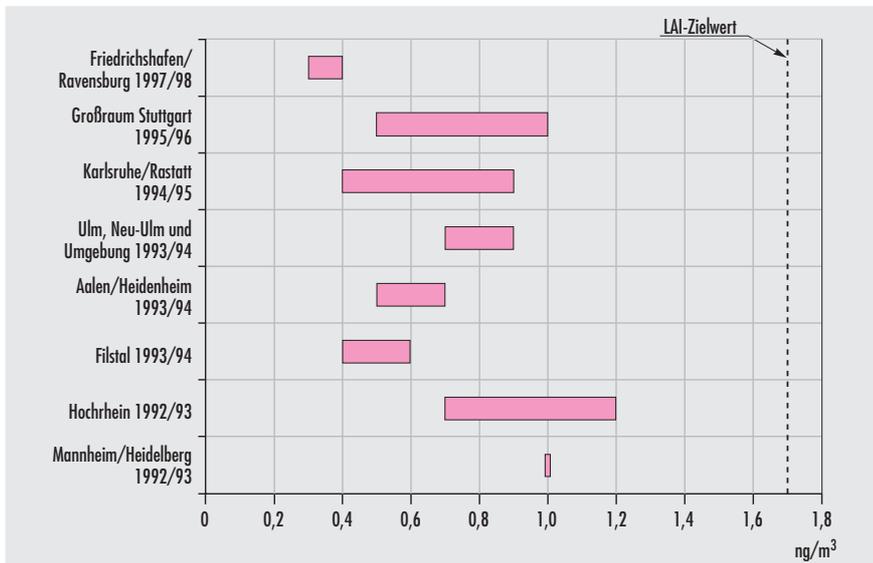


Abb. 33 Jahresmittelwerte (Streubereiche) für Cadmium im Vergleich zum LAI-Beurteilungsmaßstab (Quelle: UMEG)

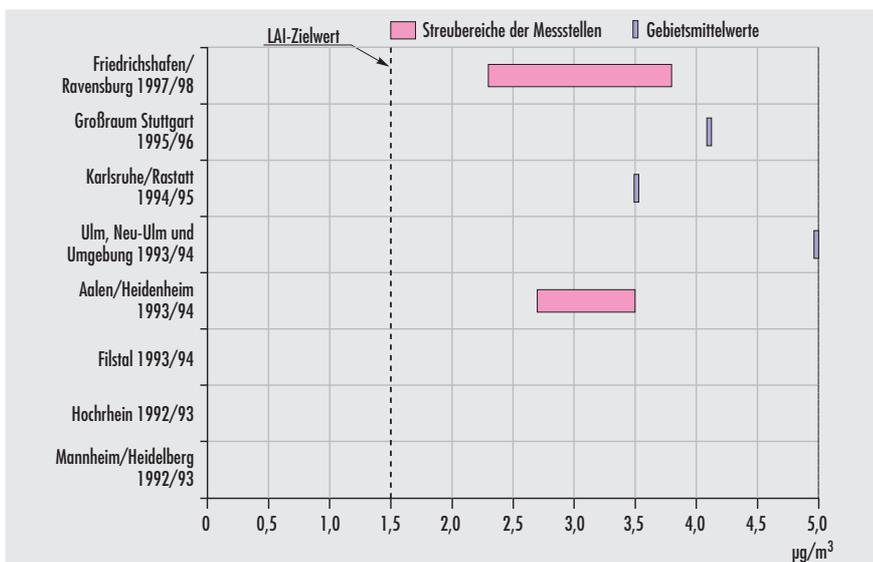


Abb. 34 Jahresmittelwerte (Streubereiche) für Ruß im Vergleich zum LAI-Beurteilungsmaßstab (Quelle: UMEG)

Rückgang der Emissionen von Benzol und Benzo[a]pyren. Bei den Emissionen von Dieselruß wirkte sich die verbesserte Motortechnik erst zwischen 1994 und 1996 aus.

Verschärfte Anforderungen der Europäischen Union an Kraftfahrzeuge, insbesondere an den Schwerverkehr, werden durch die Zunahme des Anteils emissionsärmerer Fahrzeuge zu einer weiteren Abnahme der Emissionen von Benzol, Benzo[a]pyren und Dieselruß führen.

Immissionen

Seit 1992 werden bei den Immissionsrastermessungen verstärkt auch die vom LAI vorgeschlagenen Krebs erzeugenden Luftschadstoffe gemessen. Die für die untersuchten Gebiete ermittelten Jahresmittelwerte der Krebs erzeugenden Luftschadstoffe Arsen, Benzol, Benzo[a]pyren, Cadmium und Ruß sind als Streubereiche bzw. Gebietsmittelwerte dargestellt; außerdem sind die Spannweiten der Gebietsmittelwerte aufgeführt (Abb. 30 bis 34). Auf die flächendeckende Erfassung von Asbest und 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin wird bei den Immissionsrastermessungen in der Regel verzichtet, da orientierende Messungen gezeigt haben, dass die im Land ermittelten Konzentrationen weit unterhalb der LAI-Beurteilungsmaßstäbe liegen. So wurden für Asbest Jahresmittelwerte von 50² Fasern/m³ [UVM, 1998] und für 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin von 0,8 fg/m³ bis 3,3 fg/m³ [UMEG, 1997] ermittelt.

Die Ergebnisse zeigen, dass in den betrachteten Gebieten die Krebsrisiken durch Luftverunreinigungen überwiegend vom Straßenverkehr ausgehen. Für Benzol liegen die Jahresmittelwerte um bis zu 50 % und für Ruß um ein Mehrfaches über den Beurteilungsmaßstäben des LAI. Auch der Beurteilungsmaßstab für Benzo[a]pyren wird in einigen Gebieten überschritten. Benzol und Ruß werden vorwiegend vom Straßenverkehr freigesetzt. In allen Ballungsgebieten

oder stärker verdichteten Räumen des Landes sind die Verkehrsverhältnisse ähnlich. Daher sind überall dort ähnliche Überschreitungen der Beurteilungsmaßstäbe in der Fläche zu erwarten.

Anhang

Erläuterungen und Abkürzungen

BlmSchG

Bundes-Immissionsschutzgesetz (Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge)

1. BlmSchV

Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Kleinf Feuerungsanlagen)

22. BlmSchV

Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte)

23. BlmSchV

Dreiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten)

CO

Kohlenmonoxid

Deposition

Ablagerung von Luftverunreinigungen auf der Erdoberfläche

Einheiten

m³ = Kubikmeter

mg = Milligramm (= 10⁻³ Gramm)

µg = Mikrogramm (= 10⁻⁶ Gramm)

ng = Nanogramm (= 10⁻⁹ Gramm)

fg = Femtogramm (= 10⁻¹⁵ Gramm)

Emissionen

Von einer (festen oder beweglichen) Anlage oder von Produkten an die Umwelt abgegebene Luftverunreinigungen (Gase, Stäube), Geräusche, Strahlen,

Wärme (z. B. Abwärme von Kühltürmen), Erschütterungen oder ähnliche Erscheinungen.

Immissionen

Einwirkungen von Luftverunreinigungen, Geräuschen, Erschütterungen, Strahlen und Wärme auf die Umwelt

Inversion

Meteorologische Situation, bei der die Luft in Erdbodennähe kälter ist als in der Höhe, während normalerweise die Lufttemperatur mit der Höhe abnimmt. Inversionen führen zur Luftstagnation und verschlechterten Ausbreitungsbedingungen in den bodennahen Luftschichten.

Konvektion

Bei starker Erwärmung des Erdbodens an sonnigen Sommertagen steigen warme Luftblasen auf, sogenannte Thermik. Die Folge sind hochreichende vertikale Umschichtungen der Luft, dadurch werden in Bodennähe freigesetzte Luftverunreinigungen stark verdünnt.

LAI

Länderausschuss für Immissionsschutz

Luftverunreinigungen

Luftverunreinigungen sind Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft, insbesondere durch Rauch, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe und Geruchstoffe.

Median

Der Median ist ein Maß für die mittlere Belastung. Unterhalb dieses Wertes liegen 50 % der Messwerte des betrachteten Zeitraumes.

Mittelwert

Zur Beurteilung der Luftqualität werden die Messwerte über bestimmte Zeiträume gemittelt. In der Regel werden die

Anhang

Messwerte als Halbstunden-, Stunden-, Tages- oder Jahresmittelwert angegeben.

NMVOC

Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC = Non-Methane Volatile Organic Compounds)

NO

Stickstoffmonoxid

NO₂

Stickstoffdioxid

Photooxidantien

Stickstoffoxide können sich in der Atmosphäre mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und Sauerstoff unter dem Einfluss intensiver Sonnenstrahlung in Photooxidantien umsetzen. Ein wichtiger Vertreter der Photooxidantien ist Ozon.

O₃

Ozon

PM10-Staub

Schwebstaubpartikel, die über den Kehlkopf hinaus in den Atemtrakt gelangen können und einen mittleren aerodynamischen Durchmesser von 10 µm aufweisen (PM = Particulate Matter).

ppm

Parts per million (1 Teilchen in einer Million Teilchen = 10⁻⁶)

98-Prozent-Wert

Der 98-Prozent-Wert ist diejenige Konzentration, unterhalb der 98 % aller Messwerte eines Jahres liegen. Der 98-Prozent-Wert soll ein Maß für kurzzeitig auftretende Immissionseinwirkungen sein.

SO₂

Schwefeldioxid

VOC: Flüchtige organische Verbindungen

Quellen- und Literaturhinweise

1. *BImSchV, 1997*: 1. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (VO über Kleinfeuerungsanlagen - 1. BImSchV) vom 14.3.1997, BGBl I Nr. 17/1997, S. 490

22. *BImSchV, 1993*: 22. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (VO über Immissionswerte - 22. BImSchV) vom 26.10.1993, BGBl I S. 1819, zuletzt geändert durch Verordnung vom 27.5.1994, BGBl I S. 1095

23. *BImSchV, 1996*: 23. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (VO über die Festlegung von Konzentrationswerten - 23. BImSchV) vom 16.12.1996, BGBl I S.1962

EU, 1999: Richtlinie 99/30/EG des Rates vom 22.4.1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft, Abl. L 163 vom 29.6.1999, S. 41

LAI, 1992: Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI), Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf

Lufthygieneamt Basel, 1998: Lufthygieneamt beider Basel, Liestal, Die Luftbelastung in der Region Basel - Jahresbericht 1997

LfU/UMEG, 1998: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, UMEG Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen mbH, Karlsruhe, Schwebstaubbelastung in Baden-Württemberg, 1998

UVM, 1998: Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart (Hrsg.), Immissions- und Wirkungsuntersuchungen im Raum Friedrichshafen/Ravensburg 1997/1998. Bearbeitung: UMEG, Karlsruhe, Bericht Nr. 31-1/98

UMEG, 1998: UMEG, Karlsruhe, Emissionskataster Baden-Württemberg, Bericht Nr. 12-3/98

UMEG, 1997: UMEG, Karlsruhe, Immissionen von Dioxinen und Furanen in Baden-Württemberg 1997/1998, Bericht Nr. 32-4/98

Informationsmöglichkeiten

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg:

<http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de>

Ozonansagedienst:

Im Fall einer Überschreitung des Schwellenwertes von 180 µg/m³ können von Mai bis September unter der Rufnummer (0721) 751076 die Luftmessstationen abgefragt werden.

T-Online-Dienst der Telekom AG:

Die täglichen Luftmesswerte von 9.00 Uhr, 12.00 Uhr, 15.00 Uhr und 18.00 Uhr können unter der Seitennummer 67899 abgerufen werden.

UMEG:

<http://www.umeg.de>

Umweltdatenkatalog:

<http://www.umweltdatenkatalog.de>

Videotext:

Im SWR werden die täglichen Luftmesswerte von 9.00 Uhr, 12.00 Uhr, 15.00 Uhr und 18.00 Uhr unter dem Namen Südwesttext auf Tafel 176 veröffentlicht.

Einführung

Auf europäischer und nationaler Ebene haben sich im Umweltschutz die Grundsätze einer dauerhaften und umweltgerechten Entwicklung und eines vorbeugenden und umsichtigen Handelns in entsprechenden Gesetzen und Richtlinien verankert. So orientiert sich auch der Umgang mit Wasser und Gewässern an diesem Leitbild. Es gilt, durch eine nachhaltige Entwicklung und Bewirtschaftung sowie einen vorsorgenden Schutz die oberirdischen Gewässer (Fließgewässer und Seen) und insbesondere das Grundwasser für zukünftige Generationen und deren Nutzungsansprüche zu bewahren. Dieser Anspruch ist im Rahmen der ökologischen und ökonomischen Notwendigkeiten und Möglichkeiten zu realisieren.

Wesentliche Nutzungen sind z.B.

- Trink- und Brauchwassergewinnung,
- Schifffahrt und Transport,
- Freizeit- und Erholungsfunktionen,
- Fischerei,
- Gewinnung elektrischer Energie,
- Ableitung der gereinigten Abwässer.

Es muss dabei sichergestellt werden, dass vermeidbare Beeinträchtigungen der Gewässer und ihrer Funktionen als Lebensraum für Tiere und Pflanzen unterbleiben. Daraus ergeben sich folgende Grundsätze:

- naturnahe Gewässer sind zu erhalten bzw. zu entwickeln,
- der weitgehend natürliche Wasserhaushalt ist zu erhalten bzw. zu entwickeln,
- Grundwasser darf nur im Ausmaß seiner Neubildung genutzt werden,
- wassersparende Verfahren sind anzuwenden,
- Belastungen der Gewässer sind zu vermeiden bzw. auf ein verträgliches Maß zu begrenzen. Dabei kommt auch dem Schutz des Grundwassers eine besondere Bedeutung zu.

Ein Beispiel dafür ist: In Teilbereichen hat sich ein verantwortlicher Umgang

WASSER, ALTLASTEN

Einführung	F – 1
Gewässerentwicklung und Wasserbau	F – 1
Wasserschutzgebiete	F – 2
Wasserversorgung	F – 4
Grundwasser	F – 4
Abwasser	F – 16
Fließgewässer	F – 17
Baggerseen	F – 36
Bodensee	F – 40
Altlasten	F – 41
Anhang	F – 44

mit dem Wasser bei einer breiten Bevölkerungsschicht bereits durchgesetzt. Dies zeigen die entgegen früheren Prognosen rückläufigen Wasserverbrauchszahlen. So war zwischen 1991 und 1993 ein Rückgang von ca. 140 auf 131 Liter pro Einwohner und Tag zu verzeichnen; der durchschnittliche Haushaltsverbrauch beträgt heute etwa 125 l. Bei Themen wie „Wassersparen“ und „Niederschlagswasserversickerung“ auf den Grundstücken, mit den Hauptzielen Abflussreduzierung und Entlastung von Kanalisation und Kläranlage, kann jeder Einzelne einen verantwortungsvollen Umgang mit dem Wasser praktizieren.

Um jedoch die gesteckten Ziele zu erreichen, ist es unabdingbar, die Gewässersituation systematisch zu erfassen, zu dokumentieren und zu bewerten. Nur auf diesem Weg ist es möglich,

- Auswirkungen von Benutzungen zu erkennen,
- gezielt Schutz- und Sanierungsstrategien zu entwickeln und anzuwenden
- die Wirksamkeit der Entwicklungs- und Schutzmaßnahmen zu beurteilen.

Gewässerentwicklung und Wasserbau

Die Erhaltung naturnaher Gewässer und Auen sowie die Entwicklung naturfern

ausgebauter Gewässer zu naturnahen Gewässern gehören zu den vorrangigsten Aufgaben der Wasserwirtschaft.

Beim Ausbau und bei der Unterhaltung der Gewässer sind ökologische Gesichtspunkte früher nur wenig beachtet worden. Dies führte in Verbindung mit zunehmender Überbauung und intensiver Nutzung der Talauen zu Beeinträchtigungen des Naturhaushalts.

In der Übersichtskarte des morphologischen Zustands der Fließgewässer wurden die Fließgewässer des Landes mit Einzugsgebietsgrößen über 20 km² vor allem mittels Luftbild- und Karteninterpretation nach fünf ausgewählten Strukturparametern (Linienführung, Gehölzsaum, Gewässerrandstreifen, Talbodennutzung und künstliche Wanderungshindernisse) bewertet. Danach sind nur ca. 21,7 % der bewerteten Fließgewässer noch weitgehend naturnah, 30,7 % sind beeinträchtigt und 47,6 % naturfern (Abb. 1 und 2).

Vorrangige Ziele der Gewässerentwicklung sind auf der Grundlage des Gesamtkonzepts Naturschutz und Landschaftspflege (1989) und der Wassergesetz-Novelle (1.1.1996) für Baden-Württemberg:

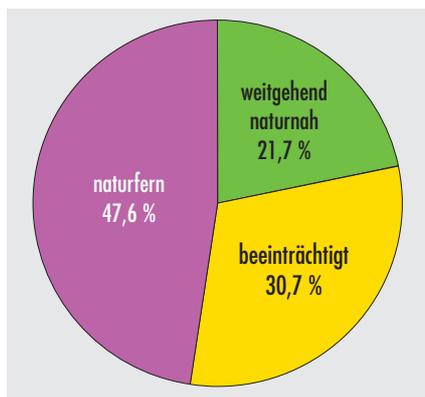


Abb. 1 Morphologischer Zustand der Fließgewässer in Baden-Württemberg - Anteile der Zustandsklassen (Quelle: LfU; Stand: 1998)

- die Erhaltung noch vorhandener naturnaher Fließgewässer,
- die Erhaltung und Entwicklung der naturnahen Auen (als Rückzugsgebiete von besonderer Artenvielfalt und natürliche Retentionsflächen),
- bei technisch ausgebauten Gewässern eine naturnahe Entwicklung und die Reaktivierung natürlicher Retentionsflächen,
- die Entwicklung naturnaher Gewässerrandstreifen an den Ufern fließender und stehender Gewässer, um auf diese Weise neue Lebensräume und Rückzugsareale für Tiere und Pflanzen zu erschließen. Für die Gewässer sind die Gewässerrandstreifen Entwicklungsraum und Pufferzonen gegen den

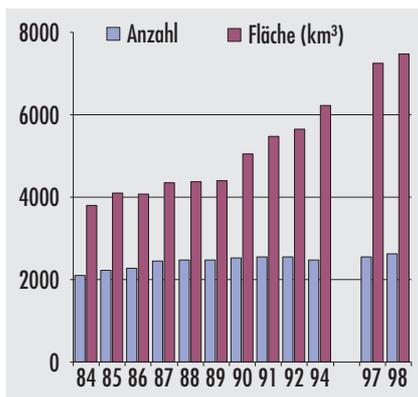


Abb. 3 Entwicklung der Wasserschutzgebiete in Baden-Württemberg (Quelle: UVM 1998)

Eintrag von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln.

Für die naturnahe Gewässerentwicklung ist das Instrument der Gewässerentwicklungsplanung geschaffen worden. Diese enthält

- Gewässerentwicklungskonzepte für die überörtliche wasserwirtschaftliche Rahmenplanung
- Gewässerentwicklungspläne für die konkrete ökologische Verbesserung der Gewässer auf örtlicher Ebene.

Die naturnahe Gewässerentwicklung betrachtet das Gewässer in der Gesamtschau und bezieht strukturelle, biologische, chemische und hydrologische Gesichtspunkte gleichermaßen ein.

Wasserschutzgebiete

Wasserschutzgebiete werden ausgewiesen, um die bestehende und künftige öffentliche Wasserversorgung zu sichern. In Baden-Württemberg wird deren Wasserbedarf zu 75 % aus Grund- und Quellwasser und nur zu 25 % aus Oberflächenwasser gedeckt.

Aufgrund der geologischen, hydrologischen und topografischen Verhältnisse werden Wasserschutzgebiete in verschiedene Schutzzonen unterteilt, in denen abgestufte Schutzbestimmungen gelten:

- den Fassungsereich (I),
- die engere Schutzzone (II)
- die Schutzzone (III).

Die seit 1988 geltende Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO) des Landes hat die Düngung, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und die Wirtschaftsweise in Wasserschutzgebieten erheblich eingeschränkt. Ziel ist es, insbesondere die Belastung des Grundwassers mit Nitrat und Pflanzenschutzmitteln zu vermeiden. Für damit verbundene wirtschaftliche Nachteile erhalten die Grundstücksnutzer vom Land einen Ausgleich.

Am 12.11.1998 waren in Baden-Württemberg 2.620 Wasserschutzgebiete mit 7.476 km² festgesetzt (Abb. 3). Tab. 1

Regierungsbezirk Fläche	1.1.85 Festgesetzt		1.6.90 Festgesetzt		1.7.94 Festgesetzt		1.7.97 Festgesetzt		12.11.98 Festgesetzt	
	Anzahl	Fläche in km² %	Anzahl	Fläche in km² %						
Stuttgart 10.558 km²	865	1.337 12,7	1.007	1.577 14,9	992	2.103 20,0	960	2.429 23,0	940	2.410 22,8
Karlsruhe 6.920 km²	235	993 14,3	281	1.347 19,5	330	1.542 22,3	326	1.563 22,6	357	1.640 23,7
Freiburg 9.356 km²	744	676 7,2	929	877 9,4	972	1.068 11,4	948	1.168 12,5	1.014	1.233 13,2
Tübingen 8.917 km²	256	786 8,8	319	1.237 13,9	183	1.540 17,3	325	2.093 23,5	345	2.193 24,6
Summe Land 35.751 km²	2.100	3.792 10,6	2.536	5.038 14,2	2.477	6.233 17,4	2.559	7.253 20,3	2.620	7.476 20,9

Tab. 1 Entwicklung und Verfahrensstand der Festsetzung von Wasserschutzgebieten in Baden-Württemberg (Quelle: UVM; Stand 11/1998)

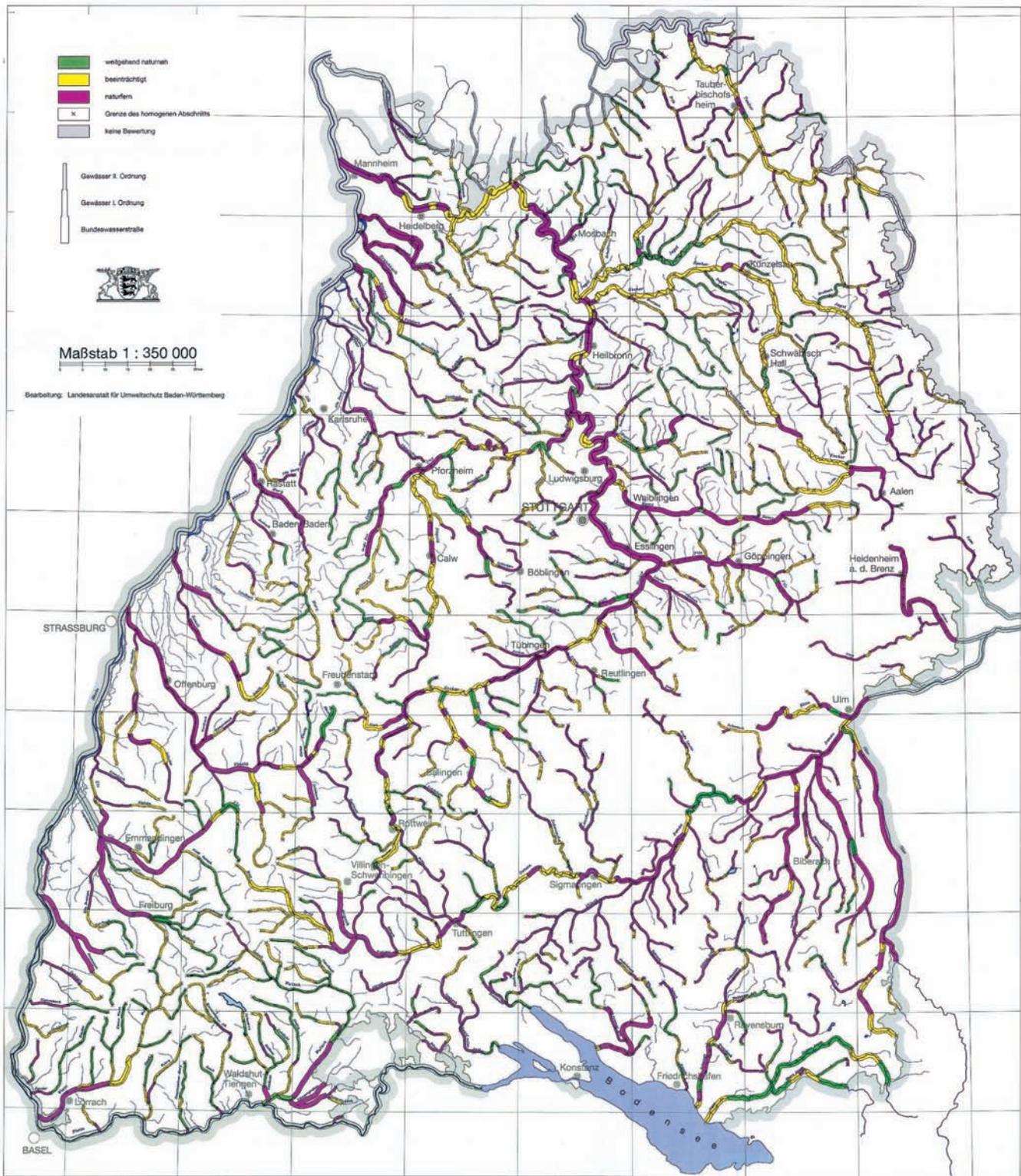


Abb. 2 Übersichtskarte des morphologischen Zustands der Fließgewässer in Baden-Württemberg (Quelle: LfU; Stand 1994)

zeigt den Verfahrensstand der Festsetzung von Wasserschutzgebieten für die gesamte Landesfläche und die einzelnen Regierungsbezirke; die Prozentangaben beziehen sich dabei auf die Landesfläche bzw. die jeweiligen Flächen der Regierungsbezirke.

Wasserversorgung

Auf Grund des heterogenen geologischen Aufbaus des Landes sind die Wasservorkommen ungleichmäßig verteilt. Die größten Wasservorkommen liegen in den Randbereichen. Dies ist für das Grundwasser der Oberrheingraben mit dem Fördermaximum in der nördlichen Rheinebene. Trinkwasser aus Oberflächenwasser wird hauptsächlich aus dem Bodensee, der Donau bei Leipheim und der Talsperre Kleine Kinzig entnommen. Von den 1995 gewonnenen ca. 7,2 Mrd. m³ Grund- und Oberflächenwasser entfielen etwas weniger als 10 % auf die öffentliche Wasserversorgung, etwa 8 % auf das Verarbeitende Gewerbe, den Bergbau und die Gewinnung von Steinen und Erden sowie mehr als 80 % auf die Energiewirtschaft (hauptsächlich für Kühlzwecke).

Öffentliche Wasserversorgung

Die öffentliche Wasserversorgung stützt sich auf drei Ebenen: die Gemeinde-, Gruppen- und Fernwasserversorgungen. Sie wurde 1998 von 1372 Versorgungsunternehmen sichergestellt; darunter haben 1000 Versorgungsunternehmen mit eigenen Gewinnungsanlagen 694,5 Mio. m³ Wasser gefördert.

Das gewachsene Verbundsystem macht einen überregionalen Ausgleich zwischen Wassermangel- und Wasserüberschussgebieten möglich. Anthropogene Belastungen des Rohwassers haben zum „Verschnitt“ durch Mischung mit weniger belasteten Wässern geführt. Landespolitische Zielsetzung ist es, vorrangig ortsnahe Wasservorkommen zu nutzen und zu schützen. Dabei stehen auch Maßnahmen der rationellen Wassernutzung im Vordergrund.

Abb. 4 stellt die Entwicklung der Wassergewinnung 1975 bis 1998 für die öffentliche Wasserversorgung dar. Für diese wurden 1998 694,5 Mio. m³ Wasser gewonnen. Fast 73 % des gewonnenen Wassers waren der Herkunft nach Grund- und Quellwasser, rund 27 % Oberflächenwasser (einschließlich

Uferfiltrat und angereichertes Grundwasser). Darunter waren 31,6 Mio. m³ auf bayerischem Gebiet gewonnenes Wasser. Die Wassergewinnung lag danach um 12 Mio. m³ (1,7 %) unter der 1995 gewonnenen Wassermenge, obwohl die Bevölkerungszahl leicht zunahm (+ 1 %).

Wassergewinnung der Industrie

Abb. 4 zeigt auch die Entwicklung für die Wassergewinnung der Industrie. Der Zeitraum erstreckt sich von 1975 bis 1995. Der Wasserbedarf der Industrie betrug 1998 449 m³ (vorläufige Zahl). Aufgrund neuer Erhebungsgrundlagen ist der Vergleich zu früheren Ergebnissen eingeschränkt.

Wasserqualität

Rund 30 % des gewonnenen Wassers konnten ohne Aufbereitung an die Letztverbraucher abgegeben werden. Der weitaus überwiegende Teil des übrigen Wassers wurde durch einstufige Verfahren wie Entsäuerung, Enteisenung/Entmanganung, Trübstofffilterung, Phosphatierung sowie durch andere Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen aufbereitet. Informationen zur Trinkwasserqualität enthält das Kapitel „Lebensmittel“.

Grundwasser

Grundwasserbeschaffenheitsmessnetz

In Baden-Württemberg gibt es ein Messnetz zur Erfassung der Grundwasserbeschaffenheit. Damit werden flächenhaft repräsentative Daten erhoben, erfasst, aufbereitet, ausgewertet und verfügbar gemacht, um

- die Situation und Entwicklung zu dokumentieren und regelmäßig in Berichten darzustellen,
- die Einflussfaktoren aufzuzeigen, also Auswirkungen von Nutzungen und des hydrologischen Geschehens auf das Grundwasser zu untersuchen und zu beurteilen,
- Verbesserungs- und Eingriffsmöglichkeiten zu beschreiben sowie Lenkungsmöglichkeiten zu nennen.

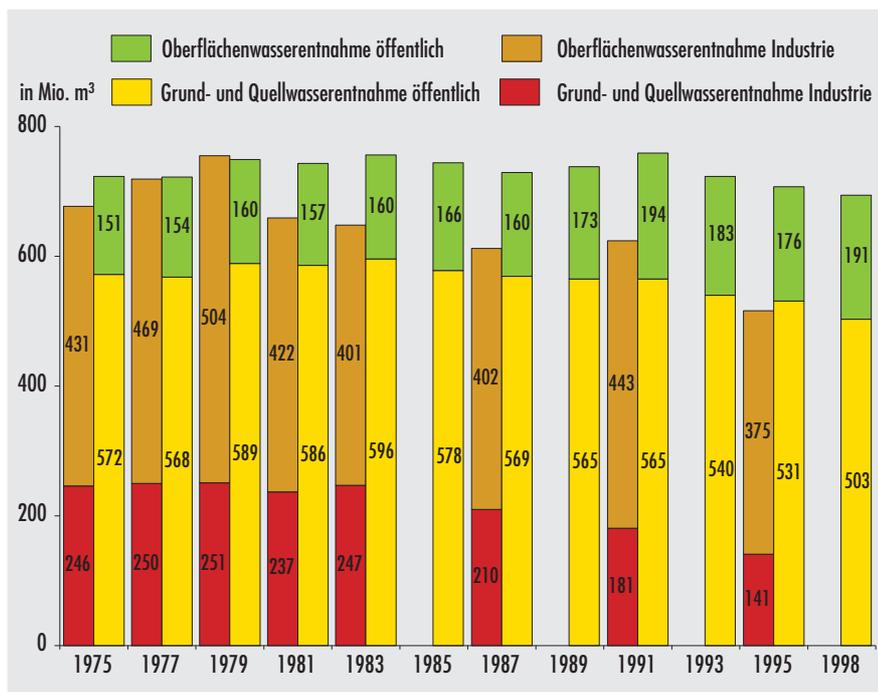


Abb. 4 Wasserversorgung in Baden-Württemberg (Quelle: Statistisches Landesamt)

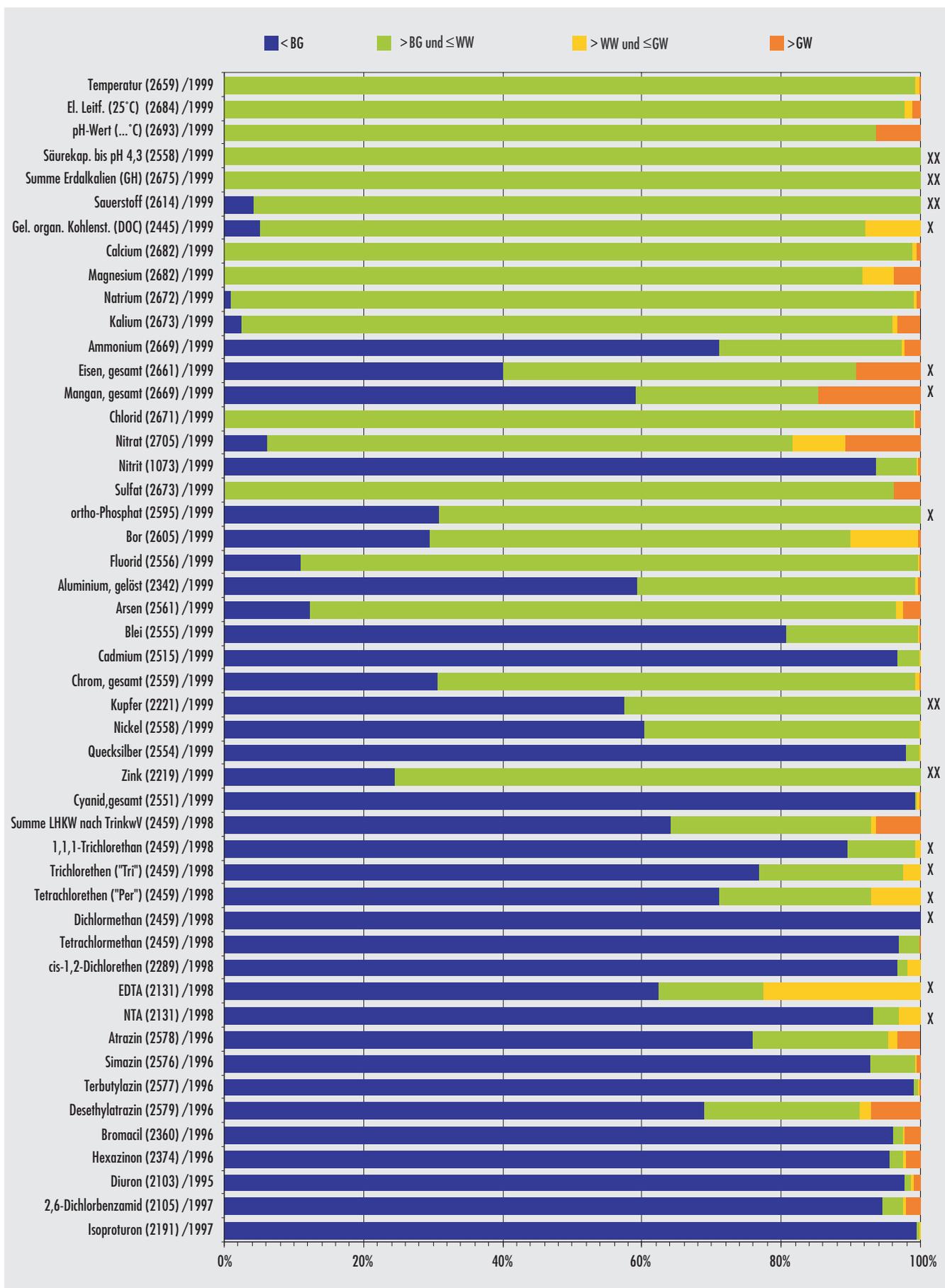


Abb. 5 Ergebnisse der Beprobungen 1995-1999: Verteilung der Messwerte. (BG = Bestimmungsgrenze, WW = Warnwert des Grundwasserüberwachungsprogrammes, GW = Grenzwert der Trinkwasserverordnung; in Klammern: Anzahl der Messwerte, X = Kein Warn- oder kein Grenzwert festgelegt, XX = kein Warn- und kein Grenzwert festgelegt) (Quelle: LfU)

Grundwasser

Ein repräsentatives Grundwasserbeschaffenheitsmessnetz mit den zugehörigen Untersuchungsprogrammen und aktuellen Datendiensten ist zugleich ein Frühwarnsystem für großräumige natürlich und menschlich verursachte Veränderungen des Grundwassers, beispielsweise Versauerung, Klimafolgen, Belastungsveränderungen und Übernutzungen. Das Grundwassermessnetz besteht aus mehreren Komponenten, aus:

- menschlich möglichst unbeeinflussten Basismessstellen (BMN),
- Rohwassermessstellen der öffentlichen Wassergewinnungsanlagen (RW),
- Vorfeldmessstellen im Zustrombereich von Rohwasserfassungen (VF),
- Messstellen im Einflussbereich von Landwirtschaft (EL), Industrie (EI), Siedlung (ES) und sonstigen potenziellen Emittenten (SE),
- Quellen im Festgesteinsbereich zur Verknüpfung von qualitativen und quantitativen Gesichtspunkten.

Grundwasserbeschaffenheit

Je nach Region hat jedes Grundwasser seine charakteristische Zusammensetzung, abhängig unter anderem von Bodenbedeckung, Untergrundverhältnissen und hydrologischen Einflüssen. Zusätzlich zu dieser "natürlichen" Beschaffenheit ist das Grundwasser im dichtbesiedelten und hochindustrialisierten Baden-Württemberg auch unter-

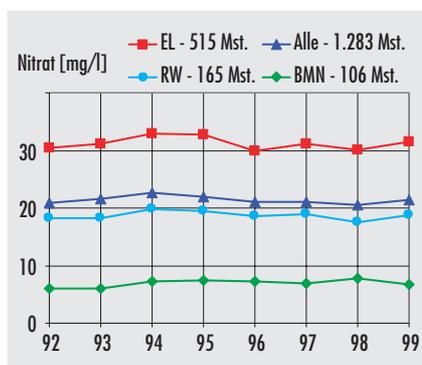


Abb. 6 Entwicklung der Medianwerte Nitrat für konsistente Messstellengruppen, Beprobungszeitraum jeweils September bis November (Quelle: LfU)

schiedlich durch den Menschen beeinflusst.

Abb. 5 gibt einen Überblick über die Beprobungsergebnisse der Jahre 1995-1999. Da für Grundwasser keine gesetzlich geregelten Grenzwerte oder ähnliche Vorgaben existieren, werden als Orientierungshilfen für die Beurteilung der Konzentrationen die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung vom 5.12.1990 und die durch das Grundwasserüberwachungsprogramm eingeführten Warnwerte herangezogen.

Menschlich bedingte Beeinflussungen und Belastungen

Nitrat

In Baden-Württemberg wird fast die Hälfte der Landesfläche landwirtschaftlich genutzt. Der damit verbundene Einsatz an Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln (PSM) führt zu einem flächenhaften Eintrag dieser Agrochemikalien in das Grundwasser. Deshalb wird zumindest Nitrat jedes Jahr landesweit an 2.500 bis 2.800 Messstellen untersucht, zuletzt 1999.

Die natürlicherweise niedrigen Nitratkonzentrationen sind 1999 an mindestens 60 bis 70 % von 2.700 Messstellen überhöht. Der Warnwert von 40 mg/l wird nach wie vor an nahezu jeder fünften Messstelle überschritten, der Grenzwert der Trinkwasserverordnung (50 mg/l) an jeder zehnten Messstelle (Abb. 9). Bei dem für die öffentliche Wasserversorgung genutzten Rohwasser liegt der Nitratwert 1999 an jeder 25. Messstelle über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung, an Messstellen im landwirtschaftlichen Einflussbereich jedoch an jeder vierten. Belastungsschwerpunkte sind insbesondere Bereiche mit Maisanbau und Sonderkulturen.

Die zeitliche Änderung der Nitratkonzentration wird anhand von Messstellen, von denen durchgehend von 1992 bis 1999 Messwerte vorliegen, ausgewertet (Abb. 6). Diese 1.283 "konsistenten" Messstellen

(Abb. 6: "Alle") repräsentieren rund 48 % des Gesamtmessnetzes. Bei ihnen steigt der Medianwert von 20,8 mg/l 1992 auf den höchsten Wert von 22,6 mg/l 1994. Danach fällt er bis 1998 bis auf den kleinsten Wert von 20,5 mg/l, um aber 1999 wieder auf 21,5 mg/l anzusteigen. Beim Rohwasser (RW) für die öffentliche Wasserversorgung steigt der Medianwert von 18,3 mg/l 1992 bis 1994 auf den Höchstwert von 19,8 mg/l. In den folgenden Jahren sinkt der Medianwert bis auf den kleinsten Wert von 17,6 mg/l 1998, um 1999 wieder auf 18,8 mg/l anzusteigen.

Die Entwicklung der Anzahl der Grenzwertüberschreitungen stellt sich ähnlich dar. Nach der höchsten Grenzwertüberschreitungsrate 1994 mit 12,6 % aller Messstellen wurde 1998 mit 10,6 % ein Minimum erreicht, 1999 lag die Rate wieder etwas höher bei 10,9 %. Diese jährlichen Veränderungen dürfen nicht überinterpretiert werden, da auch die hydrologischen Verhältnisse in trockenen und nassen Jahren hierzu beitragen. Insgesamt muss die Situation weiterhin als "Stagnation auf einem zu hohen Niveau" bewertet werden.

Pflanzenschutzmittel (PSM)

Die verschiedenen PSM-Wirkstoffe werden in regelmäßigen Abständen landesweit an allen Messstellen untersucht (Abb. 5 und 10). Wegen der Vielzahl zu analysierender Wirkstoffe können die Messtechniker nicht alle PSM in einem einzigen Jahr messen, so dass die landesweit repräsentativen Befunde aus verschiedenen Jahren stammen.

Im Jahr 1996 wurden an rund einem Drittel der maximal vorhandenen 2.579 Messstellen positive Befunde an PSM-Wirkstoffen festgestellt. Die Konzentrationen von Atrazin und von dessen Abbauprodukt Desethylatrazin nehmen seit dem deutschlandweiten Atrazin-Anwendungsverbot 1991 langsam ab und stellen immer noch die bedeutendste PSM-Belastung im Grundwasser dar, auch 1999. Der Grenzwert der Trinkwasserver-

ordnung von 0,1 µg/l ist 1996 bei Desethylatrazin an 3,9 % der Rohwassermessstellen (RW) für die öffentliche Wasserversorgung und an 10,8 % der Emittentenmessstellen Landwirtschaft (EL) überschritten worden. Die Belastung mit Atrazin und Desethylatrazin lag im Zeitraum von 1992 bis 1995 verhältnismäßig gleichförmig auf hohem Niveau und ist dann 1996 deutlich zurückgegangen. Von 1997 bis 1999 wurden die genannten beiden PSM jährlich an nur rund 500 bis 1.000 Messstellen untersucht; es lässt sich ein weiterer Konzentrationsrückgang beobachten.

Andere Totalherbizide wie Bromacil, Diuron und Hexazinon sind hauptsächlich im Einzugsgebiet nichtlandwirtschaftlicher Flächen wie Gleisanlagen, Betriebsflächen und Parkplätzen zu finden. Ihre Anwendung ist inzwischen allgemein oder teilweise nicht mehr zugelassen, beispielsweise auf Gleisanlagen. Dort war die Belastung 1995 und

1996 noch hoch, da sich die Wirkstoffe nur langsam abbauen.

Die Beprobungsrunde 1997 verweist auf ein neues PSM-Problem mit Dichlobenil, einem hauptsächlich im Weinbau eingesetzten Totalherbizid. Das Abbauprodukt 2,6 Dichlorbenzamid war bemerkenswert oft an 5,4 % aller Messstellen nachweisbar, etwas öfter als die "Bahnherbizide".

Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe (LHKW) und BTXE-Aromate

Belastungen des Grundwassers mit *Leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen (LHKW)* treten hauptsächlich unterhalb von Industriestandorten und von Siedlungsgebieten mit Mischgewerbe auf. Die Verwendung dieser Substanzen als Entfettungsmittel in der metallverarbeitenden Industrie und als Reinigungsmittel hat zu beträchtlichen diffusen und lokalen Grundwasseraltlasten geführt. So wurde in der letzten LHKW-Beprobungsrunde 1998 an etwa einem Drittel aller

Messstellen mindestens ein trinkwasserrelevantes LHKW gefunden (Abb. 5: Summe LHKW), an Messstellen im Bereich der Industrie an etwa zwei Dritteln und an 23 % aller Rohwassermessstellen der öffentlichen Wasserversorgung. Am häufigsten wird Tetrachlorethen (Per) gefunden. (Abb. 11)

Der Warnwert des Grundwasserüberwachungsprogrammes von 0,005 mg/l wurde 1998 bei Per an 1,1 % der Rohwassermessstellen für die öffentliche Wasserversorgung und an 22,5 % der Messstellen in Industriebereichen überschritten. Bei allen Messstellen lagen die Warn- und Grenzwertüberschreitungen bei der "Summe LHKW" 1998 bei 6-7 %.

Die zeitliche Entwicklung der LHKW-Belastung bei Per zeigt Abb.7. Da bei Spurenstoffen die Betrachtung eines mittleren Wertes keine Aussagekraft hat, wurden jahresweise die Überschreitungshäufigkeiten des Warnwertes von 0,005 mg/l (Abb. 7 Teil b)) sowie des Wertes von 0,001 mg/l berechnet (Abb. 7 Teil a)). Es wurden nur die "konsistenten" 1.180 Messstellen verwendet, von denen durchgängig Daten aus den Jahren 1992 bis 1995 und aus 1998 vorlagen.

Bei Tetrachlorethen liegt der Anteil "aller" Messwerte über 0,001 mg/l zwischen 1992 bis 1995 praktisch auf gleichem Niveau von 16-17 %, erst 1998 nimmt er leicht auf 14,7 % ab (Abb. 7 Teil a): "Alle"). Die Belastung bei den Emittentenmessstellen Industrie (EI) hingegen nahm von 1992-1995 zunächst von 36,5 bis auf etwa 40,5 % zu, danach folgt ein Abfallen auf 32,8 %. Gründe für die Konzentrationsabnahmen liegen in der Verdünnung durch neugebildetes Grundwasser und auch in mittlerweile greifenden Sanierungsmaßnahmen.

Bei den Warnwertüberschreitungen über 0,005 mg/l bewegt sich das Niveau bei "allen" Messstellen gleichbleibend zwischen 7,5-9,1 % (Abb. 7 Teil b): "Alle"). Bei den Rohwassermessstellen (RW) zeigen sich seit 1994 kaum Veränderungen.

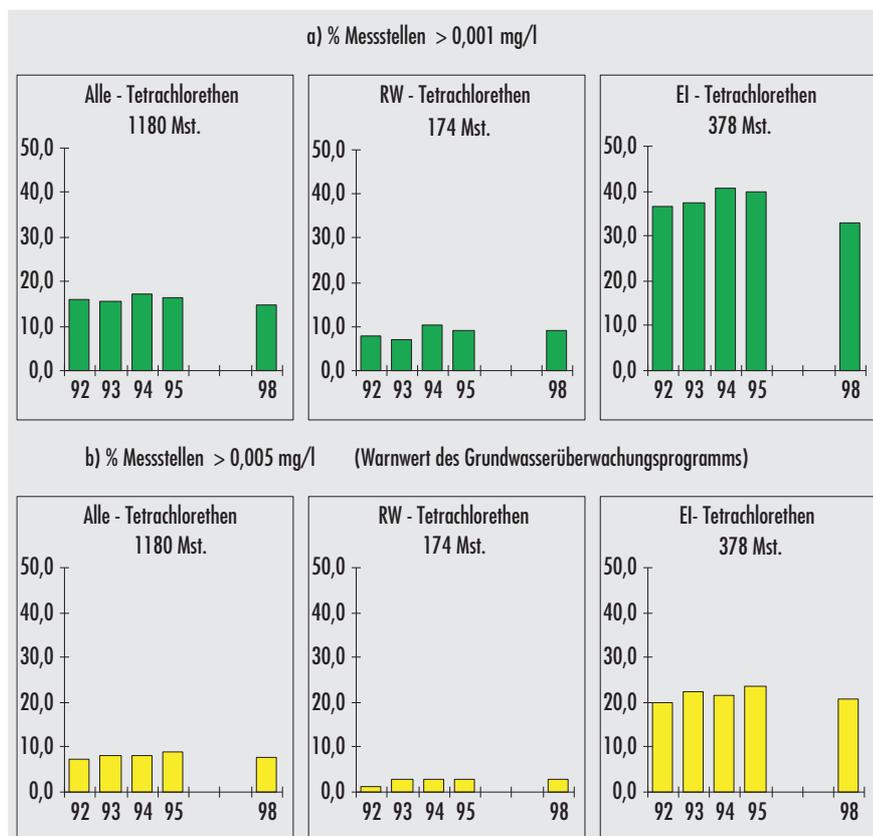


Abb. 7 Zeitliche Entwicklung der prozentualen Überschreitungshäufigkeiten von Tetrachlorethenkonzentrationen ("PER"): a) der Konzentration von 0,001 mg/l, b) der Konzentration von 0,005 mg/l (= Warnwert); (Datengrundlage: konsistente Messstellengruppen 1992 - 1995 und 1998, Beprobungszeitraum jeweils September bis Oktober) (Quelle: LfU)

BTXE-Aromate sind als Benzole, Toluole, Xylole und Ethylbenzole Bestandteile von Benzin, Farben, Kunststoffen und Lösemitteln. Sie wurden 1998 an 2.153 Messstellen untersucht und nur sehr selten gefunden, an 13 Messstellen in der Nähe von Schadensfällen (0,6 %).

Versauerung

Bei der letzten Beprobung 1999 wird der pH-Wert von 6,5 (unterer Grenzwert der Trinkwasserverordnung) an 6,4 % der Messstellen des gesamten Messnetzes unterschritten. Nahezu alle diese Messstellen liegen im Schwarzwald und Odenwald (Buntsandstein, Kristallin, Rotliegendes) bzw. in den Gebirgsrandbereichen (Täler, Versickerungsbereiche der Schwarzwaldflüsse in der Oberrheinebene, Anmoorbereiche, Freiburger Bucht), wo schwach gepufferte Wässer anzutreffen sind (Abb. 12). Insbesondere diese Grundwässer sind natürlicherweise und durch "sauren Regen" gefährdet.

Die Ergebnisse 1998 und 1999 zeigen wieder eine leichte Versauerungsverstärkung gegenüber 1995 bis 1997. Die zeitliche Entwicklung von 92 konsistenten Messstellen mit gering mineralisierten Grundwässern im Schwarzwald und Odenwald zeigt in den vergangenen zwei Jahren ein Absinken des Medianwertes um rund 0,15 pH-Einheiten bis kurz über den Grenzwert von 6,50 pH (Abb. 8).

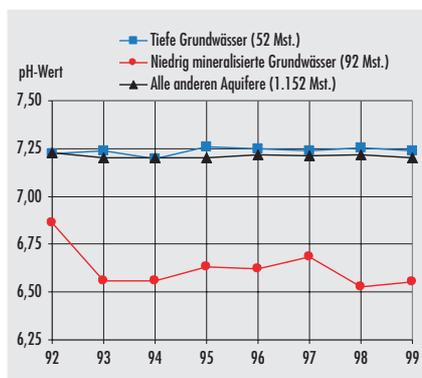


Abb. 8 Entwicklung der Median-pH-Werte für konsistente Messstellengruppen, Beprobungszeitraum jeweils September bis November (Quelle: LFU)

Gründe dafür liegen in den seit 1998 insbesondere in den Höhenlagen wieder zunehmenden Jahresniederschlägen mit größerem Säureeintrag in das Grundwasser. Trotz rückläufiger Säuredepositionen aus Luft und Niederschlag sind weitere Maßnahmen zur Vermeidung von Luftbelastungen notwendig, insbesondere bei den Stickstoffoxidemissionen aus dem Kraftfahrzeugverkehr.

Ethylendiamintetraessigsäure und Nitrilotriessigsäure (EDTA und NTA)

EDTA und NTA sind organische Komplexbildner, die mit mehrwertigen Metall-Ionen "Chelatkomplexe" bilden. Sie kommen in der Natur nicht vor, sondern werden synthetisch hergestellt und gelangen aus Industrie und Haushalt über den Abwasserpfad in die Umwelt.

NTA ist im Gegensatz zu EDTA biologisch gut abbaubar, zum Beispiel in Kläranlagen zu 90 %. EDTA gelangt mit dem gereinigten Abwasser aus den Kläranlagen in die Flüsse. Daher sind EDTA- und NTA-Nachweise im Grundwasser Indikatoren für eine stattfindende Grundwasserbeeinflussung durch gereinigte und ungereinigte Abwässer aus Kanälen, Kläranlagen und Flüssen mit Einleitungen von gereinigtem Abwasser.

Das Gefährdungspotenzial von EDTA wird im Wesentlichen darin gesehen, dass EDTA in Sedimenten und im Grundwasserleiter bisher fixierte gesundheitsrelevante Schwermetalle wieder mobilisieren kann. Grenzwerte sind nicht festgelegt. Der Warnwert des Grundwasserüberwachungsprogrammes beträgt 1 µg/l.

Die Beprobungsrunde 1998 mit 2.131 Messstellen ergab einen überraschend hohen Anteil positiver EDTA-Befunde an etwa 38 % der Messstellen, bei NTA sind es etwa 7 %. Damit ist EDTA ähnlich oft nachweisbar wie einige Pflanzenschutzmittel und die leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffe (Abb. 5). Der Warnwert von 1 µg/l wird bei EDTA an etwa 23 % aller Messstellen überschritten,

bei NTA an etwa 7 %. An Rohwassermessstellen für die öffentliche Wasserversorgung liegen die Nachweisanzahl und die Warnwertüberschreitungen in ähnlichen Größenordnungen. An Messstellen im Siedlungs- und Industriebereich sind die Warnwertüberschreitungen höher: EDTA bei 50-60 % bzw. 30-40 %, NTA bei 8-11 % bzw. 3-4 %.

Die Herkunft aus dem Abwasserpfad und der Infiltration von Flusswasser mit gereinigtem Abwasser wird durch andere abwassertypische Nachweise und die häufige Lage in Ballungszentren und Tälern mit Flusswasserinfiltrationen belegt.

Da EDTA und NTA grundwasserfremde Stoffe sind, ist auf jeden Fall anzustreben, diese vom Grundwasser fernzuhalten. Die Situation ist langfristig nur zu verbessern, wenn der EDTA-Verbrauch durch den Einsatz abbaubarer Ersatzstoffe verringert und die Sanierung defekter Kanalnetze weiterbetrieben wird.

Natürliche und geogene Stoffe, Schwermetalle

Im Grundwasser wurden 1999 viele ursprünglich natürliche Gesteins- und Bodensubstanzen landesweit an über 2.000 Messstellen analysiert (Abb. 5). Die natürlichen Konzentrationen können aber durch menschliche Beeinflussungen bis in geschmacks- oder gesundheitsrelevante Konzentrationsbereiche erhöht werden, weshalb es auch für ursprünglich natürliche Stoffe und Schwermetalle meist Grenzwerte für die Nutzung des Grundwassers als Trinkwasser gibt.

Schwermetalle und andere Spurenelemente sind aufgrund der geologischen Vielfalt des Landes häufig, aber in meist kleinen Konzentrationen messbar, wie z.B. Arsen, Nickel und Chrom. Schon manche natürlichen Werte und Konzentrationen einzelner Regionen entsprechen zum Teil nicht den Trinkwasseranforderungen.

Ursprünglich rein geogene Stoffe und Parameter mit Grenzwertüberschreitun-

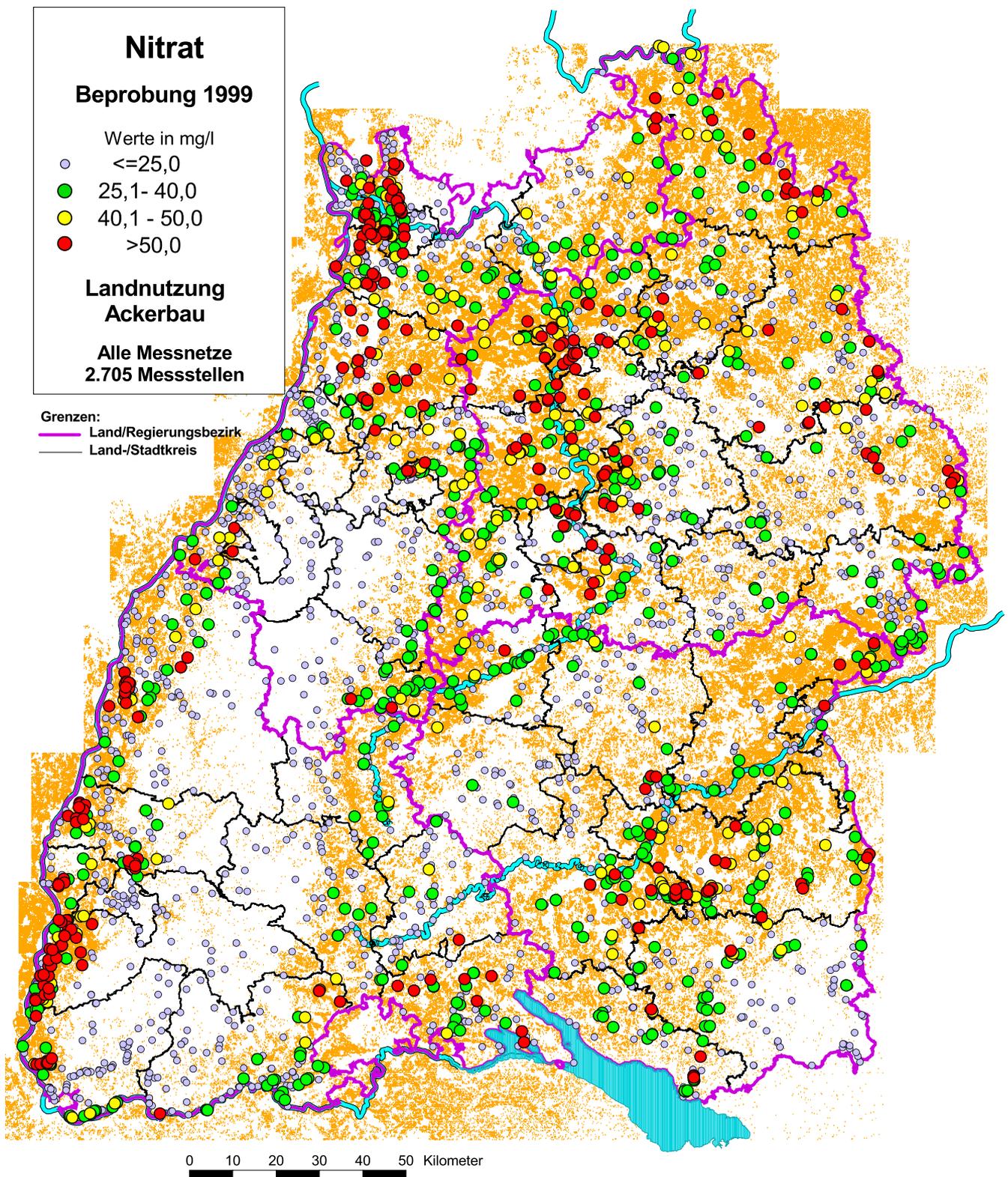


Abb. 9 Konzentrationsverteilung Nitrat 1999
(Quelle: LfU)

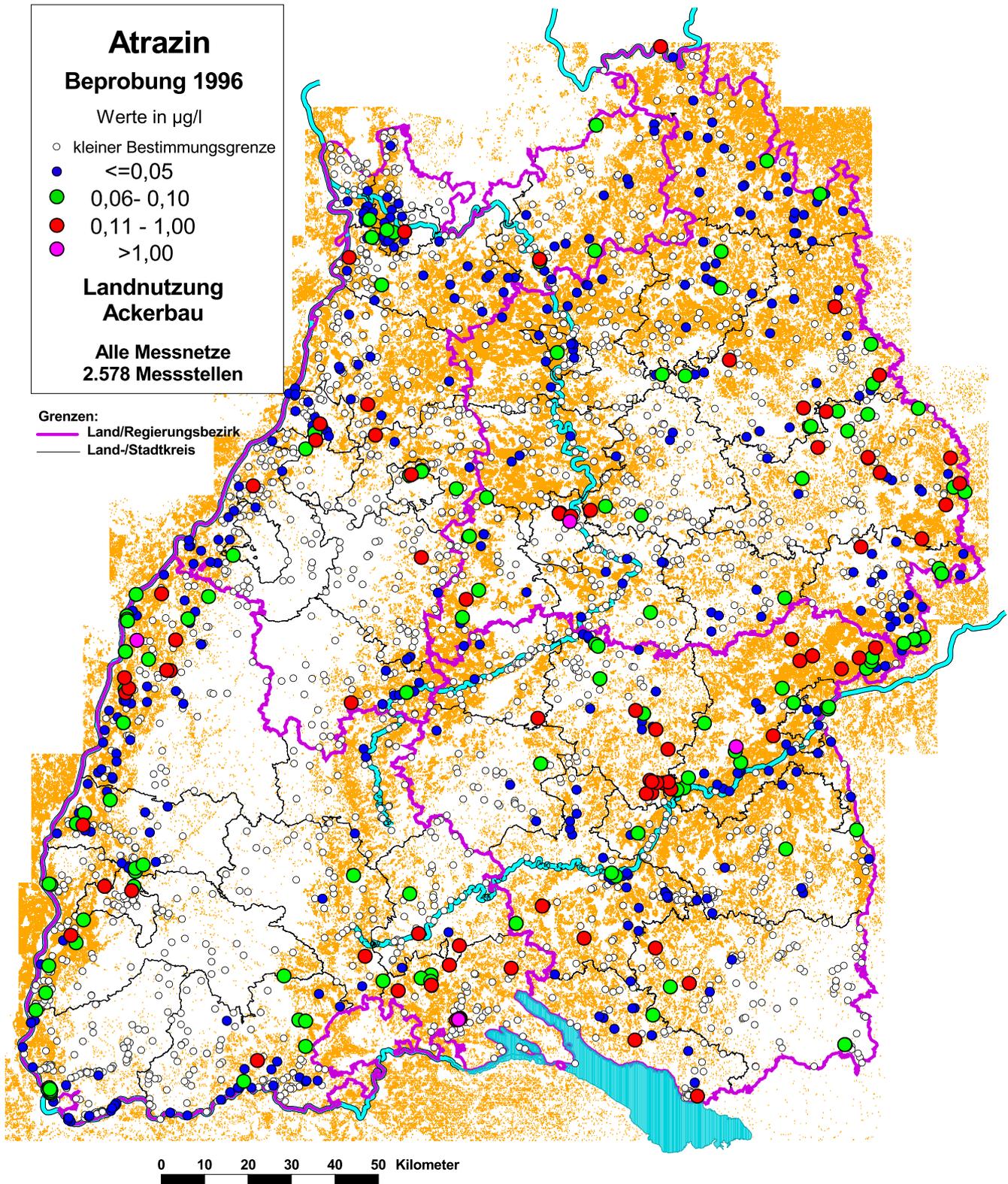


Abb. 10 Konzentrationsverteilung Atrazin 1996
 (Quelle: LfU)

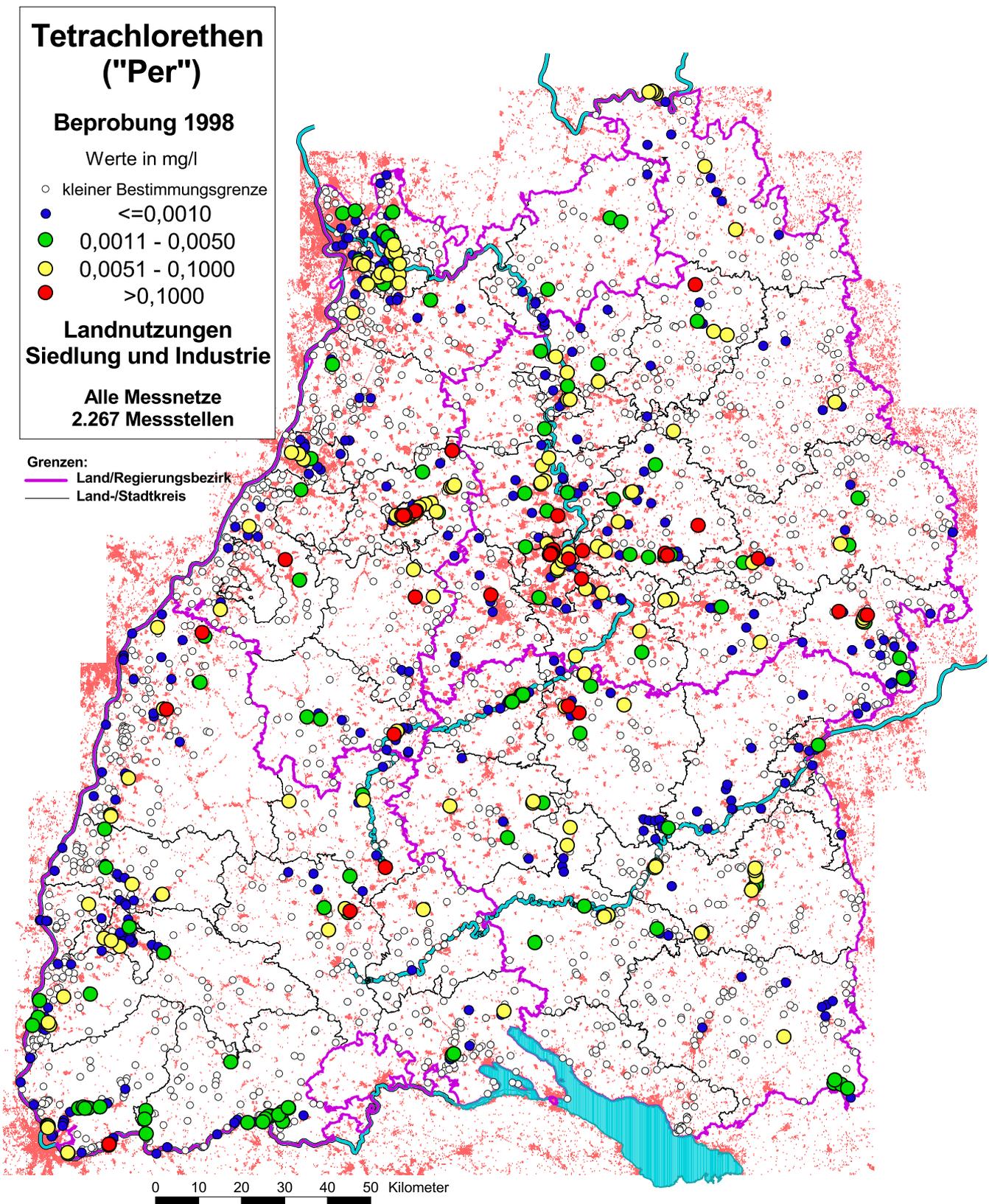


Abb. 11 Konzentrationsverteilung Tetrachlorethen (Per) 1998
(Quelle: LfU)

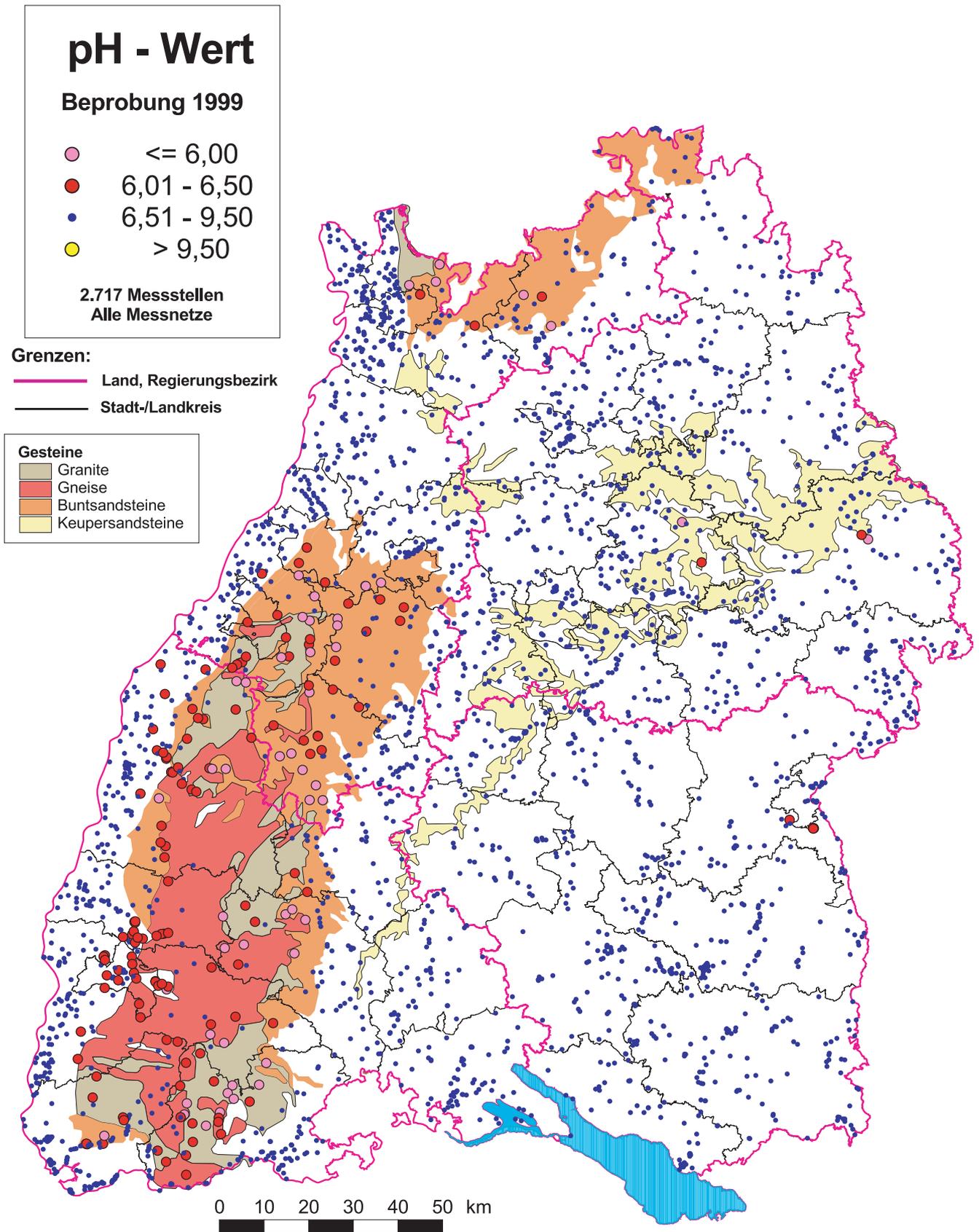


Abb. 12 Verteilung pH-Wert 1999
(Quelle: LfU)

gen an mehr als 1 % aller Messstellen sind (Abb. 5): Mangan (17 %), Trübung (12 %), Eisen (10 %), Färbung (4,5 %), Magnesium (3,8 %), Sulfat (3,8 %), Kalium (3,3 %), Arsen (2,6 %), Ammonium (2,3 %) und Elektrische Leitfähigkeit (1,1 %). Die Ursachen sind meist natürlicher Art. In Flusstälern sind oft natürlich hohe Grundwassertrübungen und -färbungen vorhanden, jedoch sind an einigen Messstellen Trübungseinflüsse und höhere Ammoniumwerte durch Abwässer und Gülledüngung nachvollziehbar. Weiterhin erhöht die in manchen Gebieten gegebene natürliche Sauerstoffarmut im Grundwasser die Lösung von Schwermetallen aus den Gesteinen, auch von Eisen und Mangan, so dass oft natürliche Grenzwertüberschreitungen bei Eisen, Mangan und damit auch bei der Färbung vorliegen. Die Grenzwertüberschreitungen bei Calcium, Magnesium, Sulfat und bei der Elektrischen Leitfähigkeit gehen meist auf natürliche Mineralwässer aus Kalk- und Gipsgesteinen zurück.

Arsen fällt durch eine hohe, meist natürlich bedingte Nachweishäufigkeit (88 %) und durch die häufigste Grenzwertüberschreitungquote aller Schwermetalle (2,6 %) auf. Wenige Überschreitungen gibt es bei Chrom (0,2 %) und Blei (0,1 %). Bei allen anderen Schwermetallen finden sich Grenzwertüberschreitungshäufigkeiten von unter 0,1 %, wie z.B. bei Quecksilber und Cadmium. Für einige Schwermetalle, wie für Zink, gibt es keine Grenzwerte, so dass ihr Vorkommen nicht nach einer Überschreitungshäufigkeit beurteilt werden kann. Bei den genannten Grenzwertüberschreitungen liegen neben natürlichen Ursachen oft auch unmittelbare anthropogene Belastungen aus Altlasten, Bergbauablagerungen und Industrieabwässern vor, wie bei Arsen etwa zu zwei Dritteln. Zeiger für diese Ursachen sind anthropogene nachweisbare Begleitstoffe wie EDTA, LHKW, Bor, auch Cyanide und die Lage in Industrie- und Siedlungsgebieten, in denen es bei vielen Schwermetallen zu den meisten Grenzwertüberschreitungen kommt.

Allgemein kommen hohe Schwermetallkonzentrationen nur vereinzelt vor und stellen, abgesehen von lokalen Kontaminationen, keine großräumige Belastung dar. Die Sanierung der lokalen Belastungsursachen - wie Altlasten, Industrieemissionen und offenbar auch Abwasseranlagen - muss weiter betrieben werden.

Grundwasservorräte

Allgemeines

Das quantitative Grundwassermessnetz von Baden und Württemberg, seit 1913 betrieben, umfasst rd. 2.700 Messstellen und ist für die regionale Beobachtung

der Grundwasserverhältnisse ausgelegt. Der landesweite Überblick über den Zustand und die Entwicklungstendenzen der quantitativen Grundwasserverhältnisse wird mit Hilfe von rd. 200 Trendmessstellen sowie rd. 20 ausgewählten Quellen realisiert. Diese für die Gesamtheit repräsentativen Messstellen wurden vor dem Hintergrund historischer Beobachtungsreihen nach mathematischen und hydrogeologischen Gesichtspunkten bestimmt. Grundwasserstandsmessstellen werden normalerweise wöchentlich montags, Quellen in wöchentlichem bis monatlichem Turnus und Lysimetermessstellen mehrmals wöchentlich beobachtet.

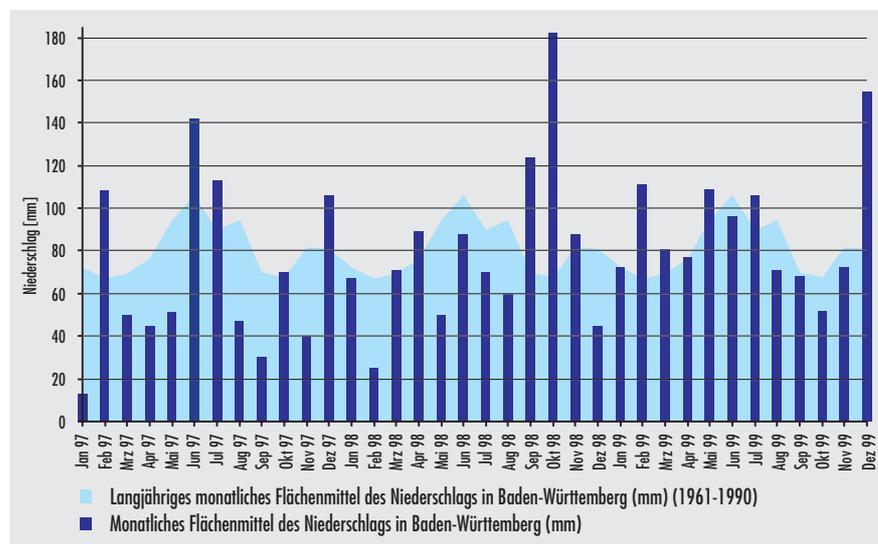


Abb. 13 Flächenmittel des Niederschlags für Baden-Württemberg (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

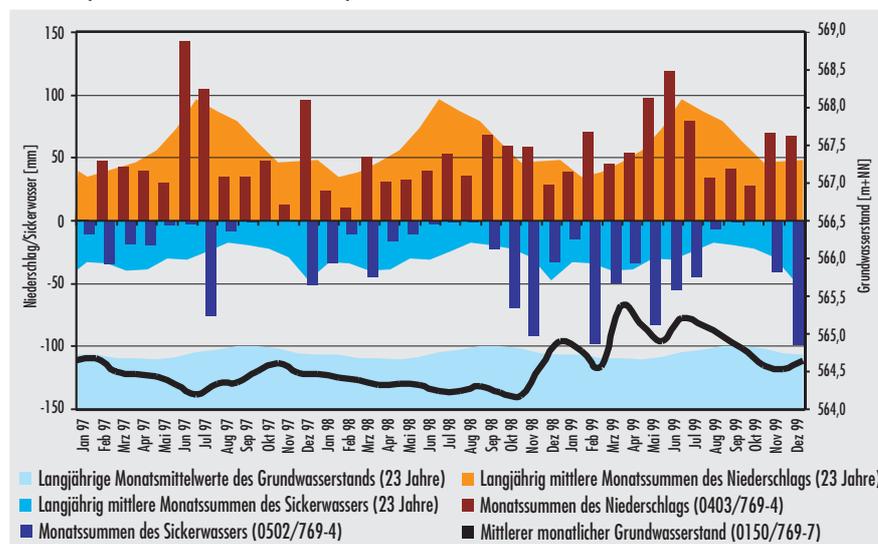


Abb. 14 Niederschlag, Sickerung und Grundwasserstand am Lysimeter Egelsee (Illertal) (Quelle: LFU)

Grundwasserneubildung aus Niederschlägen

Die Grundwasserneubildung ist eine der wichtigsten Komponenten des Grundwasserhaushalts. Sie unterliegt in erster Linie jahreszeitlichen, längerfristigen und auch räumlichen Schwankungen der Niederschlagsereignisse.

In den Jahren 1997 bis 1999 haben die landesweit mittleren Jahresniederschläge durchweg zugenommen. Verglichen mit dem Referenzzeitraum 1961-1990 wurden 1997 84 % (deutlich unterdurchschnittlich), 1998 99 % (durchschnittlich) und 1999 sogar 110 % (sehr überdurchschnittlich) der langjährig mittleren Verhältnisse erreicht. Diese für das ganze Land ermittelten Flächenmittelwerte verbergen starke monatliche Kontraste, wobei außergewöhnlich hohe Niederschläge erst ab September 1998 beobachtet wurden (Abb. 13). Diese Entwicklung hatte in den südöstlichen Landesteilen besonders gewaltige Folgen: Dort stiegen die Grundwasserstände innerhalb von sechs Monaten vom niedrigsten Niveau seit 1977 auf absolute Höchstwerte, wie es am Lysimeter Egelsee im Illertal deutlich wird (Abb. 14).

Die Niederschläge beeinflussen wegen der Sickerzeiten durch die Deckschichten meist nicht unmittelbar die Grundwasservorräte. Davon abgesehen führen die sogenannten Winterniederschläge in den Monaten Oktober bis April zu wesentlich größeren Grundwasserneubildungsraten als die Niederschläge der übrigen sechs Sommermonate. Im Sommer werden erfahrungsgemäß eher zurückgehende Grundwasservorräte beobachtet. Die Schüttung der Quellen mit hohen Anteilen an jungem Grundwasser nimmt besonders stark ab, aber auch die Grundwasserstände fallen einerseits wegen des bereits erwähnten Rückgangs der Neubildung und andererseits aufgrund des steigenden Wasserbedarfs und somit der Erhöhung der Grundwasserentnahmen

(75 % des Trinkwasserbedarfs wird in Baden-Württemberg mit Grundwasser gedeckt).

Grundwasserverhältnisse

Die quantitativen Grundwasservorkommen und ihre kurz- und langfristigen Entwicklungstendenzen werden an repräsentativen Trendmessstellen charakterisiert. Abb. 15 stellt Ganglinien ausgewählter Messstellen dar. Der Normalbereich repräsentiert den statistisch zu erwartenden Schwankungsbereich von Grundwasserstand und Quellschüttung in einem bestimmten Monat. Dieser Bereich

wird durch das 75. Perzentil der Monatsmessungen aus 20 Beobachtungsjahren als Obergrenze und das 25. Perzentil als Untergrenze definiert. Der langjährige Monatsmedian (20 Jahre) der Einzelmessungen ist als grüne Linie, die Monatsextrema (20 Jahre) sind als gestrichelte Linie dargestellt. Diese Graphiken zeigen die jüngsten Beobachtungen des Grundwassergangs von 1997 bis 1999 im langjährigen Vergleich. Die aufgeführten Standorte sind für die zugehörigen Grundwasserlandschaften repräsentativ.

Die Grundwasserstände und Quellschüttungen bewegten sich 1997 mit Ausnahme der südöstlichen Landesteile auf

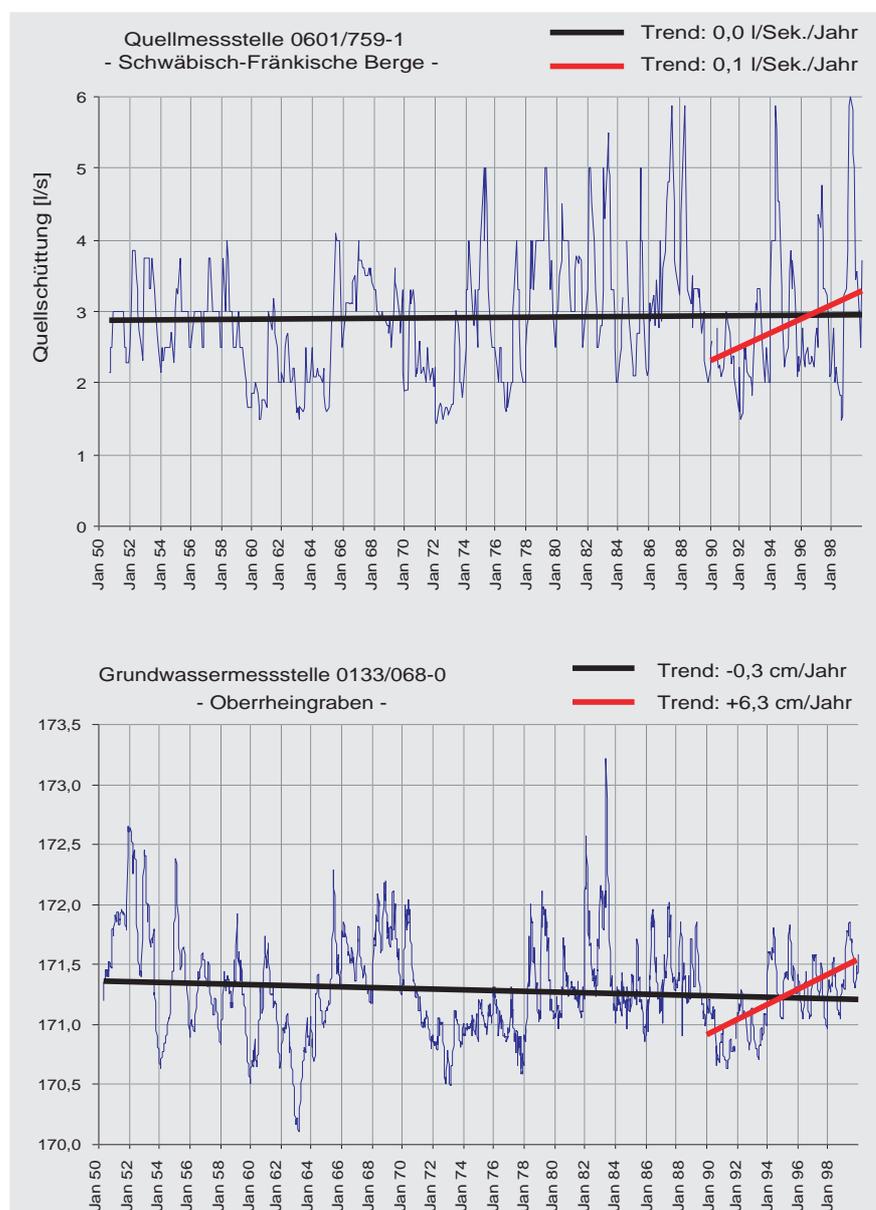


Abb. 16 Ganglinien ausgewählter Grundwassermessstellen mit Trendbetrachtung (Quelle: LfU)

langjährig mittlerem Niveau. Die starken Niederschläge im Februar 1997 konnten die ansonsten trockenen Verhältnisse ausgleichen.

1998 waren die Grundwasserverhältnisse im Allgemeinen unterdurchschnittlich. Die hohe Neubildung führte ab Oktober 1998 zu einer teilweisen Erholung der Grundwasservorräte auf das langjährig mittlere Niveau.

Die günstige Entwicklung der Grundwasservorräte war 1999 in allen Landesteilen erkennbar, z.T. wurden langjährige Monatshöchstwerte überschritten. Die im Oktober 1998 angelaufene Grundwasserneubildung hielt bis ins Jahr 1999 an und führte zu einem großräumigen Anstieg der Grundwasservorräte bis auf ein hohes Niveau. Diese Erholung war in den südöstlichen Landesteilen, in denen bisher eine angespannte Grundwassersituation zu verzeichnen war, besonders markant.

Die kurzfristige Entwicklung (10 Jahre) ist stark steigend, wobei die mittelfristige (20 Jahre) und die langfristige (50 Jahre) nach wie vor fallend sind. Quellen, deren Schüttung anthropogen eher unbeeinflussbar ist, bewegen sich auf nahezu gleichem Niveau (Abb. 16).

Abwasser

Die Beurteilung des Standes der Abwasserreinigung in Baden-Württemberg beruht auf den Ergebnissen der Leistungsvergleiche kommunaler Kläranlagen, die jährlich in Zusammenarbeit zwischen der Wasserwirtschaftsverwaltung und der Landesgruppe der Abwassertechnischen Vereinigung (ATV) durchgeführt werden. Grundlage des Leistungsvergleiches, der 1998 zum 25. Mal stattfand, sind die Messergebnisse der amtlichen Überwachung und der Eigenkontrolle der Kläranlagen. Alle zwei Jahre werden die Daten über die Beseitigung der kommunalen Abwässer im Rahmen der Berichtspflicht an die Europäische Union zusammengefasst.

Insgesamt sind im Land 1152 kommunale Kläranlagen in Betrieb. Die gesamte Ausbaugröße dieser Anlagen beträgt 20,7 Mio. Einwohnerwerte (EW). Davon entfallen etwa 10 Mio. EW auf die angeschlossenen Einwohner und etwa 10,7 Mio. EW auf die Abwasserfracht aus Industrie und Gewerbe sowie auf Kapazitätsreserven. Der Anschlussgrad an die Kanalisation und an kommunale Abwasserbehandlungsanlagen beträgt etwas mehr als 97 %. Es wird etwa 1 % der Einwohner langfristig dauerhaft dezentral, das heißt über vollbiologische Kleinkläranlagen oder geschlossene Gruben, und somit nicht an eine zentrale öffentliche Abwasserbehandlung angeschlossen sein.

Im Landesdurchschnitt ergaben sich nach den Leistungsvergleichen 1991 bis 1998 die in Tab. 2 zusammengefassten Kennwerte (Jahresmittelwerte der Konzentrationen im Ablauf der Kläranlagen in mg/l). Es zeigt sich, daß die sauerstoffzehrenden Substanzen Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) und Alkyl-

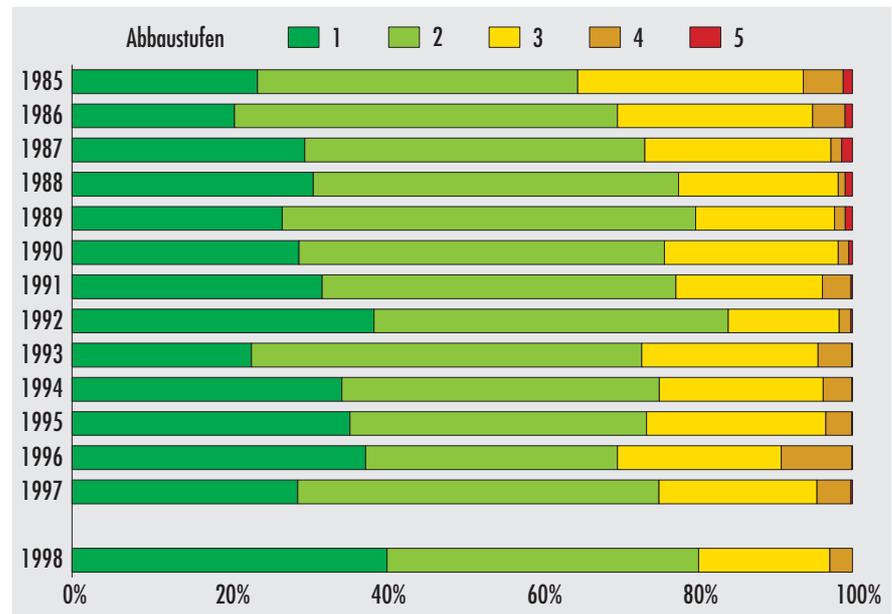


Abb. 17 Verteilung der Abbaustufen/Sauerstoffbedarfsstufen nach Einwohnerwerten (Quelle: ATV)

Kennzahl	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
ATH-BSB (Biochemischer Sauerstoffbedarf)	7	6	6	5	5	6	5	5
CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf)	41	38	35	31	30	32	31	30
NH ₄ -N (Ammonium-Stickstoff)	7	6	6	5	4	5	4	3
N _{ges} (Gesamtstickstoff)	21,4	20	18	16	15	15	14	13
P _{ges} (Gesamtphosphor)	1,9	1,4	1,1	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8

Tab. 2 Kennzahlen des ATV-Leistungsvergleiches kommunaler Kläranlagen (Quelle: ATV)

	1989	1991	1993	1996	1998
Nitrifikation	724	786	808	869	887
Nitrifikation + Denitrifikation	104	191	237	370	451
Phosphorelimination	43	112	193	334	374

Tab. 3 Entwicklung der Ausstattung kommunaler Kläranlagen mit Verfahren zur Nährstoffelimination (Quelle: ATV)

Thio-Harnstoff-Biochemischer Sauerstoffbedarf (ATH-BSB), die die Konzentration der Kohlenstoffverbindungen widerspiegeln, in den kommunalen Kläranlagen weitgehend eliminiert werden und an der Leistungsgrenze der eingesetzten Verfahren liegen. Auch bei der Nährstoffelimination werden mittlerweile als Jahresmittelwerte niedrige Konzentrationen erreicht.

Die Kennwerte ATH-BSB, CSB und $\text{NH}_4\text{-N}$ sind im Leistungsvergleich bis 1992 zu Abbaustufen und seit 1993 unter der Bezeichnung Sauerstoffbedarfsstufen zusammengefasst. Mit den Abbaustufen lässt sich die Reinigungsleistung der Kläranlagen einheitlich darstellen und bewerten (Abb. 17). Die Skala reicht hierbei von Abbaustufe 1 (sehr geringe Restverschmutzung) bis Stufe 5 (noch große Restverschmutzung).

Neben diesen Abbaustufen werden seit 1991 auch Nährstoffbelastungsstufen erfasst, die die Belastung der Abläufe mit Stickstoff und Phosphor angeben. Dann ergibt sich für die Nährstoffbelastungsstufen der Kläranlagen 1998 folgendes Bild:

- Rund 37 % der Kläranlagen: Stufe 2 und besser,
- Rund 59 % der Kläranlagen: in den mittleren Stufen 3 und 4,
- Rund 4 % der Kläranlagen: Stufe 5.

Die Anlagen mit einer Nährstoffbelastungsstufe von 5 erfassen nur 0,2 % der gesamten Einwohnerwerte. Anhand der Veränderungen bei der Verteilung der Einwohnerwerte auf die einzelnen Nährstoffbelastungsstufen werden die Verbesserungen bei der Nährstoffelimination deutlich.

Ausgerüstet sind jetzt 374 Kläranlagen mit Phosphorelimination und 451 Anlagen mit Stickstoffelimination mit den Verfahrensschritten Nitrifikation und Denitrifikation. Nitrifikation bedeutet hierbei die Umwandlung des Ammoniumstickstoffs $\text{NH}_4\text{-N}$ zu Nitrat $\text{NO}_3\text{-N}$. Die Nitrifikation ist Vorbedingung für das Verfahren der Denitrifikation. Bei diesem

Verfahren wird Nitrat in den gasförmigen Stickstoff umgewandelt, der in die Atmosphäre entweicht. Beides sind biologische Verfahren in unseren Kläranlagen. Auch bei der Phosphorelimination werden zumindest teilweise biologische Verfahren eingesetzt. In erster Linie geschieht die Phosphorelimination jedoch durch die Zugabe von Fällungsmitteln. Insbesondere bei den mittelgroßen Kläranlagen im Bodenseeeinzugsgebiet wird der Phosphorgehalt im Kläranlagenablauf zusätzlich durch eine Filtration reduziert. Dabei wird der gesamte Ablauf der Kläranlagen vor der Einleitung in die Gewässer durch Sandfilter geleitet, in denen die nicht gelösten Stoffe zurückgehalten werden. In der Summe werden aus allen Kläranlagen täglich noch rund 58,2 to Stickstoff und rund 3,1 to Phosphor in die Gewässer geleitet.

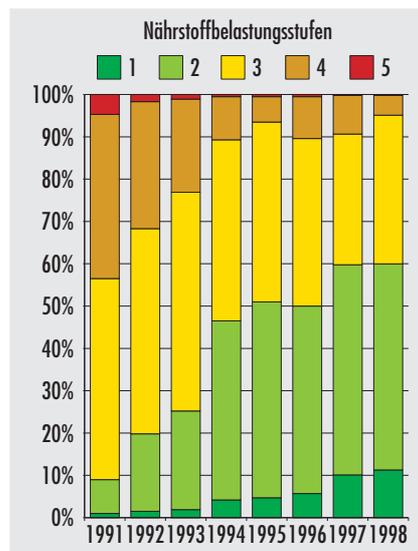


Abb. 18 Verteilung auf Nährstoffbelastungsstufen nach Einwohnerwerten (Quelle: ATV)

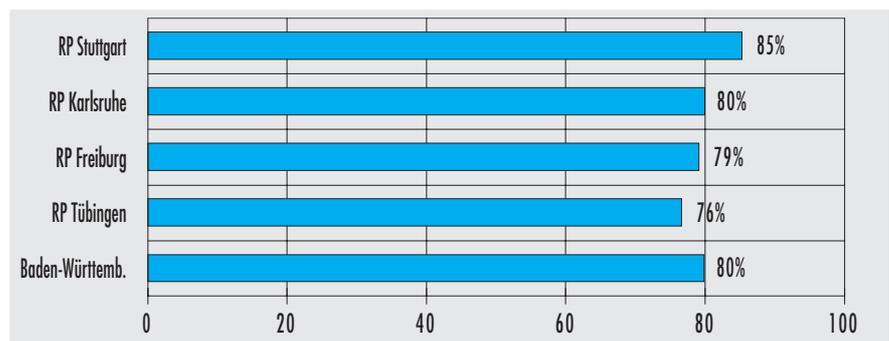


Abb. 19 Regenwasserbehandlung in den Regierungsbezirken und im Landesdurchschnitt (Quelle: UVM; Stand 1998)

Zu diesen Frachten addieren sich die Einträge aus den Regenentlastungs- und Regenwasserbehandlungsanlagen und anderen Quellen wie beispielsweise den landwirtschaftlich genutzten Flächen. Erhebungen zum Stand der Regenwasserbehandlung ergaben, dass etwa 80 % des erforderlichen gesamten Beckenvolumens gebaut worden sind. In Kubikmeter Beckenvolumen bedeutet dies rund 3,08 Mio. Kubikmeter Regenbeckenvolumen. Dabei liegt der Ausbaugrad in ländlichen Gebieten prozentual niedriger als im Landesdurchschnitt.

Die Gewässergüte entspricht trotz dieser guten Bilanz noch nicht überall dem angestrebten Zustand. Dies gilt vor allem für verhältnismäßig kleine und stehende Gewässer. Ein Teil der Kläranlagen erfüllt die Anforderungen für Stickstoff und Phosphor noch nicht. Hier muss in den nächsten Jahren weiter gearbeitet werden, um die nationalen und die EU-Anforderungen im Interesse eines wirkungsvollen Gewässerschutzes zu erfüllen.

Fließgewässer

Abwassereinleitungen, aber auch Einträge aus der Fläche, sog. diffuse Quellen, beeinträchtigen vielfältig und komplex die Beschaffenheit der Fließgewässer. Ziel des Gewässerschutzes ist es, die hieraus resultierenden Belastungen zu minimieren oder mindestens auf ein unumgänglich notwendiges Maß zu beschränken. Hauptforderungen des Gewässerschutzes hierbei sind:

- ein intakter Sauerstoffhaushalt als Grundvoraussetzung für eine natur-

gemäße biologische Besiedlung der Gewässer,

- die Minimierung der Nährstoffbelastung insbesondere im Hinblick auf die Eutrophierung langsam fließender Gewässerstrecken und der Meere,
- die Vermeidung oder zumindest Minimierung der Belastung durch Schadstoffe, d.h. durch Stoffe, die sich bereits in geringen Konzentrationen auf die Biozönose des Gewässers oder auf die Gewässernutzung schädlich auswirken, wie Schwermetalle und viele naturfremde organische Stoffe.

Das Fließgewässer-Messnetz

Die ständigen Beobachtungsprogramme der Fließgewässerüberwachung in Baden-Württemberg sind auf die genannten Zielsetzungen ausgerichtet. Sie liefern Grundlagen zur Erfolgskontrolle bei der Gewässerreinigung und zum Erkennen von Handlungsbedarf. Die Überwachung ist Aufgabe der LfU und umfasst Untersuchungen der Fließgewässer

- zu deren biologisch-ökologischem Zustand, um die Wirkungen von Belastungen zu erfassen
- zu deren physikalisch-chemischem Zustand, um Ursachen und Kausalitäten aufzeigen zu können.

Der *biologische Zustand* wird an rund 1600 Stellen durch Aufnahme des biologischen Besiedlungsbildes regelmäßig untersucht und in ca. 5-jährigen Abständen kartiert. Das angewandte biologische Verfahren beruht auf der Indikatorfunktion bestimmter Gewässerorganismen. Mit Hilfe dieses Verfahrens wird im Wesentlichen die Sauerstoffversorgung des Gewässers erfasst. Da sich diese Untersuchungen auch auf verhältnismäßig kleine Gewässerläufe erstrecken, kann man regelmäßig einen flächendeckenden Überblick über den biologischen Gütezustand der Gewässer geben.

Das Messnetz zur Erfassung des *physikalisch-chemischen Zustandes* umfasst insgesamt 110 Messstellen (Abb. 20 und Tab. 4). Diese erfassen detailliert die den

Sauerstoffhaushalt bestimmenden Kenngrößen und weitere relevante Beschaffenheitsaspekte, wie die Belastung der Fließgewässer mit Nährstoffen, Salzen und Schadstoffen.

Im chemisch-physikalischen Messnetz ist die Untersuchungsintensität an den einzelnen Messstellen je nach der wasserwirtschaftlichen Bedeutung der Gewässer abgestuft. Besonders intensiv werden die großen Flüsse Rhein, Neckar und Donau überwacht. Dort kommen vorwiegend stationäre Einrichtungen für die Probenahme und zum Teil Registriereinrichtungen zur Kontrolle der Wasserbeschaffenheit zum Einsatz. Zusätzlich werden die Güteverhältnisse von Rhein und Neckar auch durch regelmäßige Messfahrten auf dem Messschiff "Max Honsell" kontrolliert. Am Rhein betreibt die LfU zusammen mit den Nachbarländern, im Hinblick auf Störfälle und

Havarien bei den Großchemiebetrieben und durch die Schifffahrt, zudem in Weil, Karlsruhe und Worms sogenannte Hauptmessstationen; diese sind mit zusätzlichen technischen Einrichtungen zur frühen Erfassung kritischer Gewässerzustände ausgestattet. Dort werden kontinuierlich Tagesmischproben gewonnen und zeitnah im Labor mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie auf eine Vielzahl organischer Schadstoffe untersucht ("Rheinintensivüberwachung"). Darüber hinaus werden in Karlsruhe und Worms zur Früherkennung von Schadstoffwellen Biotestsysteme kontinuierlich betrieben.

Die wichtigsten Zuflüsse der großen Flüsse werden dagegen an ambulanten Messstellen überwacht, in der Regel an Mündungen. Weiterhin dienen 12 Stellen im Schwarzwald und Odenwald zur Beobachtung der Säurezustandsentwick-

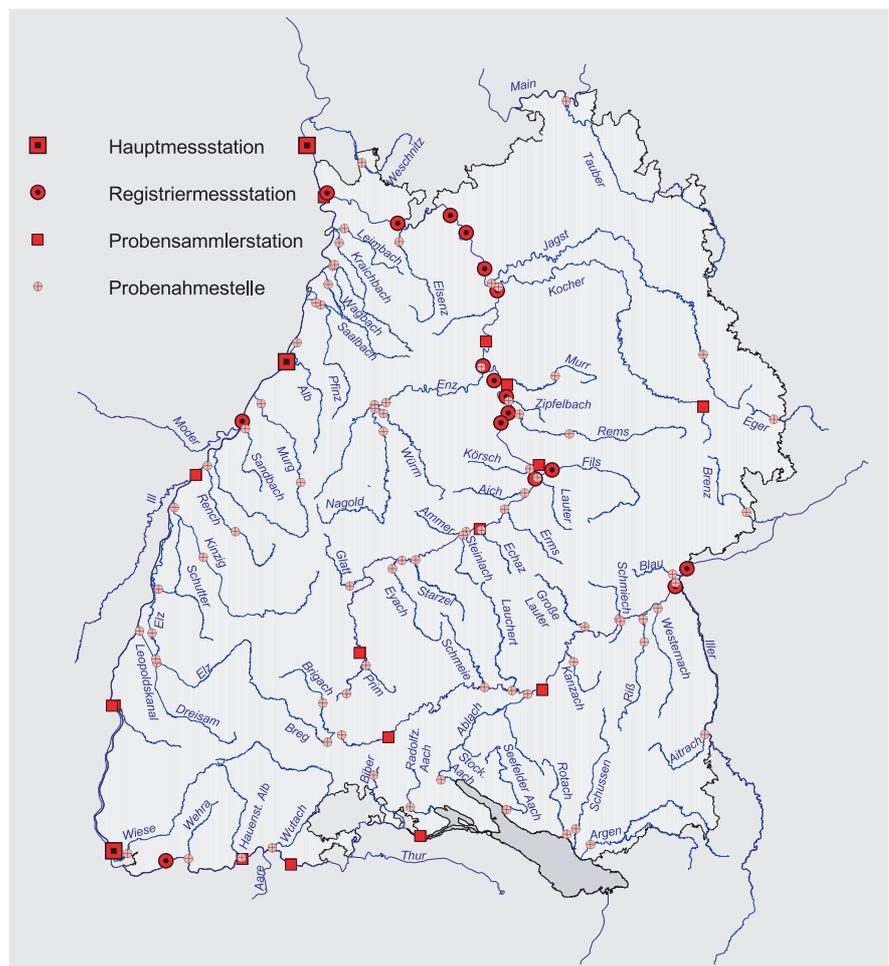


Abb. 20 Messnetz für die chemisch-physikalische Beschaffenheit der Fließgewässer (Quelle: LfU)

Kategorie	Technische Vorgehensweise							Anzahl	Art und Frequenz der Probenahme
	Stichprobe	automat. Proben-sammler	Registrierung von: O ₂ , pH, T _w , Lf	Registrierung weiterer örtl. relevanter Parameter	DFÜ	Beweisproben kurzer Zeitfraktionen	Biomonitoring, zeitnahe Erfass. org. Schadstoffe		
Probenahmestellen	x							78	E28
Probensammlerstationen		x						16*	M14, E14-E28
Registrieremessstationen		x	x		x			13*	M14, E14-E28
Hauptmessstationen		x	x	x	x	x	x	3	M14, M1 E14
O ₂ = Sauerstoff T _w = Wassertemperatur Lf = elektr. Leitfähigkeit		Ex = Einzelprobe x-tägig Mx = Mischprobe über x Tage DFÜ = Datenfernübertragung		*) davon insges. 6 als Stand-by-Messstellen, d.h. nur bei Bedarf untersucht (Rückstellproben)					

Tab. 4 Kategorien der Messstellen für die physikalisch-chemische Zustandserhebung entsprechend der technischen Vorgehensweise

lung im Zusammenhang mit der Deposition von Luftschadstoffen ("Gewässerversauerung").

Wegen ihrer Fähigkeit, Schadstoffe anzureichern, werden Schwebstoffe und Sedimente ebenfalls regelmäßig untersucht.

Gewässerbeschaffenheit

Als pauschaler Bewertungsmaßstab für den Sauerstoffhaushalt hat sich die biologische Gewässergüteklassifikation nach der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) bewährt. Mit deren Hilfe lässt sich das Ausmaß der Beeinträchtigung in 7 Stufen (Güteklasse I: unbelastet bis sehr gering belastet bis Güteklasse IV: übermäßig belastet) einteilen.

Die LAWA hat auch eine siebenstufige Güteklassifikation für chemische Kenngrößen erarbeitet, die auf Immissionszielwerten, sogenannten Zielvorgaben, beruht. Hierbei hat die LAWA Zielvorgaben für Nährstoffe, Salze und bestimmte Summenkenngrößen im Hinblick auf allgemeine wasserwirtschaftliche Anforderungen festgelegt; für Schadstoffe (Schwermetalle, organische Mikroverunreinigungen) erfolgte eine getrennte Ableitung im Hinblick auf die relevanten Schutzgüter aquatische Lebensgemeinschaft, Trinkwasserversorgung, Fischerei sowie auf Schwebstoffe und Sedimente (1).

Erstmals wird die Fließgewässerbeschaffenheit gemäß der Güteklassifikation und

den Zielvorgaben nach LAWA bewertet. Abweichend vom bisherigen baden-württembergischen Bewertungssystem, bei dem die Jahresmittelwerte das Maß für den mittleren Belastungszustand waren, beruht das neue Klassifikationssystem in der Regel auf der statistischen Kenngröße des 90-Perzents, also auf demjenigen Wert, der von 90 % der Werte im Jahr unterschritten wird. Ausnahme hiervon ist die Bewertung der Schwermetallgehalte im Schwebstoff; hierbei werden nach LAWA die 50-Perzentile (Mediane) herangezogen. Für die Kenngrößen des Biochemischen Sauerstoffbedarfs und für den gelösten organischen Kohlenstoff gibt es keine einheitliche LAWA-Klassifikation. Daher wurden hier zur Bewertung eigene Klassengrenzen definiert.

Aus der Vielzahl an Untersuchungen wird der Belastungszustand der Gewässer anhand der den Sauerstoffhaushalt beeinflussenden bzw. charakterisierenden

Größen (BSB, Ammonium), der Nährstoffkonzentrationen (Nitrat, Phosphat) und der Salzkonzentrationen (Chlorid) kartografisch als kombinierte Punkt- und Banddarstellung aufgezeigt. Hierbei ist zu beachten, dass die Gütebänder der Nebengewässer den Belastungszustand an der Mündung repräsentieren. Die Güteinstufungen weiterer Messstellen der Nebengewässer mit "Insellage" werden als farbige Punktsymbole dargestellt. Wie bei der biologischen Gewässergüte ist der Belastungszustand der Gewässer in den Farben blau (unbelastet) bis rot (hoch belastet) dargestellt. Auch in den Grafiken, in denen die zeitliche Entwicklung aufgezeigt wird, sind die Verlaufslinien mit entsprechenden Farbbändern hinterlegt.

Chemisch-physikalische Beschaffenheit

Temperaturverhältnisse

Am *Rhein* befinden sich zwischen Bodensee und nördlicher Landesgrenze sechs Wärmekraftwerke in Betrieb. Die installierte elektrische Gesamtleistung beträgt 8100 MW (davon 3050 MW mit Kühlturbetrieb), auf die drei auf deutscher Seite stehenden Kraftwerke entfallen davon 5000 (2150) MW. In den Jahren 1997 und 1998 betrug die Temperaturzunahme des Rheins zwischen Bodensee und Mannheim um 2,4 Kelvin (K) (Abb. 21).

Am *Neckar* haben die acht laufenden Wärmekraftwerke, alle am schiffbaren Neckar auf einer Strecke von 200 km zwischen Deizisau und Neckarmündung

Temperaturverhältnisse

Die Wassertemperatur beeinflusst nahezu alle physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse und ist daher für die Beschaffenheit der Gewässer eine wichtige Kenngröße. Sie ist eine der steuernden Größen für die ökologische Längszonierung der Fließgewässer. Für die Gewässerbeschaffenheit ist insbesondere die Beschleunigung sauerstoffzehrender Abbauprozesse mit zunehmender Temperatur bei gleichzeitig herabgesetztem Sauerstoff-Lösungsvermögen von Bedeutung.

Den Jahresrhythmus der Temperatur bestimmen im Wesentlichen der Jahresgang der Strahlung und die Lufttemperatur. Im Rhein und Neckar beeinflussen allerdings die Kühlwassereinleitungen von Wärmekraftwerken das Ausmaß der Schwankungen und die Extremwerte mit.

gelegen, eine installierte Gesamtleistung von 5500 MW, davon 3400 MW mit Kühlturbetrieb. Die Aufwärmung des gestauten Neckars auf der Fließstrecke zwischen Deizisau und Mannheim war im Vergleich zu den Vorjahren etwas geringer und betrug 1997/98 im Mittel 2,5 K bis 2,8 K (Abb. 22).

Die jährlichen Schwankungen der Temperaturdifferenz sind in erster Linie von der erzeugten Energiemenge, aber auch von der Wasserführung und der meteorologischen Situation der einzelnen Jahre abhängig. Gegenüber Anfang der 70er Jahre ist im Neckar und Rhein bis Mitte der 80er bzw. Anfang der 90er Jahre die Temperaturdifferenz angestiegen. Am Neckar wurden Kraftwerksneubauten konsequent mit Kühltürmen ausgerüstet. Daher ist im Neckar die Zunahme des anthropogenen Wärmeeintrags im Gesamtzeitraum trotz erheblicher Steigerung der installierten elektrischen Leistung um das ca. 2,5-fache vergleichsweise gering. Seit 1997 ist die Aufwärmung im Rhein weitgehend konstant, im Neckar ist sie leicht zurückgegangen.

Biologisch abbaubare Abwasserinhaltsstoffe und Sauerstoffverhältnisse

Die Belastung der Fließgewässer mit biologisch leicht abbaubaren Verbindungen kann mittels des *Biochemischen Sauerstoffbedarfs in fünf Tagen (BSB₅)* charakterisiert werden. Durch die heute weitestgehend verwirklichte mechanisch-biologische Abwasserreinigung werden die den Sauerstoffhaushalt der Gewässer belastenden leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen in den Kläranlagen um rund 95 % abgebaut, bei zusätzlicher Reinigungsstufe zur Nitrifikation wird auch das Ammonium um etwa 90 % reduziert. Die Gewässer sind daher mit leicht abbaubaren Verbindungen überwiegend nur noch gering bis mäßig belastet (Abb. 23). Höhere Belastungen weisen vorwiegend Gewässer auf, die einen besonders hohen Anteil an gereinigtem Abwasser aufzunehmen haben. Die höchsten Restbelastungen, entspre-

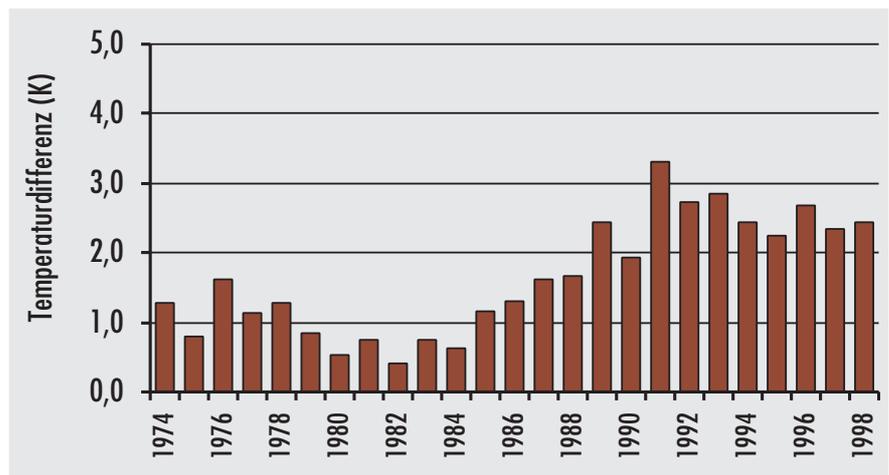


Abb. 21 Aufwärmung des Rheins zwischen Öhningen und Mannheim (Quelle: LfU)

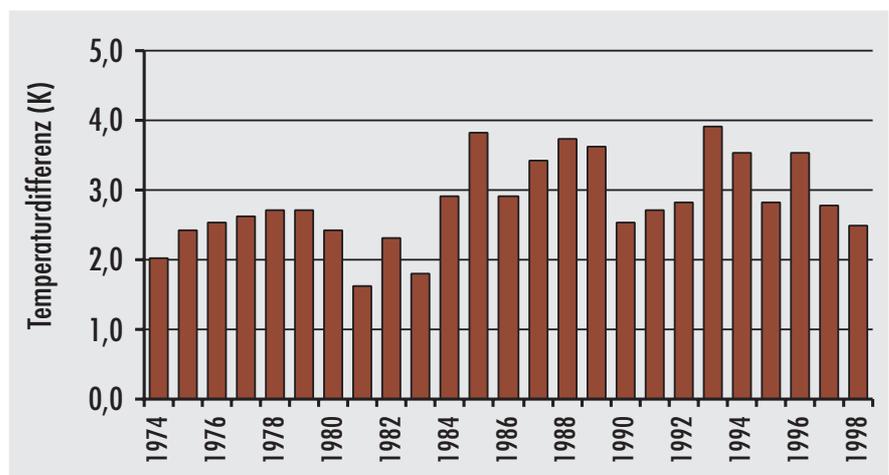


Abb. 22 Aufwärmung des Neckars zwischen Deizisau und Mannheim (Quelle: LfU)

chend einer hohen (Klasse III-IV) bzw. erhöhten Belastung (Klasse III), werden im Schutterkanal und im Leimbach vorgefunden.

Die Klassifikation der Belastung der Gewässer mit *Ammonium* nach den Vorgaben der LAWA (Abb. 24) wird im Wesentlichen durch die im Winter auftretenden Spitzenkonzentrationen bestimmt. Während der kalten Jahreszeit ist

die Nitrifikation, also der mikrobiologische Abbau von Ammonium zu Nitrat, in den Kläranlagen stark gehemmt, was höhere Ammoniumablaufwerte zur Folge hat. In aller Regel sind die Ammoniumgehalte in der übrigen Jahreszeit deutlich geringer. Die Belastung des Rheins ist gering bis mäßig, die der Donau überwiegend mäßig. Im Neckar, der höhere Anteile an gereinigtem Abwasser aufzu-

chemische Güteklasse		BSB5 (mg/l) (90-Perzentil)	Ammonium_N (mg/l) (90-Perzentil)
I	unbelastet	≤ 1,5	≤ 0,04
I-II	sehr gering belastet	1,5 - 3	0,04 - 0,1
II	mäßig belastet	3 - 6	0,1 - 0,3
II-III	deutlich belastet	6 - 9	0,3 - 0,6
III	erhöht belastet	9 - 12	0,6 - 1,2
III-IV	hoch belastet	12 - 15	1,2 - 2,4
IV	sehr hoch belastet	> 15	> 2,4

Tab. 5 Klassifikation zu den Abb. 23 (BSB5) und 24 (Ammonium) (Quellen: LfU, LAWA; Stand 1998)

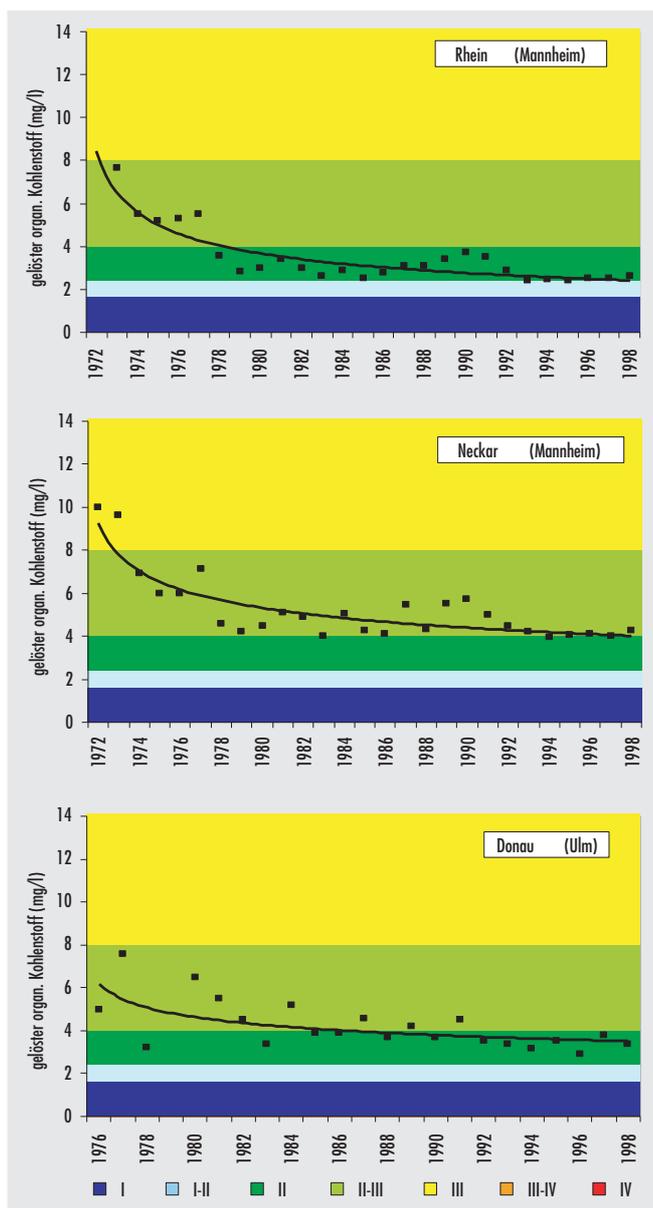


Abb. 25 Entwicklung der DOC-Konzentrationen (90-Perzentile) in Rhein, Neckar und Donau (Quelle: LfU)

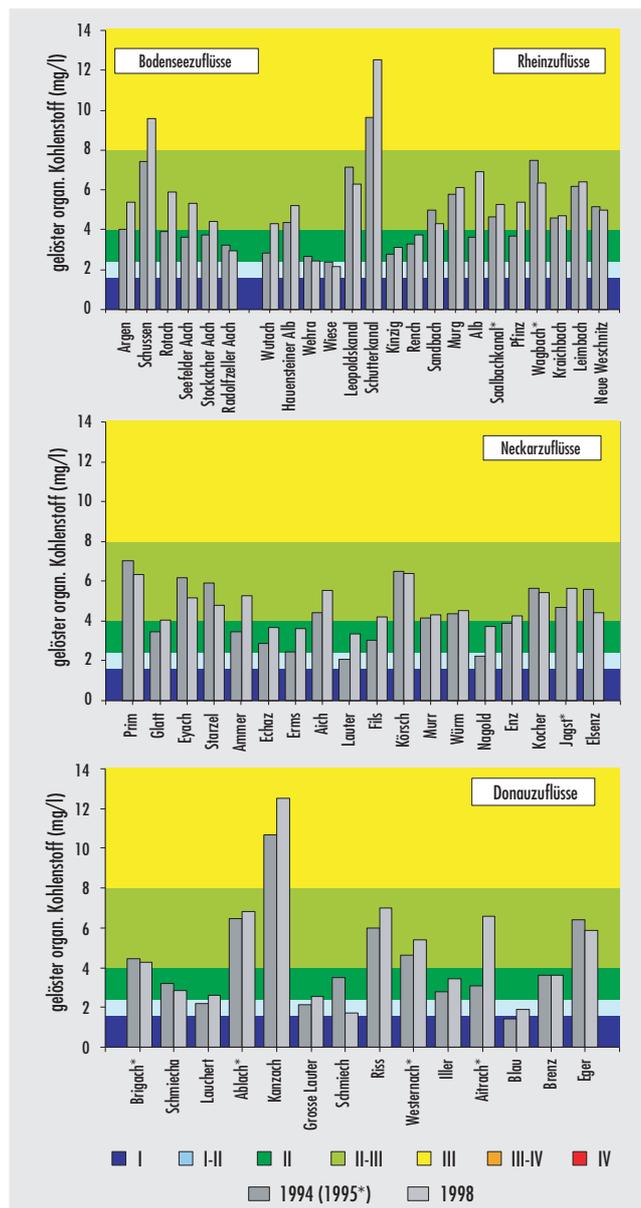


Abb. 26 Vergleich der DOC-Konzentrationen 1994 (*1995) und 1998 in den Zuflüssen von Rhein, Neckar und Donau (Quelle: LfU)

weise hohen Abwasseranteils bei sommerlichem Niedrigwasser weiterhin instabil und muss bei kritischen Sauerstoffverhältnissen durch Belüftungsmaßnahmen gestützt werden. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass hierdurch ein Absinken des Sauerstoffgehalts auf für Fische kritische Beträge weitgehend vermieden werden kann. In den Zuflüssen wurden 1998 die geringsten Sauerstoffgehalte im Schutterkanal und Waghbach mit Werten geringfügig unter 5 mg/l beobachtet; diese sind auf die dort hohen Abwasseranteile und das nur geringe Gefälle zurückzuführen.

Bezogen auf die 70er Jahre ist die abwasserbedingte Belastung mit organischen Kohlenstoffverbindungen und Ammonium an den dargestellten repräsentativen Messstellen von Rhein, Neckar und Donau stark zurückgegangen (Abb. 25 bis 28). Im Mittel sind die Konzentrationen an gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) im Rhein und Neckar praktisch halbiert worden. An der Donaumesstelle Ulm ist bei kürzerer Beobachtungszeit der Trend ebenfalls deutlich rückläufig. Ein noch stärkerer Rückgang konnte bei den Ammoniumkonzentrationen in den Gewässern festgestellt werden. Im Rhein sind die Ammoniumkonzentrationen im

Mittel um 60 %, im Neckar gar um rund 95 % zurückgegangen. In der Donau beträgt der Rückgang etwa 80 %. Ähnlich stark ist auch die Belastung mit sauerstoffzehrenden, leicht abbaubaren Stoffen (gemessen als BSB₅) zurückgegangen (im Neckar um mehr als 80 %, im Rhein um 65 %).

Als Folge des starken Rückgangs der Gewässer mit biologisch leicht abbaubaren Stoffen haben sich die Sauerstoffverhältnisse stark verbessert. Bewirkt wurde dies durch den konsequenten Ausbau der Abwasserbehandlung bei Kommunen und Industrie sowie durch die weitgehend ausgebaute Regenwasserbehandlung.

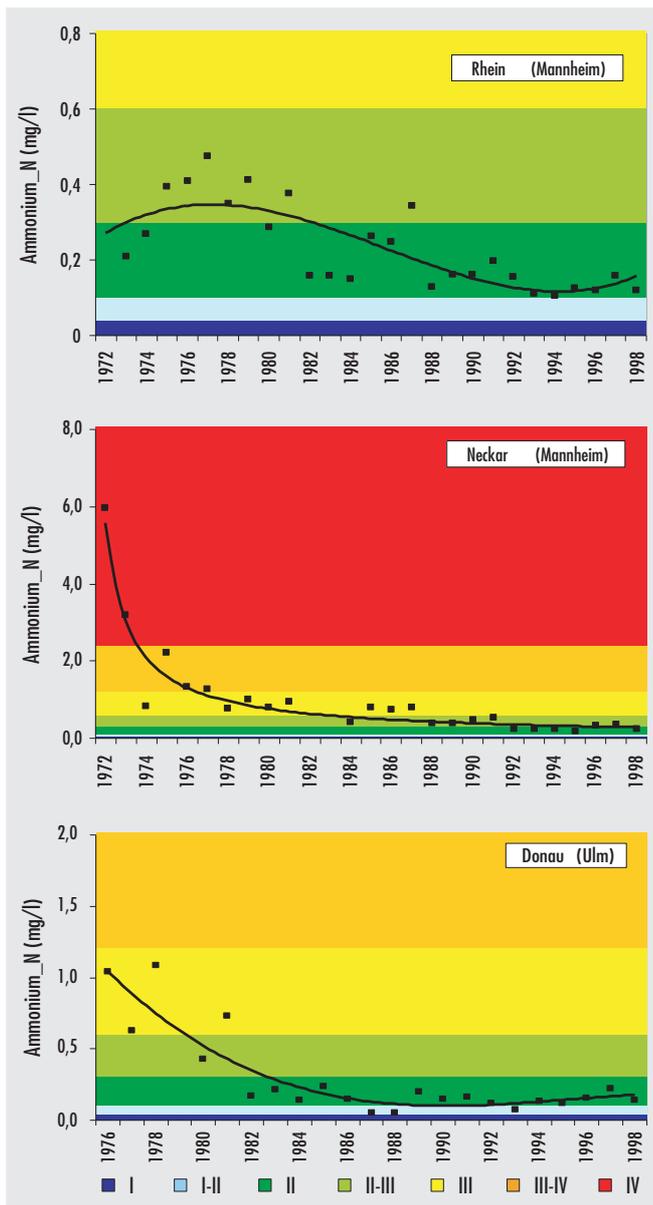


Abb. 27 Entwicklung der Ammonium-Konzentrationen (90-Perzentile) in Rhein, Neckar und Donau (Quelle: LfU)

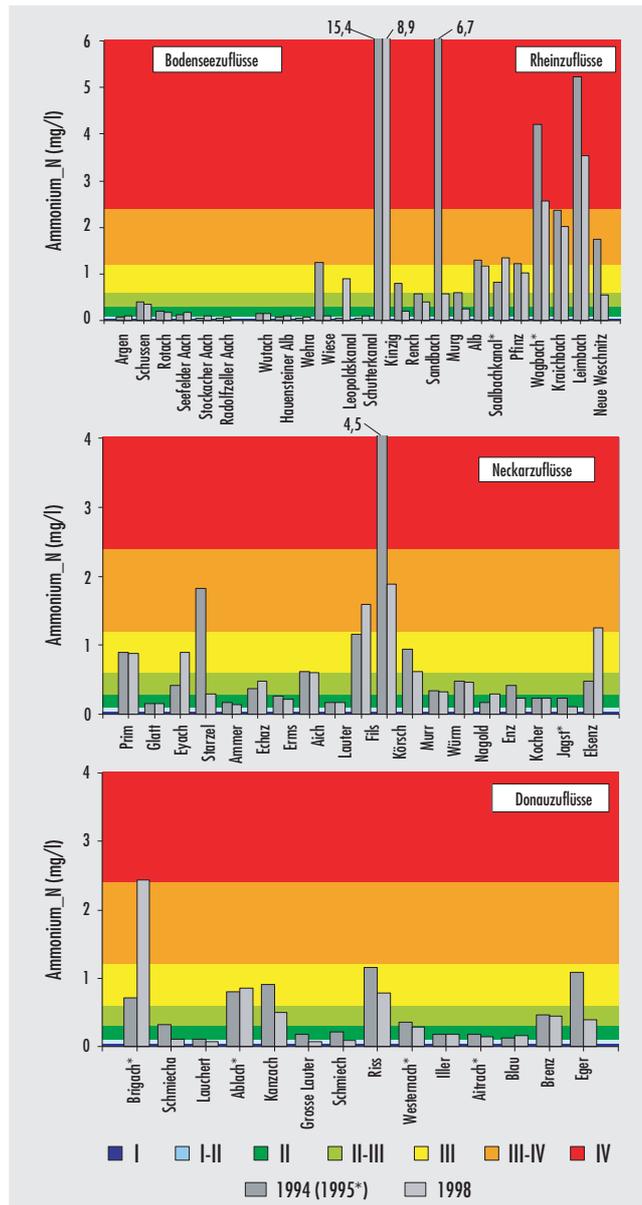


Abb. 28 Vergleich der Ammonium-Konzentrationen 1994 (*1995) und 1998 in den Zuflüssen von Rhein, Neckar und Donau (Quelle: LfU)

Hohe Konzentrationen der Stickstoffverbindungen Nitrat und Ammonium sowie von Phosphat fördern als Pflanzennährstoffe das Wachstum von Algen und anderen Wasserpflanzen und können zu einer übermäßigen Produktion pflanzlichen organischen Materials führen (Eutrophierung). Der Abbau des vermehrt gebildeten organischen Materials kann den Sauerstoffhaushalt der Gewässer, insbesondere in gestauten und ruhig fließenden Abschnitten, erheblich beeinträchtigen. Man bezeichnet das durch die erhöhten Nährstoffkonzentrationen übermäßig gebildete organische Material daher auch als Sekundärverschmutzung.

Nährstoffe

Die Nitrat- und Phosphatkonzentrationen der Fließgewässer sind gegenüber dem natürlichen Zustand überwiegend deutlich erhöht (Abb. 29 und 30).

Eine geringe bis mäßige Belastung mit Nitrat wird aufgrund des "Oberlauf"-Charakters nur im Hoch- und Oberrhein sowie in einzelnen Rheinzufüssen aus dem Schwarzwald und in der Argen vorgefunden. Diese wasserreichen Zuflüsse weisen nur vergleichsweise geringe Abwasseranteile auf, und die Einzugsgebiete werden zum größten Teil forstwirtschaftlich genutzt. Dagegen sind in den

landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten, infolge der Düngieranwendung, die Nitratkonzentrationen wesentlich höher. Auch aus den Abwässern gelangt Nitrat direkt oder als Folge des mikrobiellen Umbaus von Ammonium zu Nitrat indirekt in erheblichen Mengen in die Flussläufe. Entsprechend weisen die Donau eine deutliche (Klasse II-III) und der Neckar eine erhöhte Nitratbelastung (Klasse III) auf. In den Neckarzuflüssen Körtsch und Steinlach sowie in den Rheinzufüssen Leopoldskanal und Schutterkanal finden sich besonders hohe Nitratgehalte (Klasse III-IV bis IV), da

Fließgewässer

diese Zuflüsse hohe Abwasseranteile haben.

Die Belastung der Fließgewässer mit *Phosphat* wird im Wesentlichen durch den Eintrag über Kläranlagen bestimmt, so dass ein deutlicher Zusammenhang zum Abwasseranteil des Gewässers besteht. Der Rhein sowie die meisten Zuflüsse aus dem Schwarzwald und die Donau sind entsprechend nur gering bis mäßig mit Phosphor belastet. In den Bodenseezuflüssen wird aufgrund der verschärften Anforderungen zur P-Elimination zum Schutz des Bodensees ebenfalls eine mäßige Phosphatbelastung (Klasse II) erreicht. Auch die Donau hat noch über weite Strecken eine mäßige Belastung. Dagegen ist der Neckar mit seinem deutlich höheren Abwasseranteil erhöht belastet (Klasse III). Eine hohe Phosphatbelastung weisen die Neckarzuflüsse Steinlach, Aich, Körsch und Zipfelbach sowie die Rheinzufüsse Leopoldskanal, Pfinz, Wagbach, Kriegbach und Kraichbach auf.

Nitrat ist die mengenmäßig bedeutendste Stickstoffverbindung. Die Nitratgehalte haben bis Ende der 70er Jahre stetig zugenommen (Abb. 31). Während die Nitratgehalte der vergleichsweise gering abwasserbelasteten Flüsse Rhein und Donau seither auf mäßig erhöhtem Niveau stagnieren, zeigt sich im dichtbesiedelten Neckargebiet, das hohe Abwassermengen aufnehmen muss, eine Trendumkehr. Diese Entwicklung ist in erster Linie eine Folge der Nachrüstung von Kläranlagen mit Verfahrensstufen zur Stickstoffeliminierung. Ähnlich positive Entwicklungen sind auch in einzelnen Zuflüssen, wie Schmiecha, Eger, Sandbach, Kraichbach, in der Neuen Weschnitz und Ammer, zu erkennen (Abb. 32).

Die Belastung der Gewässer mit Phosphor hat sich durch den Ersatz von Phosphaten in Waschmitteln stark verringert (Abb. 33, 34). Hinzu kommt, dass seit Beginn der 90er Jahre die größeren Kläranlagen mit Verfahrensstufen zur Phosphoreliminierung nachgerüstet wurden.

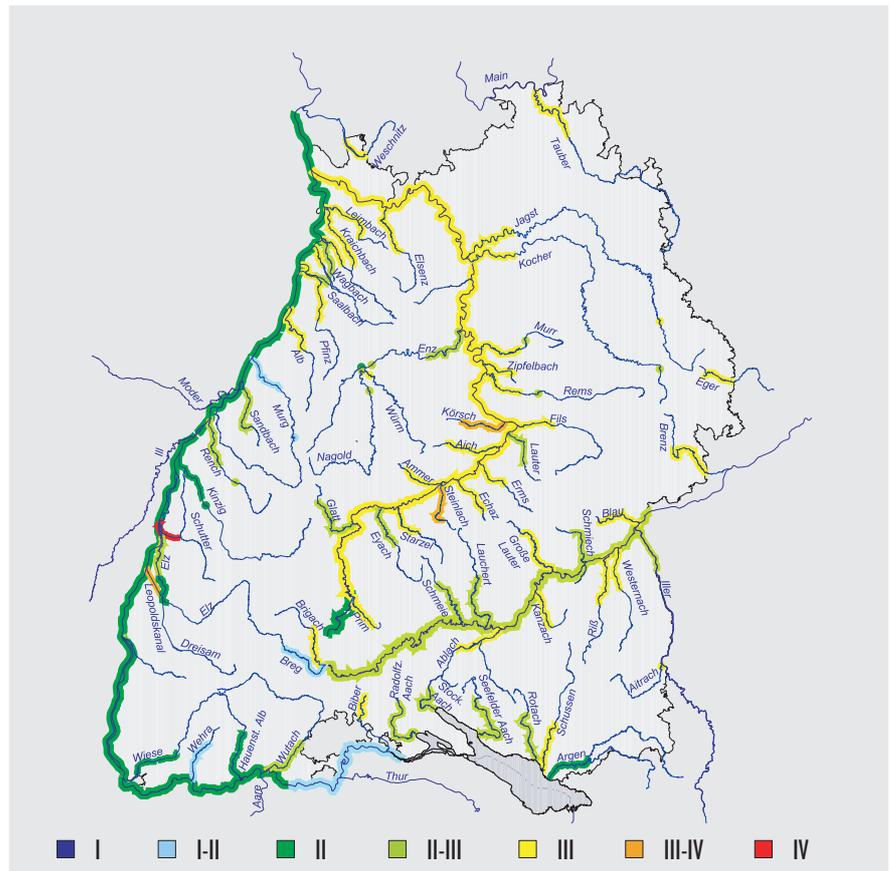


Abb. 29 Belastung der Fließgewässer mit Nitrat (Quelle: LFU; Stand 1998)

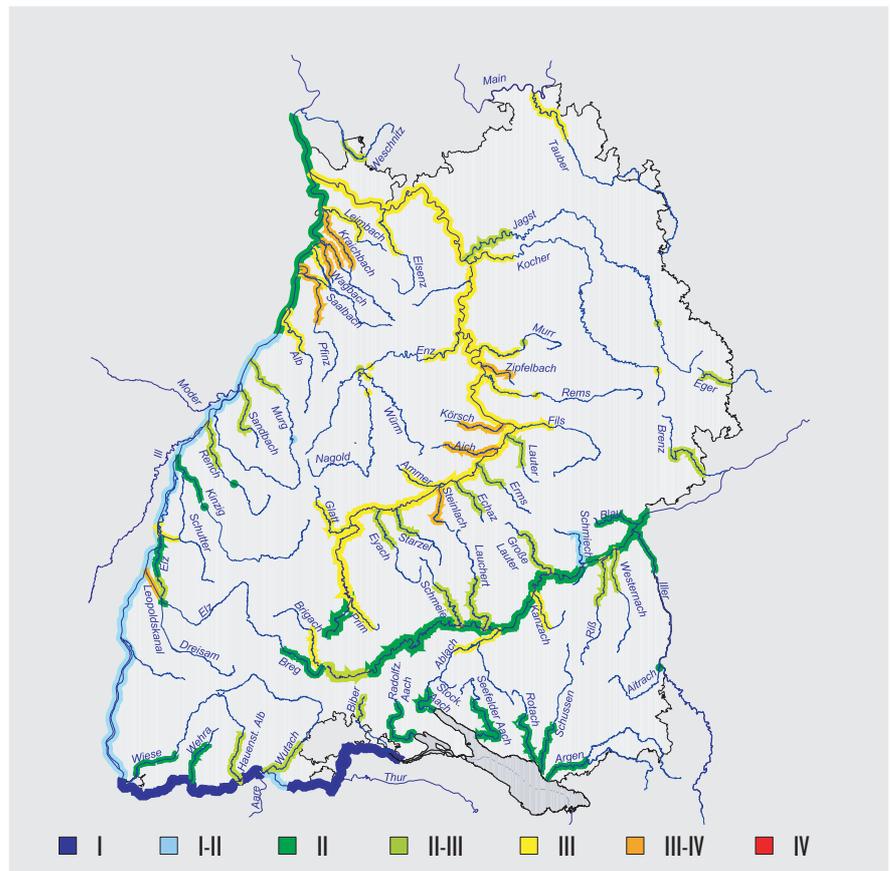


Abb. 30 Belastung der Fließgewässer mit ortho-Phosphat (Quelle: LFU; Stand 1998)

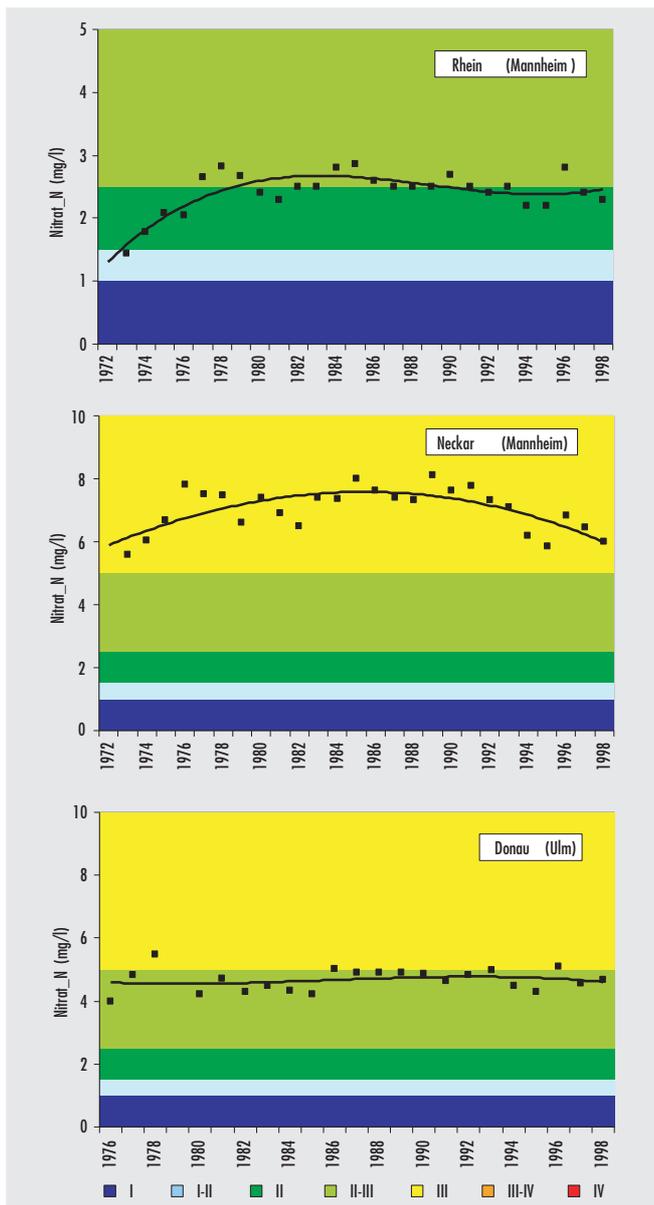


Abb. 31 Entwicklung der Nitrat-Konzentrationen (90-Perzentile) in Rhein, Neckar und Donau (Quelle: LfU)

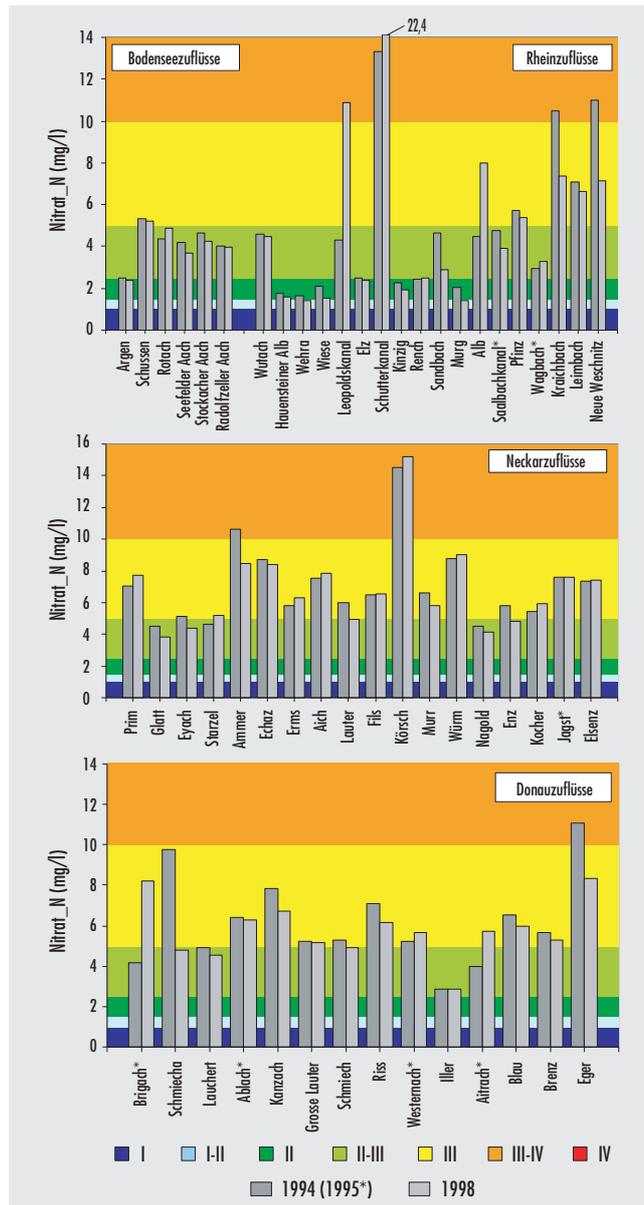


Abb. 32 Vergleich der Nitrat-Konzentrationen 1994 (*1995) und 1998 in den Zuflüssen von Rhein, Neckar und Donau (Quelle: LfU)

Insgesamt hat die P-Belastung der großen Fließgewässer gegenüber 1985 um durchschnittlich 65-70 % abgenommen.

Bei Phosphor ist hierdurch das zum Schutz der Meere auf der zweiten und dritten Nordseeschutzkonferenz angestrebte Ziel, den Nährstoffeintrag innerhalb von 10 Jahren (1985-1995) zu halbieren, erreicht worden. Hingegen ist bei Stickstoff eine Reduktion von insgesamt nur etwa 25 % feststellbar (2). Die Verringerung der Stickstoffbelastung erfordert weitere flankierende Maßnahmen durch die Landwirtschaft, Abwasser-sanierungsmaßnahmen allein reichen nicht aus.

chemische Güteklasse		Nitrat_N (90-Perzentil)	o-Phosphat_P (mg/l) (90-Perzentil)
I	unbelastet	≤ 1	≤ 0,02
I-II	sehr gering belastet	1 - 1,5	0,02 - 0,04
II	mäßig belastet	1,5 - 2,5	0,04 - 0,1
II-III	deutlich belastet	2,5 - 5	0,1 - 0,2
III	erhöht belastet	5 - 10	0,2 - 0,4
III-IV	hoch belastet	10 - 20	0,4 - 0,8
IV	sehr hoch belastet	> 20	> 0,8

Tab. 6 Klassifikation zu den Abbildungen 29 (Nitrat) und 30 (Phosphat) (Quelle: LAWA; Stand 1998)

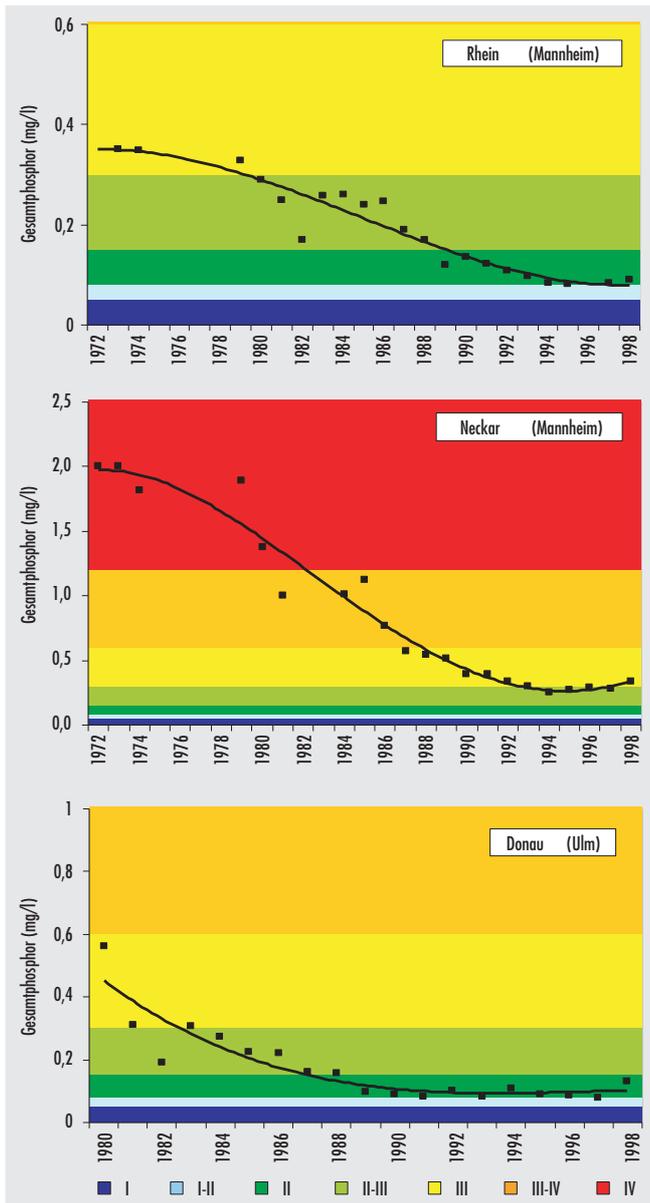


Abb. 33 Entwicklung der Phosphor-Konzentrationen (90-Perzentile) in Rhein, Neckar und Donau (Quelle: LfU)

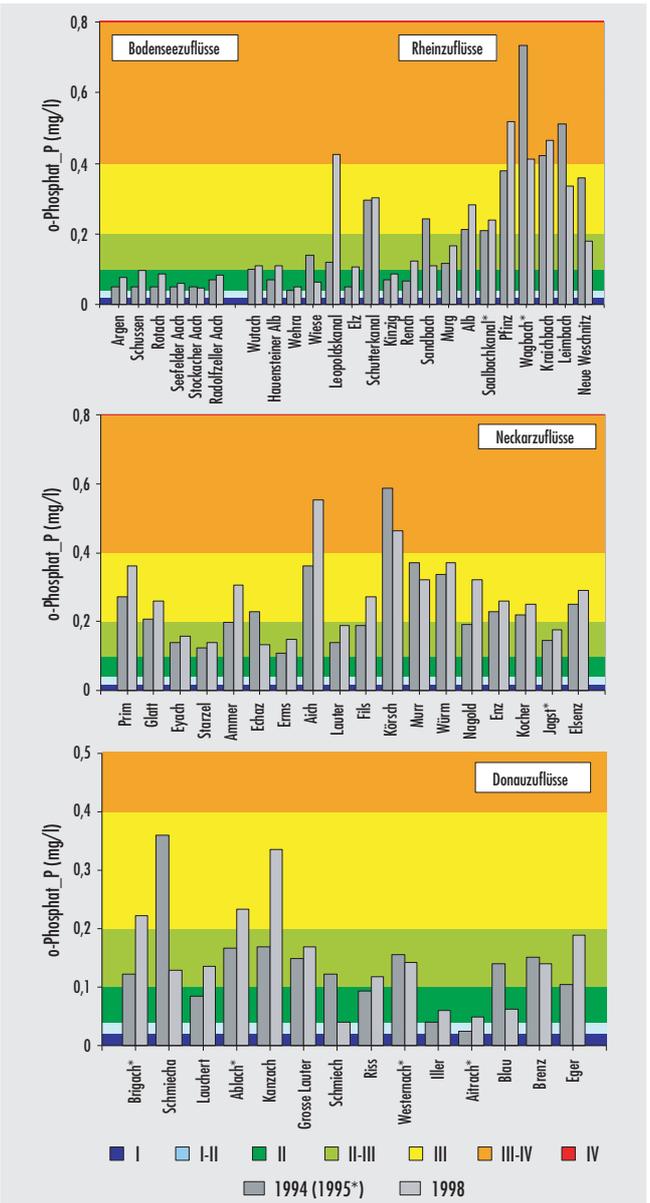


Abb. 34 Vergleich der ortho-Phosphat-Konzentrationen 1994 (*1995) und 1998 in den Zuflüssen von Rhein, Neckar und Donau (Quelle: LfU)

Der Eutrophierungsgrad größerer, plankton-dominierter Gewässer lässt sich anhand des Chlorophyllgehaltes, als Maß für den Gehalt an Planktonalgen, abschätzen. Die Planktonalgenkonzentration wird vom Nährstoffangebot und maßgeblich von hydrologischen (Turbulenz, Fließgeschwindigkeit) und witterungsbedingten (Sonneneinstrahlung, Wassertemperatur) Faktoren beeinflusst. Aufgrund des komplexen Zusammenspiels dieser Faktoren können die Chlorophyllgehalte kurzfristig wie auch in den verschiedenen Untersuchungsjahren stark schwanken.

Eutrophierung

Die Entwicklung der Chlorophyllgehalte seit 1985 zeigt weder für Rhein noch Donau einen sichtbaren Trend (Tab. 7). Auch im Neckar, dessen Phosphatgehalt seit 1985 um etwa 65 % abgenommen hat, lässt sich eine parallele Änderung des Chlorophyllgehaltes nicht feststellen. Das gegenwärtige Nährstoffniveau ist demnach für die Begrenzung des Algenwachstums noch nicht ausreichend abgesenkt.

Nach dem LAWA-Konzept für ein siebenstufiges System zur Klassifizierung der Trophie planktondominierter Fließgewässer

(3) resultieren für Rhein, Neckar und Donau folgende Trophieeinstufungen:

- Hochrhein: oligotroph [Trophieklasse I, sehr geringe Primärproduktion]
- Oberrhein: mesotroph [Trophieklasse I-II, gering-mäßige Primärproduktion]
- Neckar: eutroph [Trophieklasse II, mäßige Primärproduktion]
- Donau: mesotroph [Trophieklasse I-II, gering-mäßige Primärproduktion]

Jahr	Chlorophyll a (µg/l)		
	Rhein Karlsruhe	Neckar Mannheim	Donau Ulm
1985	4	20	12
1990	-	17	11
1991	6	14	5
1992	4	13	6
1993	7	10	7
1994	4	14	11
1995	3	7	6
1996	3	6	6
1997	3	16	8
1998	3	5	24

Tab. 7 Jahresmittelwerte der Chlorophyllgehalte in Rhein, Neckar und Donau (Quelle: LFU)

Chlorid ist ein Leitparameter für die Versalzung im Gewässer. Aus human- und ökotoxikologischer Sicht sind erhöhte Chloridkonzentrationen, wie sie in den Landesgewässern vorkommen, nicht bedenklich. Stark erhöhte Salzkonzentrationen können jedoch bei den Wasserwerken zu Korrosionsschäden oder bei landwirtschaftlicher Berieselung zur Versalzung von Böden führen. Ursachen für die Salzbelastungen sind im Wesentlichen der Einsatz von Ionentauschern im Haushalt (Geschirrspülmaschinen) und Gewerbe sowie die Verwendung von Streusalz im Winter. Im Rhein ist die erhöhte Salzbelastung auf die Einleitungen der Kalisalzindustrie zurückzu-

Versalzung

Die Chloridbelastung des Rheins steigt bei Fessenheim unterhalb der Einleitungen der elsässischen Kaliminen von unbelastet auf mäßig belastet sprunghaft an (Abb. 35). Der Neckar weist nahezu durchgehend ebenfalls eine mäßige Chloridbelastung auf, allerdings im Wesentlichen durch den höheren Anteil an kommunalen Abwässern bedingt. Dagegen sind die Donau, die meisten Donauzuflüsse, die Mehrzahl der Schwarzwaldgewässer, die Bodenseezuflüsse und die Neckarzuflüsse Lauter und Jagst nach den LAWA-Kriterien als unbelastet bis gering belastet zu bewerten. Höhere Chloridgehalte (Klasse II-III) werden in den Gewässern mit hohen Abwasseranteilen erreicht, so etwa in den

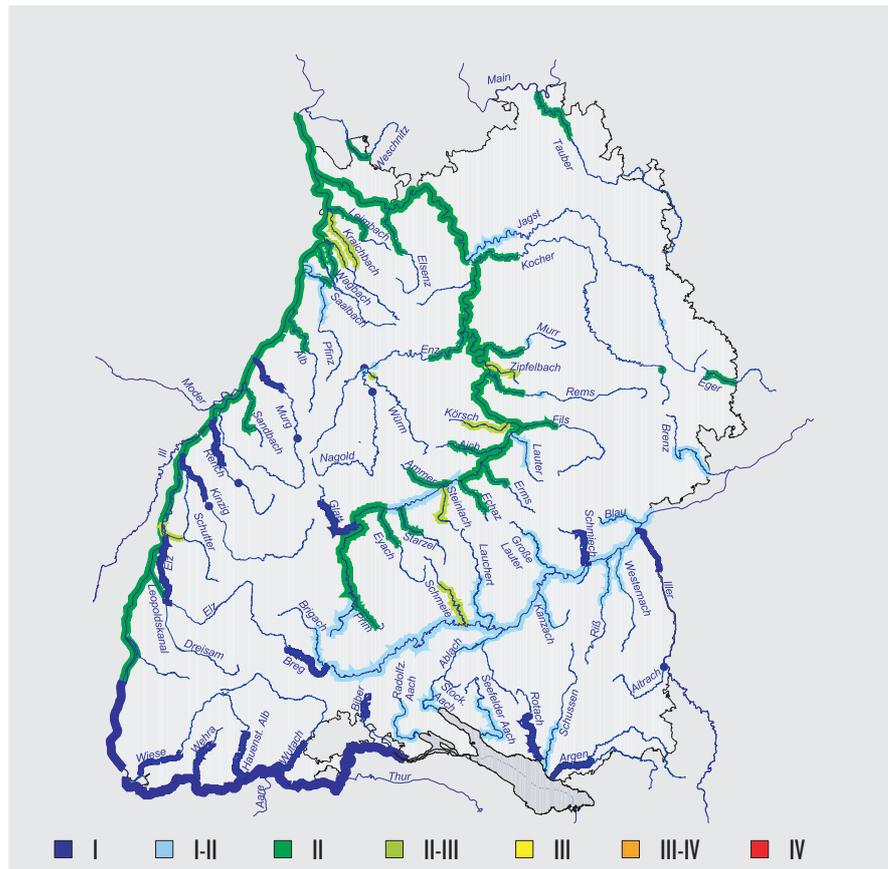


Abb. 35 Belastung der Fließgewässer mit Chlorid (Quelle: LFU; Stand 1998)

Neckarzuflüssen Steinlach, Körsch, Zipfelbach und Würm sowie in den Rheinzufüssen Schutterkanal, Kriegbach und Kraichbach.

Im Rhein lässt sich aus der langjährigen Beobachtungsreihe eine starke Abnahme der Chloridbelastung als Ergebnis des Chloridübereinkommens zwischen den Rheinanliegerstaaten erkennen (Abb. 36). Die Chloridtransporte sind gegenüber Mitte der 80er Jahre um rund 60 % zurückgegangen (Tab. 9). Die Chloridbelastung des Oberrheins ist nach den LAWA-Kriterien inzwischen als mäßig zu bewerten. Im Neckar unterhalb von Heilbronn waren bis 1993 die Chloridkonzentrationen ähnlich erhöht (Klasse III) wie im Rhein. Nach der Einstellung der Sodaproduktion in einem Betrieb im Raum Heilbronn ist die Chloridbelastung auf ein nunmehr mäßig erhöhtes Niveau (Klasse II) zurückgegangen. In der Donau ist die Salzbelastung seit Beginn der Messungen nur gering (Klasse I-II).

chemische Güteklasse		Chlorid (mg/l) (90-Perzentil)
I	unbelastet	≤ 25
I-II	sehr gering belastet	25 - 50
II	mäßig belastet	50 - 100
II-III	deutlich belastet	100 - 200
III	erhöht belastet	200 - 400
III-IV	hoch belastet	400 - 800
IV	sehr hoch belastet	> 800

Tab. 8 Klassifikation zu Abbildung 35

Jahr	Chloridtransporte (kg/s)	
	Rhein Karlsruhe	Neckar Mannheim
1966	148	9,0
1970	150	13,5
1975	154	12,1
1980	166	16,3
1985	155	12,6
1990	129	13,8
1991	115	14,2
1992	119	15,7
1993	102	10,4
1994	93	6,2
1995	95	7,1
1996	94	7,1
1997	80	7,6
1998	66	8,0

Tab. 9 Chloridtransporte in Rhein und Neckar (Quelle: LFU)

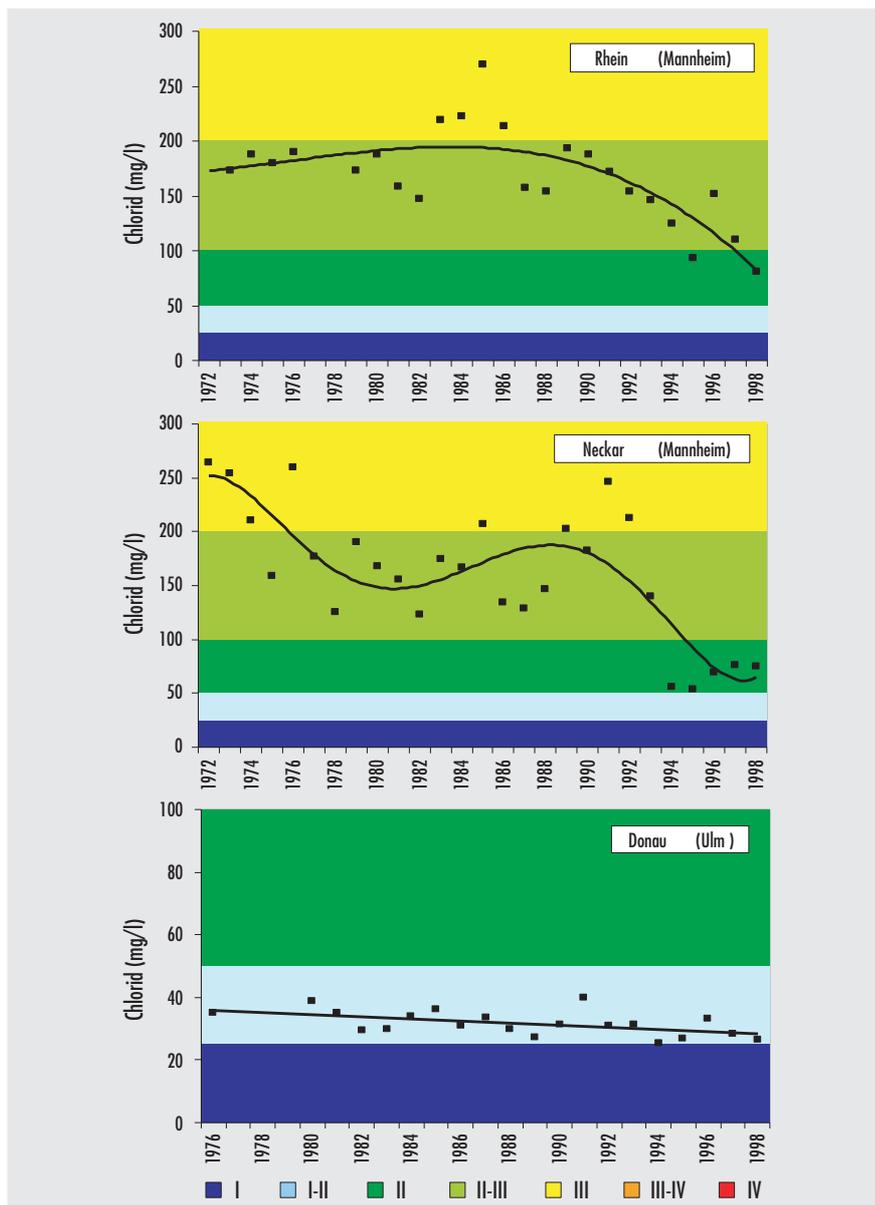


Abb. 36 Entwicklung der Chlorid-Konzentrationen (90-Perzentile) in Rhein, Neckar und Donau (Quelle: LfU)

Schwermetalle

Schwermetalle im Wasser

Infolge einschlägiger Auflagen bei Industrie und Gewerbe sowie wegen ihrer weitgehenden Rückhaltung in Kläranlagen sind die Gesamtgehalte der Schwermetalle in den Fließgewässern insgesamt niedrig. Insbesondere die Konzentrationen der besonders toxisch wirkenden Metalle Cadmium und Quecksilber liegen bei nahezu allen Kontrollmessungen 1998 unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze. Zwar werden bei den übrigen Schwermetallen regelmäßig Werte oberhalb der jeweiligen Bestim-

mungsgrenzen gemessen, jedoch halten auch diese Schwermetalle die einschlägigen Zielvorgaben der LAWA (Tab. 10) zu den Schutzgütern Trinkwasser (T), Fischerei (F) und Bewässerung (B) bis auf die im Folgenden genannten Ausnahmen ein. Insbesondere der Leimbach, der stark durch die ehemalige Bergbautätigkeit im Raum Wiesloch beeinträchtigt ist, überschreitet bei Blei (Schutzgüter T, F, B) und Kupfer (Schutzgüter T, B) die Zielvorgaben der LAWA. Darüber hinaus weisen der Kraichbach und der Kriegbach deutlich erhöhte Bleigehalte auf, so dass die Zielvorgabe für das Schutzgut Fischerei (5 µg/l) um rund das Doppelte überschritten wird.

Die Metalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink werden aufgrund ihrer hohen Dichte (> 5 kg/dm³) als Schwermetalle bezeichnet. In der Natur kommen diese Elemente (von Ausnahmen abgesehen, wie z.B. bei den Erzvorkommen im Schwarzwald) nur in sehr geringen Konzentrationen vor und wirken ab bestimmten Konzentrationen toxisch. Im Gegensatz zu Blei, Cadmium und Quecksilber sind die Schwermetalle Chrom, Kupfer, Nickel und Zink in geringer Konzentration essentielle, d.h. für Menschen, Tiere und Pflanzen lebensnotwendige Spurenelemente. Schwermetalle sind als Elemente nicht weiter abbaubar und können nach der Aufnahme jahrelang im Körper bleiben.

Anthropogen bedingt, gelangen Schwermetalle hauptsächlich über die Abwässer der metallverarbeitenden Betriebe in die Gewässer. Kupfer und Zink werden außerdem durch Korrosion aus Installationen freigesetzt und über häusliche Abwässer in die Gewässer eingetragen. Kläranlagen halten Schwermetalle im anfallenden Klärschlamm zum großen Teil zurück. Im Gewässer ist der überwiegende Teil der Schwermetalle an Schwebstoffe gebunden und wird im Sediment abgelagert.

Schwermetalle in Schwebstoffen

Mitte 1992 wurden die technischen Voraussetzungen zur aufwendigen Probenahme geschaffen. Seitdem werden Schwebstoffproben an ausgewählten Stellen von Rhein, Neckar und Donau regelmäßig auf Schwermetalle untersucht. Die im Hinblick auf das Schutzgut aquatische Lebensgemeinschaften normierten Ergebnisse der Untersuchungsjahre 1997/98 zeigt Abb. 37.

Die Schwebstoffe des Rheins weisen die geringste Schwermetallbelastung auf. Mit Ausnahme von Kupfer, dessen Anreicherungsgrad eine mäßige Belastung erreicht, sind die Rheinschwebstoffe weitgehend unbelastet bis nur gering belastet. Etwas höhere Anreicherungsgrade finden sich in den Schwebstoffen der Donau bei Ulm, die auch bei Cadmium und Zink eine mäßige Belastung haben.

	Berufs- und Sportfischerei	Bewässerungswasser	Trinkwasserversorgung
Blei	5,0	50	50
Cadmium	1,0	5	1
Chrom	n.r.*	50	50
Kupfer	n.r.*	50	20
Nickel	n.r.*	50	50
Quecksilber	0,1*	1	0,5
Zink	n.r.*	1000	500

*n.r. = nicht relevant

Tab. 10 Zielvorgaben der LAWA für Schwermetalle im Wasser (in µg/l) nach Schutzgütern

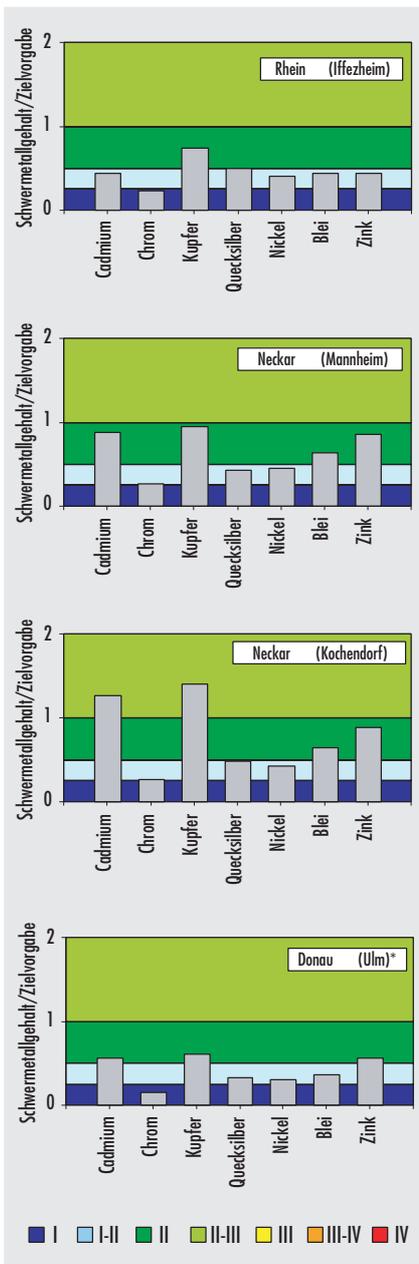


Abb. 37 Schwermetallbelastung der Schwebstoffe in Rhein, Neckar und Donau im Hinblick auf das Schutzgut aquatische Lebensgemeinschaft (Quelle: LfU; Stand 1998)

Höhere Schwermetallkonzentrationen enthalten die Schwebstoffe des Neckars. Zwar werden an der Mündungsmessstelle Mannheim die Zielvorgaben eingehalten, jedoch weisen die Neckarschwebstoffe unterhalb der Einleitungen der Ballungsräume Stuttgart und Heilbronn Kupfergehalte auf, die als deutlich belastet zu bewerten sind. Auch sind die Cadmiumgehalte der Schwebstoffe an der Kontrollstelle Kochendorf unterhalb der Einmündung der Enz, trotz zurückgehender Gehalte in den vergangenen Jahren, noch immer deutlich erhöht.

Schwermetalle in Sedimenten

Eine Bestandsaufnahme der Sedimentqualität kleiner Fließgewässer vom Winter 1998/99 hat die landesweite Untersuchung der größeren Fließgewässer der Jahre 1990 bis 1992 ergänzt (Abb. 38). Als Bewertungsmaßstab für die Schwermetallbelastung der Sedimente wird die chemische Güteklassifikation der LAWA im Hinblick auf das Schutzgut aquatische Lebensgemeinschaft gewählt (Tab. 11). Die Gesamtbewertung ergibt sich aus der schlechtesten Güteinstufung der insgesamt sieben bestimmten Elemente. (Aus den ermittelten Schwermetallgehalten der Sedimente kann man allerdings keine Aussagen zur biologischen Verfügbarkeit dieser Elemente treffen, da diese vorwiegend durch die Bindungsverhältnisse und das komplexe Zusammenspiel der physiko-chemischen

Milieubedingungen im Gewässer bestimmt wird.)

Wesentliches Ergebnis der landesweiten Bestandsaufnahme ist, dass die Schwermetallgehalte der Sedimente regional unterschiedlich stark sind. Sie sind in den überwiegenden Teilen des Landes nur gering bis mäßig erhöht, dagegen weisen die Sedimente im Schwarzwald ein deutlich höheres Konzentrationsniveau auf. Dies rührt von dem im Schwarzwald verbreiteten Erzvorkommen her: Dort ist bereits geogen ein hoher Hintergrundwert anzutreffen. Besonders hohe Schwermetallgehalte (Blei, Cadmium, Zink) werden in den Regionen mit historischem Bergbau vorgefunden (z.B. Schauinsland im Südschwarzwald und Wiesloch im Kraichgau).

Auch die Belastung der Sedimente bezüglich der einzelnen Schwermetalle ist unterschiedlich (Abb. 39). Die Sedimente sind mit Chrom (Cr), Nickel (Ni) und Quecksilber (Hg) weitgehend unbelastet bis gering belastet. Größere Anteile an erhöhten Konzentrationen weisen die Schwermetalle Cadmium (Cd), Kupfer (Cu), Blei (Pb) und Zink (Zn) auf.

Bereits 1972 sind die Sedimente der wichtigsten Fließgewässer der Bundesrepublik Deutschland auf Schwermetalle untersucht worden. Diese Untersuchungen wiesen den Neckar als den am stärksten mit Cadmium, Chrom und Nickel belasteten Fluss aus (4). Auf diese Untersuchungen bezogen, ergaben die

	Einheit	Chemische Gewässergüteklasse						
		I	I-II	II	II-III	III	III-IV	IV
Blei	mg/kg	≤25	≤50	≤100	≤200	≤400	≤800	> 800
Cadmium	mg/kg	≤0,3	≤0,6	≤1,2	≤2,4	≤4,8	≤9,6	> 9,6
Chrom	mg/kg	≤80	≤160	≤320	≤640	≤1280	≤2560	> 2560
Kupfer	mg/kg	≤20	≤40	≤80	≤160	≤320	≤640	> 640
Nickel	mg/kg	≤30	≤60	≤120	≤240	≤480	≤960	> 960
Quecksilber	mg/kg	≤0,2	≤0,4	≤0,8	≤1,6	≤3,2	≤6,4	> 6,4
Zink	mg/kg	≤100	≤200	≤400	≤800	≤1600	≤3200	> 3200

Tab. 11 LAWA-Klassifikation der Schwermetallgehalte in Schwebstoffen und Sedimenten für das Schutzgut aquatische Lebensgemeinschaft (Quelle: LAWA)

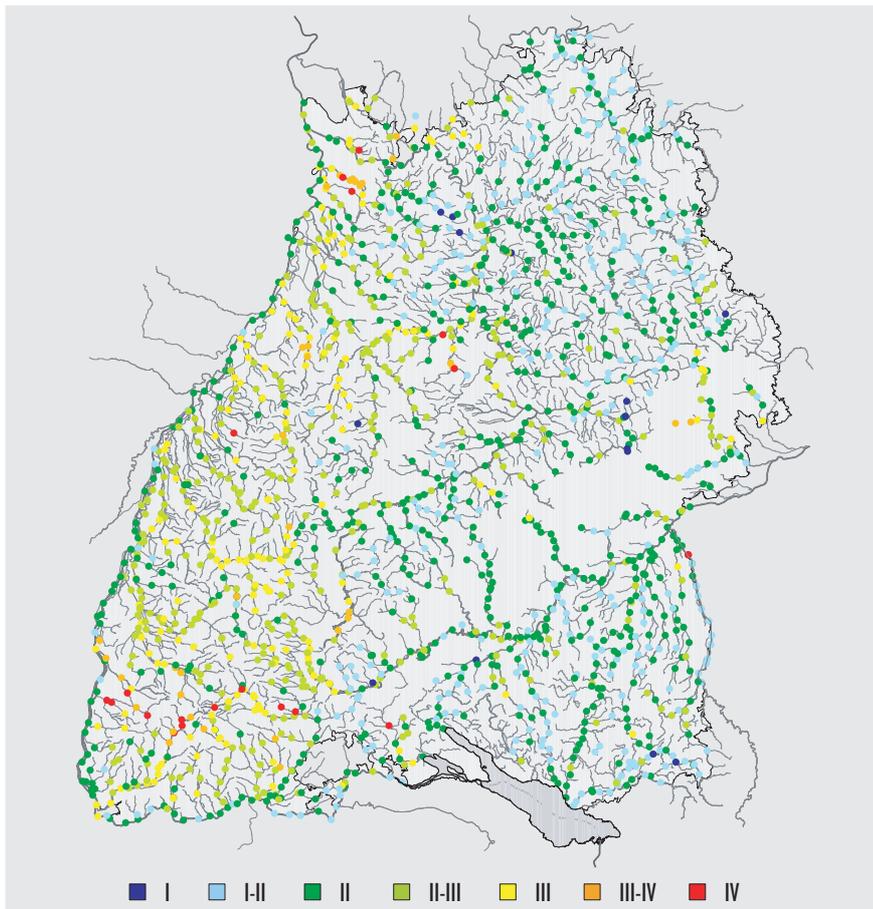


Abb. 38 Schwermetallbelastung der Sedimente im Hinblick auf das Schutzgut aquatische Lebensgemeinschaft (Gesamtbewertung) (Quelle: LfU; Stand 1998)

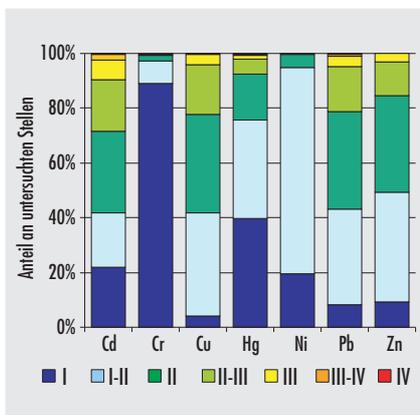


Abb. 39 Sedimentbelastung aufgeschlüsselt nach den untersuchten Schwermetallen (Quelle: LfU; Stand 1998)

Bestandsaufnahmen von 1979, 1985 und 1990/92 in den Sedimenten von Rhein, Neckar und Donau einen starken Rückgang der Schwermetallkonzentrationen. Dieser wurde durch die verbesserte Abwasserbehandlung seitens Industrie und Kommunen wie auch durch Maßnahmen zum Recycling und zur Vermeidung erreicht. Seit den Untersuchungen 1985 lassen sich, abgesehen von

punktuellen Verschiebungen, bei der Belastung der größeren Fließgewässer nur noch geringe Änderungen erkennen.

Unter "organischen Schadstoffen" versteht man im allgemeinen naturfremde, synthetisch hergestellte organische Stoffe, die toxikologisch bedenklich sind. Besonders bedenklich sind biologisch nicht oder nur sehr schwer abbaubare Stoffe und solche, die sich in den aquatischen Organismen sowie Schwebstoffen und Sedimenten stark anreichern. Zahlreiche organische Stoffe werden wegen ihrer Giftigkeit, Langlebigkeit, Anreicherungsfähigkeit oder krebserzeugenden, fruchtschädigenden oder erbgutverändernden Wirkung als gefährlich eingestuft.

Naturfremde organische Schadstoffe

Organische Schadstoffe in der Wasserphase

In den Fließgewässern des Landes werden organische Schadstoffe seit Beginn der 80er Jahre kontrolliert. Derzeit werden insgesamt rund 150 organische Schadstoffe und die Summenkenngröße AOX regelmäßig in den Hauptgewässern Rhein, Neckar und Donau untersucht. Die Mehrzahl der analysierten Stoffe weist niedrige Konzentrationen unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze auf. In gut messbaren Konzentrationen ist nur noch ein geringer Teil der untersuchten Stoffe häufig oder regelmäßig anzutreffen. Hierbei handelt es sich insbesondere um die ubiquitär verbreiteten Polyzyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK), einige leichtflüchtige chlorierte Verbindungen, synthetische Komplexbildner, einige Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und die Summenkenngröße AOX.

Nachfolgend sind die Ergebnisse der bedeutsamen organischen Kenngrößen bzw. Stoffgruppen dargestellt.

AOX ist eine Kenngröße zur summarischen Erfassung der Belastung mit organischen Halogenverbindungen. Die AOX-Belastung von Rhein und Donau ist seit Ende der 80er Jahre von einem hohen (Donau) bzw. erhöhten (Rhein)

Hauptbelastungsquellen für organische Halogenverbindungen, vornehmlich Chlor-, sind die chemische Industrie und bis Anfang der 90er Jahre die Zellstoffproduktion. Weitere Einträge gelangen infolge Anwendung chlorierter organischer Verbindungen (z.B. Lösungsmittel) in Gewerbe, Handwerk (z.B. Metallentfettung, Chemische Reinigung) und im Haushalt über kommunale Abwässer in die Gewässer. Viele organische Halogenverbindungen sind aufgrund ihrer Toxizität, Langlebigkeit und ihres Anreicherungsvermögens in Biota und Sediment bedenklich.

auf ein nunmehr mäßig erhöhtes Konzentrationsniveau zurückgegangen (Abb. 40). Diese Entwicklung geht auf weitergehende Abwasserreinigungsmaßnahmen und Umstellungen im Produktionsprozess der chemischen Industrie, vor allem auf die Umstellung des Bleichverfahrens von Chlor auf Sauerstoff bei der Zellstoffindustrie, zurück. Im Neckar wird seit Beginn der Messungen ein weitgehend konstantes, mäßig erhöhtes Konzentrationsniveau vorgefunden; Großmittenen sind im Einzugsgebiet nicht vertreten.

Die Gehalte von weiteren 13 leichtflüchtigen Verbindungen und 44 mittel- bis schwerflüchtigen Verbindungen werden regelmäßig untersucht. Leichtflüchtige Verbindungen, deren akute Toxizität in der Regel gering ist, werden beispielsweise als Lösungsmittel, Entfettungsmittel und zur Textilreinigung vielfältig in Industrie und Gewerbe, teilweise auch im Haushalt, eingesetzt. Mittel- bis schwerflüchtige Verbindungen dagegen werden vorwiegend in der chemischen Industrie als wichtige Ausgangsstoffe bzw. Zwischenprodukte in organischen Synthesen verwendet, z.B. bei der Herstellung von Arzneimitteln, Schädlingsbekämpfungs- und Pflanzenschutzmitteln

Bei den leichtflüchtigen Verbindungen und Industriechemikalien ist das Konzentrationsniveau insgesamt niedrig, und die analytischen Bestimmungsgrenzen werden nur selten überschritten, z.B. durch die leichtflüchtige Verbindung Tetrachlorethen (Per) in vergleichsweise geringen Konzentrationen. Mit Ausnahme der durch eine Altlast beeinflussten Messstelle Schwenningen am Neckar werden die einschlägigen Zielvorgaben der LAWA eingehalten.

Aufgrund von Einleitungen der am Oberrhein ansässigen Industrie finden sich mittel- und schwerflüchtige Verbindungen überwiegend im Rhein. Insbesondere 1,2-Dichlorbenzol, 2-Chlornitrobenzol und 4-Nitrotoluol können regelmäßig nachgewiesen werden; die LAWA-Zielvorgaben werden jedoch eingehalten. Im Neckar finden sich von den schwerflüchtigen Verbindungen nahezu

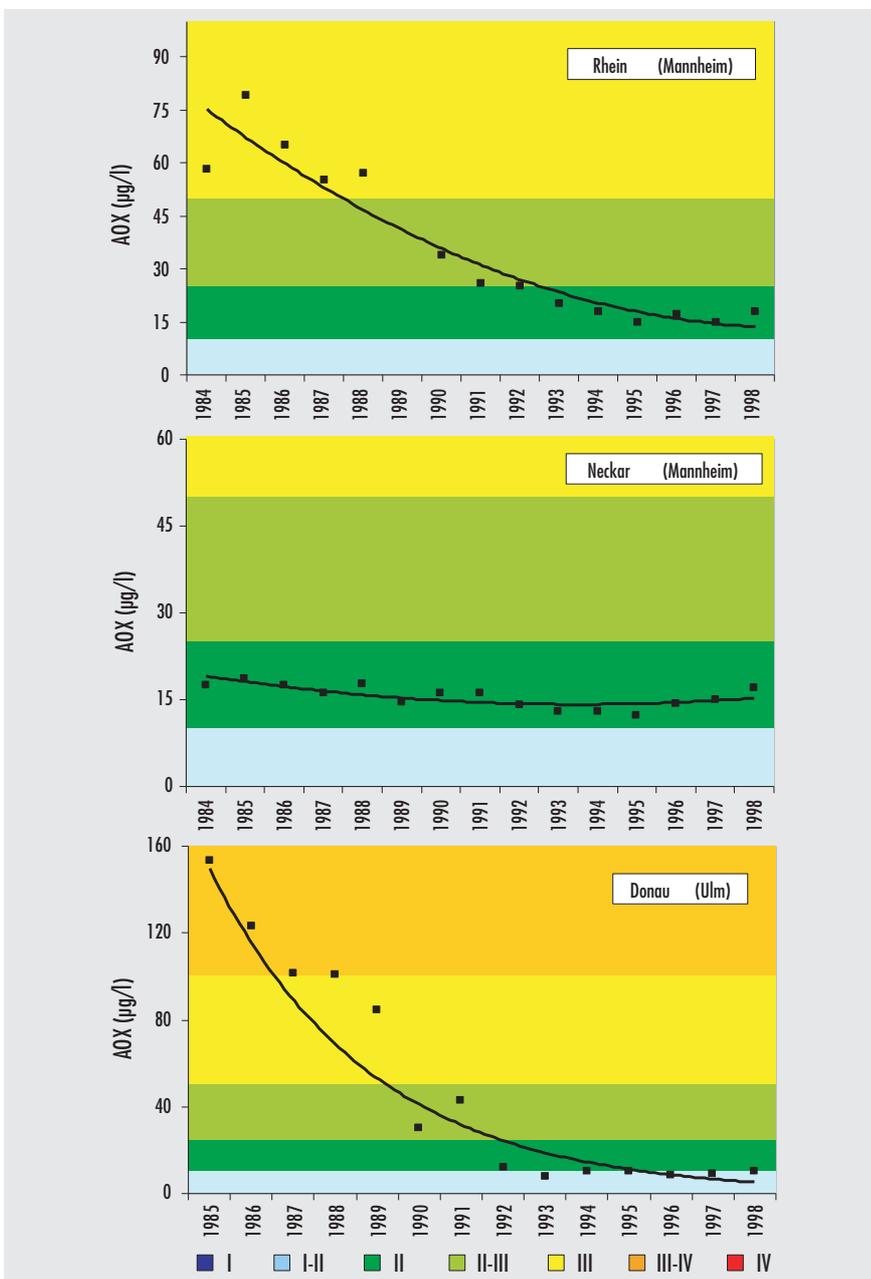


Abb. 40 Entwicklung der AOX-Konzentrationen in Rhein, Neckar und Donau (Quelle: LfU)

chemische Güteklasse		AOX (µg/l) (90-Perzentil)
I	unbelastet	„0“
I-II	sehr gering belastet	0 - 10
II	mäßig belastet	10 - 25
II-III	deutlich belastet	25 - 50
III	erhöht belastet	50 - 100
III-IV	hoch belastet	100 - 200
IV	sehr hoch belastet	> 200

Tab. 12 Klassifikation zu Abb. 40

Fließgewässer

ausschließlich 1,4-Dichlorbenzol, das zur Geruchsübertönung in WC-Steinen eingesetzt wird und mit dem häuslichen Abwasser in die Gewässer gelangt, und öfters 2,4- und 2,6-Dimethylanilin. Hierbei erreichten die Dimethylaniline im Neckar ab der Kontrollstelle Kochendorf unterhalb des Ballungsraumes Heilbronn stark erhöhte Gehalte bis 1 µg/l. Ein Emittent konnte bislang nicht ermittelt werden.

EDTA (Ethyldinitrilotetraacetat) und NTA (Nitrilotriacetat) sind synthetische Komplexbildner, die im gewerblichen, industriellen und häuslichen Bereich vielfältig eingesetzt werden. Ihr Einsatz reicht von der Entfernung störender Metallionen in der Metallverarbeitung, als Zusatz zur Wasserenthärtung in Wasch- und Reinigungsmitteln bis hin zu Anwendungen in der Photoindustrie und im Altpapierrecycling. EDTA ist biologisch nur schwer abbaubar, NTA wird durch die Abwasserbehandlung wirksam abgebaut. Die synthetischen Komplexbildner sind nur gering akut toxisch. Erhöhte Gehalte sind jedoch für die Wasserwerke problematisch, da diese Verbindungen bei der Wasseraufbereitung nur schwer entfernt werden können. Ferner gibt es Anzeichen, dass erhöhte Gehalte von Komplexbildnern die Eutrophierung der

Zur Reduktion der bis Ende der 80er Jahre hohen Gehalte an EDTA in den Oberflächengewässern haben die Wasserbehörden und die Industrie vereinbart, die Belastung im Zeitraum von 1991 bis 1996 um 50 % zu senken. Als Ergebnis der freiwilligen Selbstverpflichtung der Industrie wurde im Neckar das Ziel gegenüber Anfang der 90er Jahre weitgehend erreicht. In Rhein und Donau beträgt die Reduktion etwa 40 % (Abb. 41). Parallel hierzu nahmen in Rhein und Donau auch die NTA-Frachten ab, im Neckar stagnieren sie auf vergleichsweise niedrigem Niveau. Vorsorglich werden die Gewässer auf weitere, biologisch schlecht abbaubare Komplexbildner untersucht, um den möglicherweise stattfindenden, unerwünschten Ersatz

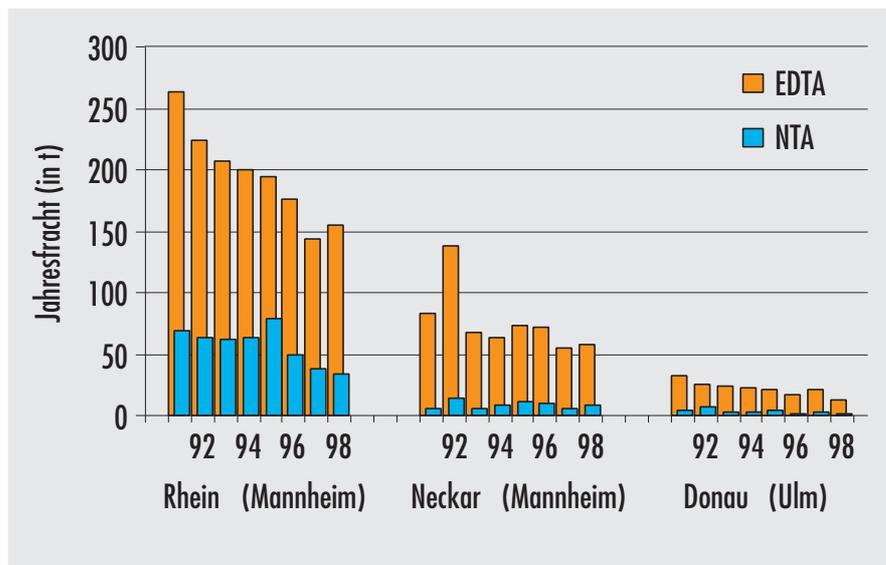


Abb. 41 Jahresfrachten an Komplexbildnern in Rhein, Neckar und Donau (Quelle: LfU)

	Rhein (Karlsruhe)		Neckar (Mannheim)		Donau (Ulm)	
	50%	90%	50%	90%	50%	90%
Atrazin	0,02	0,08	0,02	0,03	0,02	0,03
Desethylatrazin	0,01	0,02	< 0,01	0,02	0,02	0,03
Diuron	< 0,05	0,07	< 0,05	0,09	< 0,05	< 0,05
Isoproturon	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,5	< 0,05	< 0,05
Simazin	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01
Terbutylazin	< 0,01	0,02	< 0,01	0,02	< 0,01	0,01

Tab. 13 PBSM-Funde in Rhein, Neckar und Donau (Perzentilwerte 1998, Angaben in µg/l) (Quelle: LfU)

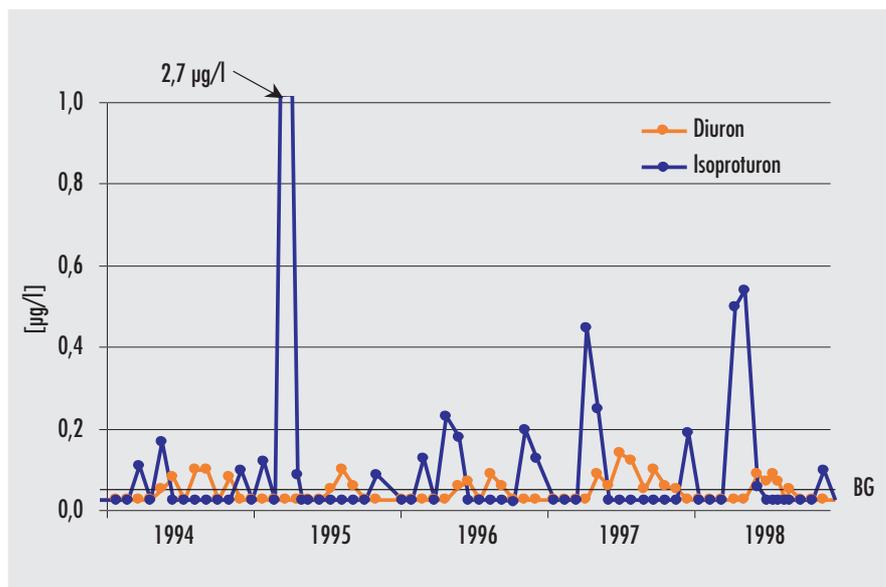


Abb. 42 Gehalte an Isoproturon und Diuron im Neckar bei Mannheim (Quelle: LfU)

von EDTA durch andere, ebenfalls biologisch schlecht abbaubare, Verbindungen zu kontrollieren.

Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel (PBSM) haben entsprechend ihrem Anwendungszweck eine hohe ökotoxikologische Wirkung. Sie gelangen vorwiegend infolge ihrer Anwendung in die Gewässer. Am Rhein können sie zudem über Produktionsabwässer der am Oberrhein ansässigen Hersteller eingetragen werden.

Bei den Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln (PBSM) in Rhein, Neckar und Donau werden 56 verschiedene Wirkstoffe untersucht. Davon werden nur wenige regelmäßig oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenzen nachgewiesen. Die mengenmäßig bedeutsamen PBSM-Funde sind in Tab.13 aufgeführt. Mit Ausnahme der Herbizide Isoproturon und Diuron sind die für die Bewertung maßgebenden 90-Perzentile der PBSM in den großen Gewässern in der Regel nur gering bis mäßig erhöht; die LAWA-Zielvorgaben für Trinkwasser (0,1 µg/l) bzw. zum Schutz der aquatischen Lebensgemeinschaft werden eingehalten.

Isoproturon wird im Neckar weiterhin während der Anwendungszeit in stark erhöhten Konzentrationen nachgewiesen; die Zielvorgabe zum Schutz der aquatischen Lebensgemeinschaft von 0,3 µg/l wird zeitweise überschritten (Abb. 42). Dagegen hat sich in der Donau die Belastungssituation mit Isoproturon merklich verbessert. Isoproturon wird in Getreidekulturen als Herbizid eingesetzt.

Das Totalherbizid *Diuron* wurde 1998 in viel geringeren Konzentrationen im Neckar und Rhein beobachtet. Diuron wird vorwiegend zur Unkrautbekämpfung in Siedlungsgebieten und im Weinbau eingesetzt. Die Zielvorgabe von 0,05 µg/l zum Schutz der aquatischen Lebensgemeinschaft wurde dennoch geringfügig überschritten.

Bei *Atrazin* und dessen Abbauprodukt *Desethylatrazin* sind die Gehalte in Neckar und Donau aufgrund des in Deutschland seit 1991 gültigen Anwendungsverbotes heute minimal; sie dürften im Wesentlichen auf den Zustrom des durch jahrelange Anwendung belasteten Grundwassers zurückzuführen sein. Hingegen werden im Oberrhein weiterhin im Anwendungszeitraum erhöhte Konzentrationen gemessen. Vereinzelt wird hierdurch die Zielvorgabe zum Schutz des Trinkwassers von 0,1 µg/l überschritten. Höchstwahrscheinlich liegt dies an der weiteren Verwendung dieses Wirkstoffs in den Nachbarländern, in denen kein Anwendungsverbot besteht. Die Produktion von Atrazin wurde am Hochrhein bereits 1987 eingestellt.

Durch Untersuchungen bei Niedrigwasser in Neckar, Donau und in der besonders abwasserbelasteten Körsch wurde 1998 ein Überblick über Auftreten und Konzentrationsniveau von *Arzneimittelwirkstoffen und hormonell wirkenden (endokrinen) Stoffen* gewonnen. Die Untersuchungen ergaben, dass von den insgesamt 12 untersuchten Arzneimitteln

Arzneimittel werden in Deutschland in beträchtlichen Mengen verabreicht. Einen Teil der eingenommenen Mittel scheidet der Patient unverändert oder metabolisiert wieder aus. Über die Kläranlagen werden viele dieser Stoffe kaum oder ungenügend zurückgehalten und gelangen dann mit dem geklärten Abwasser in die Gewässer. Darüber hinaus diskutiert die Fachwelt verstärkt über synthetische und natürliche Hormone sowie über bestimmte Umweltchemikalien, die in Organismen "verweiblichende" bzw. "vermännlichende" Effekte hervorrufen können. Über die Wirkung der Arzneimittel und der hormonell wirksamen Substanzen ist noch zu wenig bekannt.

sieben in quantifizierbaren Konzentrationen gefunden werden konnten. Das Konzentrationsniveau wird im Wesentlichen durch den Abwasseranteil des Gewässers bestimmt (Tab. 14).

Synthetische bzw. endogene Östrogene waren bei analytischen Bestimmungsgrenzen von 5-10 ng/l nicht feststellbar. Dagegen treten die natürlichen Phytoöstrogene Daidzein und β -Sitosterol in

Wirkstoff		Körsch Friedrichsmühle (ca. 100%)	Neckar Kochendorf (ca. 40%)	Neckar Mannheim (ca. 35%)	Donau Ulm- Wiblingen (ca. 20%)
Arzneimittel	Carbamazepin	320-780	nn - 180	nn - 160	nn - 36
	Indometacin	nn - 100	nn	nn	nn
	Diclofenac	620 -2000	65 - 240	32 - 160	nn - 160
	Ibuprofen	nn - 70	nn - 28	nn	nn
	Gemfibrozil	nn - 100	nn - 72	nn	nn
	Bezafibrat	450 - 620	54 - 230	64 - 220	nn - 28
	Clofibrinsäure	nn - 370	nn - 60	nn - 91	nn
hormonell wirksame Substanzen	Daidzein	nn - 1300	nn - 400	nn	nn - 400
	β -Sitosterol	nn - 2100	nn - 2900	nn - 1900	nn - 2400
	4-Nonylphenol (Isomergemisch)	nn	nn	nn	nn - 520
	Bisphenol A	nn	nn - 99	nn	nn

nn = nicht nachweisbar

Tab. 14 Konzentrationsbereiche nachgewiesener Arzneimittel und hormonell wirksamer Substanzen (in ng/l). Bei den untersuchten Messstellen ist in Klammern der ungefähre Abwasseranteil bei mittlerem Niedrigwasser angegeben (in %) (Quelle: LfU)

allen Gewässern in deutlich messbaren Konzentrationen auf. Von den einschlägig diskutierten Industriechemikalien wurden in der Donau das Isomerenmisch 4-Nonylphenol, mögliche Abbauprodukte von in Industriereinigern enthaltenen Verbindungen und im Neckar Bisphenol A, das in großen Mengen als Antioxidans von Weichmachern eingesetzt wird, in wenigen Einzelbefunden nachgewiesen.

Organische Schadstoffe in Schwebstoffen, Sedimenten und Fischen

Die LfU untersucht seit 1993 Schwebstoffproben an ausgewählten Messstellen von Rhein, Neckar und Donau auf akkumulierbare organische Schadstoffe. Weiterhin liegen neuere Daten zur Belastung von Rheinfischen mit chlororganischen Verbindungen vor, die die Chemische Landesuntersuchungsanstalt Freiburg 1998 erhoben hat (5). Für PCB und PAK in Schwebstoffen und Sedimenten hat die LAWA keine Zielvorgaben abgeleitet. Daher werden zur Bewertung ersatzweise die im Auftrag der Hansestadt Bremen vom Institut für Umweltchemie Bremen GmbH für das Schutzgut aquatische Lebensgemeinschaft abgeleiteten Orientierungswerte herangezogen (6).

Die PCB-Gehalte der Schwebstoffe in den großen Fließgewässern sind gegenüber

Viele organische Schadstoffe reichern sich aufgrund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften in Schwebstoffen, Sedimenten und Biota (z.B. Fischen) an. Dagegen sind sie in der Wasserphase kaum nachweisbar. Insbesondere die Polychlorierten Biphenyle (PCB) und Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) werden ubiquitär vorgefunden. PCB, früher in großen Mengen in Transformatoren, Kondensatoren und als Hydraulikflüssigkeiten eingesetzt, sind sehr persistent und reichern sich in der Nahrungskette stark an, weshalb deren Herstellung und Verwendung verboten wurden. Dagegen entstehen die PAK überwiegend bei der unvollständigen

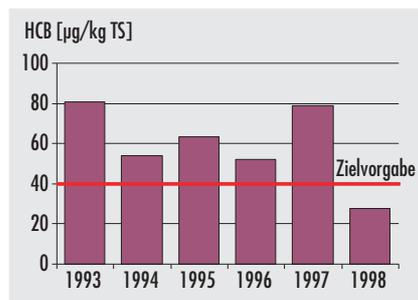


Abb. 43 HCB-Gehalte in Schwebstoffen des Rheins bei Iffezheim (90-Perzentile) (Quelle: LfU)

der ubiquitären Hintergrundbelastung deutlich erhöht. Bei Untersuchungen 1997 bis 1998 wird der anzustrebende Orientierungswert von 30 µg/kg im Rhein um 17 %, in der Donau um 33 % und im Neckar sogar um 72 % überschritten. In den untersuchten Rheinfischen konnten 1998, im Gegensatz zu früher, bei den PCB keine Höchstmengensüberschreitungen festgestellt werden (5).

Die PAK-Belastung der Rheinschwebstoffe ist vergleichsweise gering. Dagegen sind die Schwebstoffe in Neckar und Donau deutlich mit PAK belastet: Die Orientierungswerte für Benzo(a)pyren werden im Neckar in rund 50 % und in der Donau in 75 % der Untersuchungen, die Orientierungswerte für Fluoranthren sogar überwiegend (Neckar ca. 85 %, Donau 100 %) überschritten.

In Schwebstoffen und Sedimenten des Rheins ist Hexachlorbenzol (HCB) stark angereichert. In den vergangenen Jahren war jedoch ein leichter Rückgang der Konzentrationen zu beobachten, wobei die LAWA-Zielvorgabe von 40 µg/kg bis 1997 überschritten wurde (Abb. 43). HCB gelangte bis Ende der 70er Jahre in breitem Umfang vorwiegend mit den Abwassereinleitungen eines Chemiebetriebes im Raum Rheinfelden in den Rhein. Aufgrund seiner Langlebigkeit ist Hexachlorbenzol in den Altsedimenten der Stauhaltungen am Oberrhein immer noch in hohen Konzentrationen angereichert. Untersuchungen der oben anstehenden Sedimentschichten ergaben stellenweise HCB-Konzentrationen über 100 µg/kg. Die heutigen Maxima sind

jedoch um ein Vielfaches niedriger als vor 10 Jahren. Dennoch werden auch heute noch in Fischen (fast ausschließlich bei Aalen) Höchstmengensüberschreitungen durch HCB festgestellt (5).

Sporadisch werden neben den oben genannten Verbindungen weitere Substanzen wie das Insektizid Lindan, DDT-Verbindungen, Octachlorstyrol und Moschusxylole in den Schwebstoffen und Sedimenten nachgewiesen; die Gehalte sind in der Regel niedrig und liegen im Bereich der analytischen Bestimmungsgrenze. Auch diese Verbindungen werden in Rheinfischen regelmäßig beobachtet, Höchstmengensüberschreitungen konnten jedoch nicht mehr festgestellt werden (5).

Hygienisch-bakteriologische Beschaffenheit

An den großen Fließgewässern untersucht die LfU regelmäßig mikrobiologisch Keimzahl und Fäkalindikatorbakterien. Nach dem siebenstufigen Klassifikationsvorschlag von Popp (7) ist der Rhein oberhalb Karlsruhe hygienisch-bakteriologisch gesehen kritisch belastet (Belastungsstufe 4), unterhalb gar stark belastet (Belastungsstufe 5). Auch der gesamte gestaute Neckarabschnitt und die Donau bei Ulm sind als stark belastet (Belastungsstufe 5) zu bewerten.

Entsprechend zeigen auch die Kontrollen von Oberflächengewässern durch das Landesgesundheitsamt, dass Flussbadestellen häufig nicht den Anforderungen der EU-Richtlinie Badegewässer genügen und allgemein als Badeplatz nicht geeignet sind. Im Jahr 1998 waren 10 von 24 Proben aus Flussbadestellen zu beanstanden (8).

Hygienisch-bakteriologisch beeinträchtigt werden die Fließgewässer in erster Linie durch die Restbelastung häuslicher Abwässer aus Kläranlagen. Die im Zuge der heute angewandten Abwassertechnologie beträchtliche Reduktion der Keimbelastung - je nach Verfahren bis zu 90 % - reicht jedoch in den meisten Fällen nicht, um in den Gewässern eine "Badewasserqualität" zu erreichen.

Die "biologische Gewässergüte" nach LAWA lässt vor allem Beeinträchtigungen von Fließgewässern durch biologisch leicht abbaubare Stoffe und hieraus sich ergebende Defizite des Sauerstoffhaushaltes erkennen. Untersuchungen zur Gewässergüte führt Baden-Württemberg in etwa 5-jährigem Abstand seit 1968 flächendeckend durch; die Ergebnisse werden klassiert in Güteklassen dargestellt. Bei der Überwachung der Fließgewässer diente die biologische Gewässergüte bis in die 80er Jahre als Leitparameter für die Beschaffenheit schlechthin und wurde als Hauptinstrument herangezogen, um Handlungsbedarf und Sanierungserfolge zu erkennen. Im Blick auf kommende EU-Anforderungen zur Ausweisung der ökologischen Qualität erfasst die biologische Gewässergüte zwar einen wichtigen Teilaspekt. Doch müssen zukünftig weitere Merkmale wie Naturraumtypie, Artenvielfalt und Arteneigenschaften mit herangezogen werden, um Fließgewässer zu bewerten und klassifizieren. Ein hierfür geeignetes Verfahren ist auf Bundesebene erst noch zu entwickeln.

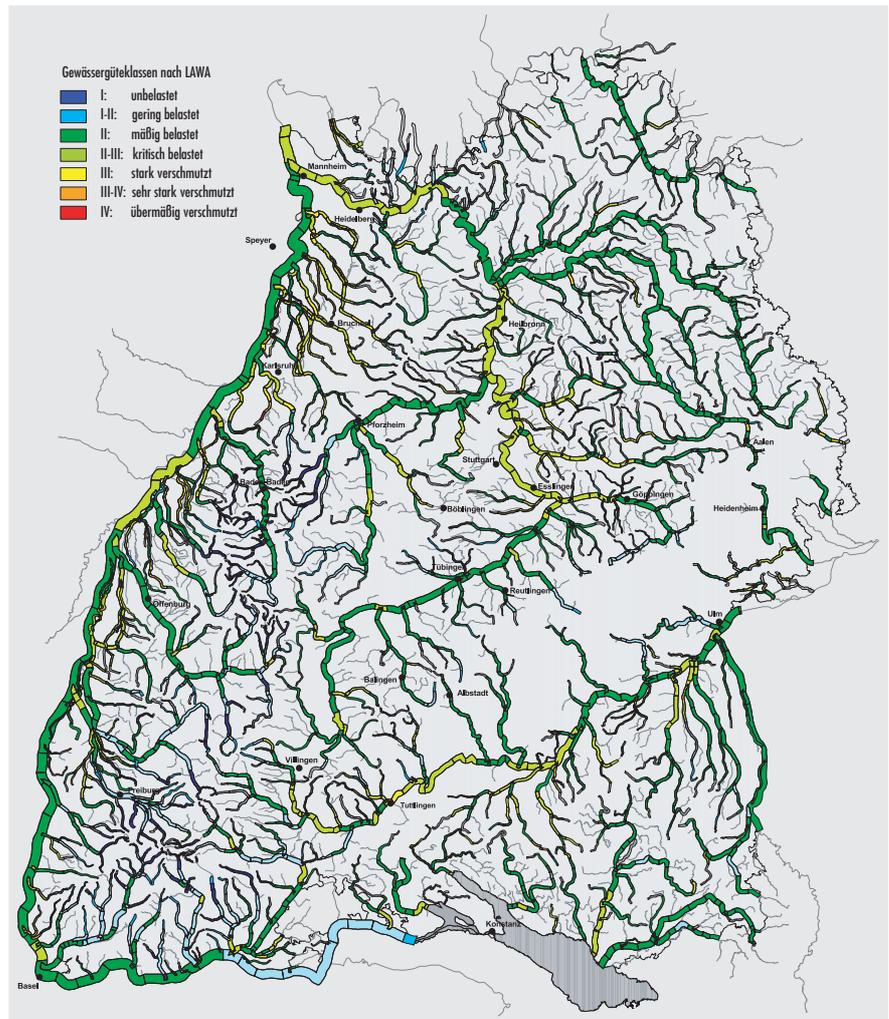


Abb. 44 Biologische Gewässergütekarte des Landes Baden-Württemberg (Quelle: LfU; Stand 1998)

Biologisch-ökologische Beschaffenheit

Biologische Gewässergüte

Der biologische Gütezustand nach LAWA (Stand 1998) im Vergleich zur vorangegangenen Kartierung 1991 zeigt, dass sich die Gewässergüte weiter verbessert hat (Abb. 44). Insgesamt gesehen befinden sich etwa drei Viertel der abwasserbelasteten Flussstrecken (76 %) in der gewässerschutzpolitisch gewünschten Güteklasse II (mäßig belastet) und besser (im Jahr 1991 waren es 71 %). Dies ist insbesondere auf kommunale Maßnahmen wie auf die weitergehende Reinigung der Abwässer der größeren Kläranlagen (Denitrifikation und Phosphatfällung) zurückzuführen. Auch der Ausbau der Regenwasserbehandlung hat die Stoßbelastungen auf die Flüsse bei starkem Regen nachhaltig abgemildert und verbessert.

Artenvielfalt

In den Fließgewässern findet man rund 700 verschiedene Makrozoobenthon-Arten (kleine wirbellose Gewässertiere). Artenzahl bzw. Artenvielfalt der Kleintiere gibt Auskunft über Belastung und Naturnähe des Ökosystems. Wie die Gewässergüte ist auch die Artenvielfalt ein Anzeichen für die Verbesserung des ökologischen Zustandes. Allerdings behindert vielerorts die infolge technischer Maßnahmen veränderte Flussmorphologie die Wiederansiedlung flusswassertypischer anspruchsvoller Arten und die Entwicklung einer Artenvielfalt.

Der *Hochrhein* und insbesondere der *Oberrhein* haben seit den 70er Jahren (Zeitraum der stärksten Belastung der Fließgewässer) eine bemerkenswerte Erhöhung der Artenvielfalt von etwa 50 auf etwa 150 Arten erfahren (Abb. 45).

Dies entspricht wieder ungefähr der Artenzahl im Zustand vor der Industrialisierung um 1900; allerdings handelt es sich dabei mehrheitlich nicht mehr um das gleiche Arteninventar, sondern vielfach um "Allerweltsarten" und Neueinwanderer; empfindliche Arten fehlen noch.

Auch der *Neckar*, der durch die Kanalisierung und den Bau von 27 Stauhaltungen seinen Fließgewässercharakter nahezu verloren hat, beherbergt auf der schiffbaren Strecke wieder etwa 120 Arten; noch vor etwa 25 Jahren waren es streckenweise weniger als 25.

An der Donau waren Flussausbau und Industrialisierung geringer als an Rhein und Neckar. Dies spiegelt sich auch an einem zumindest streckenweise wesentlich besseren Erhalt des ursprünglichen ökologischen Zustandes wider. In Baden-

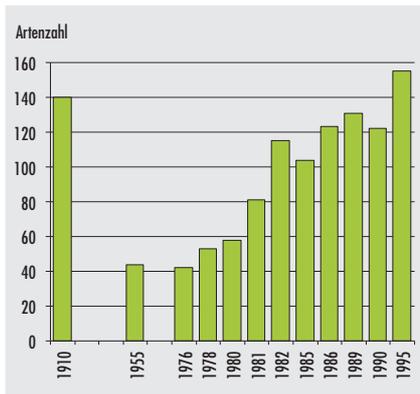


Abb. 45 Entwicklung der Artenzahl (Vielfalt) der Kleinlebewesen (Makrozoobenthon) im Oberrhein (Quelle: LfU)

Württembergs Donaustrecke werden deshalb etwa 260 Arten angetroffen.

Lachs 2000

Im Rahmen des Programms "Lachs 2000" der Internationalen Kommission zum Schutze des Rheins (IKSR) untersuchen Wissenschaftler den Rhein vom Bodensee bis zur Nordsee zur Erfolgskontrolle auf seine aquatische Lebensgemeinschaft, insbesondere auf verschwundene und ausgestorbene Arten hin. So entdeckten sie die Großlibelle *Gomphus flavipes* aus der Familie der Flussjungferen 1999 im nördlichen Oberrhein wieder vereinzelt. Aufgrund der erreichten Verbesserungen werden auch Langdistanzwanderfische wie der Lachs seit Jahren wieder regelmäßig und vereinzelt auch das Meerneunauge im Oberrhein beobachtet. Die Staustufe Iffezheim wurde mit funktionstüchtigen Fischpässen ausgerüstet, um dem Lachs den Aufstieg in einige seiner ehemaligen Laichgewässer wieder zu ermöglichen.

Fischsterben

Die Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) hat alle bei den Regierungspräsidien verfügbaren Daten über Fischsterben 1988 bis 1998 ausgewertet. Von insgesamt 1287 erfassten Ereignissen fanden 922 in fließ- und 365 in stehenden Gewässern (Seen, Fischteichen und Fischzuchtanlagen) statt. (Die tatsächliche Anzahl wird höher geschätzt, da nicht jedes Fischster-

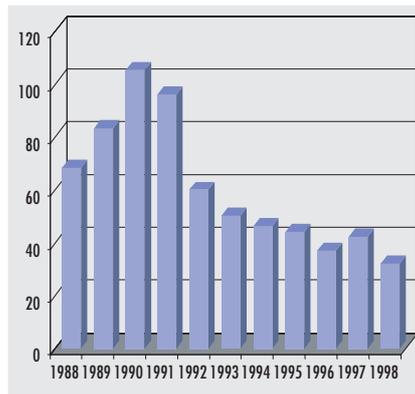


Abb. 46 Anzahl der erfassten Fischsterben in Fließgewässern von Baden-Württemberg (Quelle: LfU)

ben angezeigt wird.) Abb. 46 und 47 zeigen für die 922 Fischsterben in Fließgewässern die zeitliche Entwicklung und die Ursachen auf.

Zeitlich gesehen ist die Gesamtzahl der Fischsterben seit 1990 stark rückläufig. 1998 wurden landesweit noch 32 Fischsterben registriert (Abb. 46).

Die Analyse der Ursachen ergab, dass Fischsterben am häufigsten auf Einleitungen aus Industrie/Gewerbe, kommunalen Kläranlagen und der Landwirtschaft entfallen (Abb. 47). 25 % der Ereignisse konnten nicht eindeutig zugeordnet werden (Abb. 47).

Zur Analyse der Ursachen von Fischsterben wurde unterschieden zwischen Einleitungen aus

- kommunalen Kläranlagen
- kommunalen Regenentlastungsbauwerken
- sonstigen kommunalen Einrichtungen
- Industrie und Gewerbe
- Landwirtschaft.

Hinzu kommen die vier weiteren Ursachenkategorien

- Bewirtschaftungsfehler (z.B. Trockenfallen von Gewässerabschnitten durch Wasserentnahmen oder Aufstauungen)
- Fischkrankheiten
- Sonstige Ursachen
- Unbekannt.

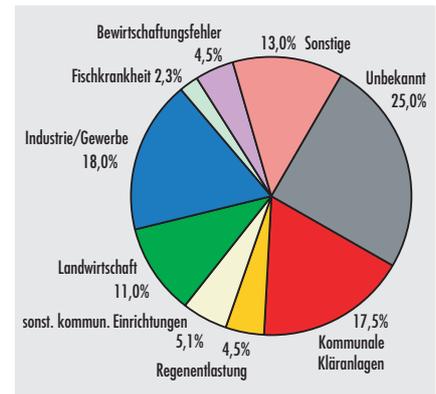


Abb. 47 Ursachen der erfassten Fischsterben in Fließgewässern von Baden-Württemberg 1988-1998 (Quelle: LfU)

Baggerseen

Im baden-württembergischen Teil der Oberrheinebene sind im Zuge der Industrialisierung rund 340 Baggerseen entstanden, die meisten im Ortenaukreis und im Landkreis Karlsruhe. Die größten Seeflächen, mit durchschnittlich 20 Hektar, befinden sich in der Region "Mittlerer Oberrhein" mit Baden-Baden sowie den Landkreisen Rastatt und Karlsruhe. Da die "Mächtigkeit" der abbaubaren Kieslagerstätten am Oberrhein einem Nord-Süd-Gefälle folgt, liegen tiefe Baggerseen, bis zu 80 m, eher in den südlichen Landesteilen, so etwa in der Markgräfler Rheinebene.

Baggerseen können als vom Grundwasser durchströmte künstlich geschaffene Gewässer bezeichnet werden. Im Gegensatz zu natürlichen Seen haben sie nur in Ausnahmefällen einen oberirdischen Zu- oder Abfluss und sind in aller Regel durch steil abfallende Ufer und große Seetiefen charakterisiert. Aufgrund zunehmender Güteprobleme bei bestehenden Baggerseen und zahlreichen offenen Fragen im Zusammenhang mit Auskiesungsvorhaben hat die LfU im Jahr 1994 Baggerseen in ihr Messprogramm aufgenommen.

In der Oberrheinebene wurden insgesamt 337 Baggerseen aufgenommen und katalogisiert. Um eine schnelle Übersicht über den Zustand der Baggerseen erheben zu können, wurde ein Verfahren

angewendet, das lediglich zwei Untersuchungen im Jahr vorsieht:

- im Frühjahr, in der Zeit der Volldurchmischung, um das Nährstoffpotenzial zu erfassen,
- im Sommer, gegen Ende der Stagnationsphase, um die Biomasse und die Sauerstoffverhältnisse zu erfassen.

Seither sind 331 Baggerseen mindestens einmal einem limnologischen Untersuchungsprogramm unterzogen worden, das neben der chemischen Wasseranalytik auch biologische Bestimmungen, Tiefenprofilmessungen und Sedimentanalysen umfasst. Tab. 15 gibt einen Überblick über Schwankungsbreite und Mittelwert der in den Sommerbeprobungen erhobenen Kenngrößen aus dem Oberflächenwasser (Epilimnion) und dem Tiefenwasser (Hypolimnion).

Zustand

Die Kriterien für die Bewertung des Zustandes der Baggerseen beruhen auf der Einstufung des Trophiepotenzials (Gesamtphosphor im Frühjahr), der biologischen Produktivität (Chlorophyll a im Sommer) und der Sauerstoffverhältnisse (Sauerstoffdefizit im Sommer). Da es für die spezifischen Verhältnisse in Baggerseen kein passendes System gibt, musste für die Beurteilung der Baggerseen auf Klassifizierungssysteme natürlicher Seen zurückgegriffen werden. Die vorgenommene vierstufige Klassifizierung basiert im Wesentlichen auf dem von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) entwickelten Verfahren zur trophischen Bewertung natürlicher Seen (Tab. 16).

Eine günstige Zustandsbewertung ergibt die Beurteilung des Trophiepotenzials und der biologischen Produktion der Baggerseen (Abb. 48). Beim Nährstoffhaushalt (Gesamtphosphor während der Frühjahrszirkulation) befinden sich etwa 89 % der untersuchten Seen in einem oligo- oder mesotrophen Zustand und weisen ein positives Gütebild auf. 11 % der Seen sind als eutroph oder hypertroph

Parameter	[Einheit]	Epilimnion (Oberfläche)			Hypolimnion (über Grund)		
		Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max
Wassertemperatur	[°C]	13,2	20,4	26,9	4,9	12,8	24,9
Sauerstoff	[mg/l]	2,9	9,8	21,5	0,0	2,5	12,4
pH-Wert	-	7,1	8,2	9,4	5,6	7,5	9,2
Leitfähigkeit	[µS/cm]	162	510	1512	175	595	2049
Sichttiefe	[m]	0,3	2,7	10,0	-	-	-
Chlorophyll a	[µg/l]	0,1	12,1	105,7	-	-	-
Schwefelwasserstoff	[mg/l]	-	-	-	0,0	0,9	16,0
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	[mgN/l]	0,01	0,04	0,85	0,01	1,00	16,97
Nitrit-Stickstoff (NO ₂ -N)	[mgN/l]	0,001	0,012	0,101	0,001	0,016	0,509
Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	[mgN/l]	0,00	0,95	16,95	0,00	0,78	14,50
Phosphat-Phosphor (PO ₄ -P)	[mgP/l]	0,000	0,006	0,295	0,001	0,067	1,500
Gesamt-Phosphor (TP)	[mgP/l]	0,001	0,025	0,208	0,002	0,130	2,017
Sulfat (SO ₄)	[mg/l]	7,3	62,9	386,1	1,6	55,5	351,5
Chlorid (Cl)	[mg/l]	4,2	39,9	199,5	3,3	42,2	596,0
Hydrogencarbonat (HCO ₃)	[mmol/l]	0,8	2,5	6,2	0,9	3,4	9,7
Calcium (Ca)	[mg/l]	15,0	63,2	197,0	15,0	77,8	239,8
Magnesium (Mg)	[mg/l]	2,8	11,9	39,6	2,8	12,4	41,8
Natrium (Na)	[mg/l]	2,6	21,4	70,6	3,1	22,2	160,0
Kalium (K)	[mg/l]	0,4	4,6	59,1	0,8	4,7	59,5
Eisen (Fe)	[mg/l]	0,001	0,053	0,777	0,001	0,963	35,000
Silizium (Si)	[mg/l]	0,1	1,6	9,2	0,2	4,0	14,1
Mangan (Mn)	[mg/l]	0,001	0,028	0,700	0,002	0,849	13,000
Gelöster org. Kohlenstoff (DOC)	[mg/l]	0,3	3,1	20,1	0,3	2,9	24,8
Spektraler Absorptionskoeffizient (SAK ₂₅₄)	[Ext./m]	0,1	3,9	24,6	0,6	6,0	90,0

Tab. 15 Verteilungsstatistik und Kenngrößen aus den Sommerbeprobungen 1994-1998 (n=331) (Quelle: LFU)

Parameter	oligotroph	mesotroph	eutroph	hypertroph	Quelle/Verfahren
Gesamt-Phosphor [µg/l]	<15	15-45	45-150	>150	LAWA (1999)
Chlorophyll a [µg/l]	4	4-12	12-35	>35	MIETZ et al. 1995
Sauerstoffsättigung (Hypolimnion) [%]	>70	30-70	0-30	0	DVWK (213/1988)

Tab. 16 Einteilungsklassen zur Trophieeinstufung und zum Sauerstoffhaushalt von Seen (Quelle: LFU)

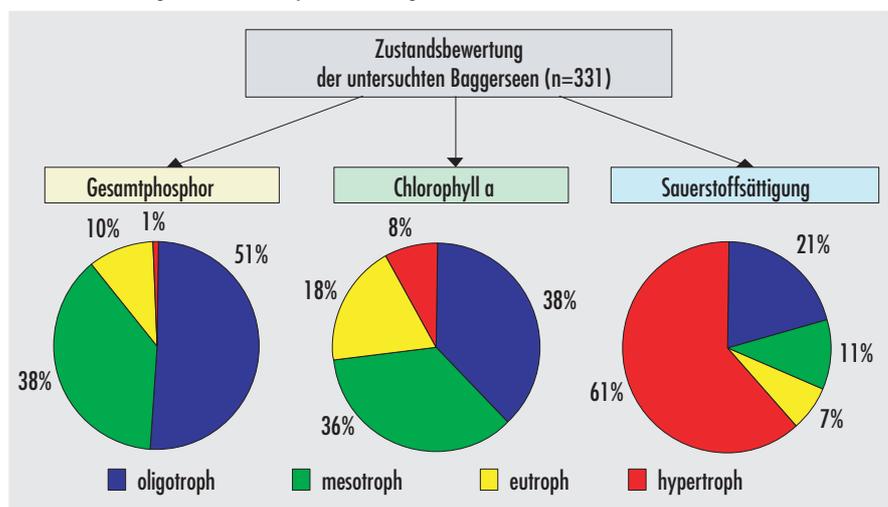


Abb. 48 Klassifizierung der Baggerseen anhand der Kenngrößen Gesamtphosphor, Chlorophyll a und Sauerstoffsättigung (Quelle: LFU)

Die Trophie eines Gewässers beschreibt die Intensität der aufbauenden StoffwechsellLeistungen in einem aquatischen System. In der Regel wird diese sogenannte Primärproduktion von planktischen Algen geleistet. Neben Einflussgrößen wie Lichtintensität und Temperatur ist das Algenwachstum maßgeblich von der Menge und dem Verhältnis der im Wasserkörper vorhandenen Nährstoffe (vor allem Stickstoff- und Phosphorverbindungen) abhängig. Bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts führten grundlegende Erkenntnisse über stehende Gewässer (z.B. Thienemann 1915 und Naumann 1917) zur heute üblichen vierstufigen Definition von Seetypen. Innerhalb einer gleitenden Skala steht auf der einen Seite der meist tiefe, nährstoffarme und gering produktive See mit klarem Wasser (*oligotroph*) und auf der anderen Seite der häufig flache, nährstoffreiche und hoch produktive See mit durch Algen getrübt Wasser (*eutroph*). Stark nährstoffübersättigte Gewässer werden als *polytroph*, extrem nährstoffübersättigte Gewässer als *hypertroph* bezeichnet; die *mesotrophen* Gewässer stellen eine Übergangsstufe zwischen oligo- und eutrophen Seen dar. Seen unterliegen im Laufe der Zeit einer schrittweisen Umwandlung vom nährstoffarmen und gering produktiven zu einem nährstoffreichen und hoch produktiven Gewässertypus. Dieser natürliche, sehr langsam ablaufende Prozess, die sogenannte *Eutrophierung*, wurde in den vergangenen Jahrzehnten durch

einzustufen. Zu ähnlichen Klassengrößen kommt man bei der Betrachtung der Primärproduktion bzw. der *Biomasse* (Chlorophyll a während der Sommerstagnation): 74 % der Seen sind oligo- oder mesotroph und 26 % eutroph oder hypertroph.

Ein deutlich gegensätzliches Bild zeigt die Einstufung anhand der *Sauerstoffsättigung* über dem Seegrund. Hier werden etwa zwei Drittel (68 %) der Seen als eutroph oder hypertroph bewertet. Das Auftreten der zum Teil extrem ausgeprägten sommerlichen Sauerstoffdefizite ist für den Lebensraum See schädlich, da

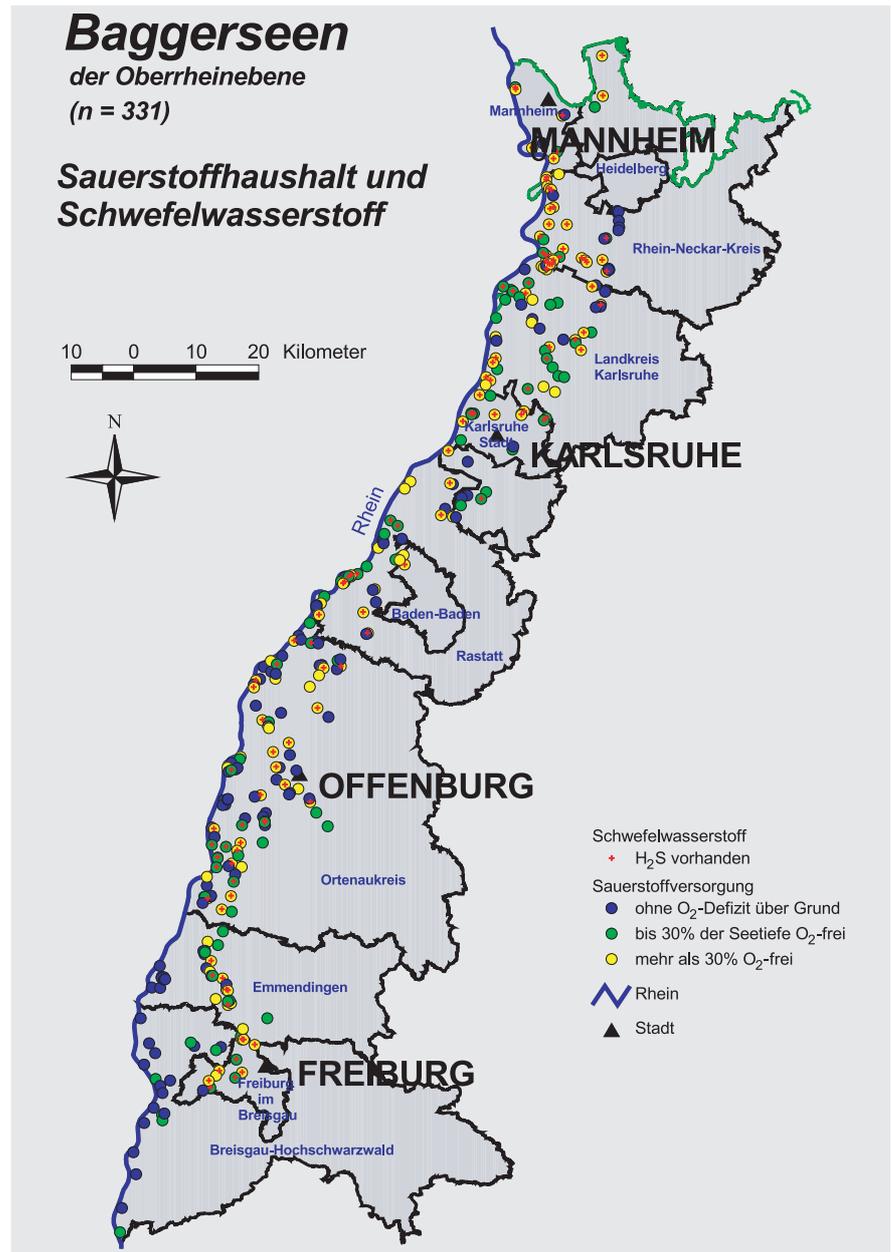


Abb. 49 Sauerstoffversorgung der Baggerseen in der Oberrheinebene (Quelle: LFU)

diese Sauerstoffprobleme beispielsweise häufig mit der Bildung von giftigem Schwefelwasserstoff gekoppelt sind (Abb. 49).

Nach Beendigung der Auskiesung sind Sauerstoffdefizite am häufigsten bei Seen mit Tiefen von 10 bis 30 m festzustellen (Abb. 50). In etwa 80 % der Baggerseen dieser Tiefe war Schwefelwasserstoff nachweisbar. In tieferen Seen (>30 m) stellt sich die Situation etwas günstiger dar; vermutlich weil das vergrößerte Seevolumen ein vergrößertes Sauerstoffreservoir bietet. Flachere Seen (<10 m) haben ebenfalls eine bessere Sauerstoff-

versorgung über Grund, da sauerstoffreiches Oberflächenwasser nach unten geführt werden kann. Allerdings ist die sedimentative Festlegung von Nährstoffen in Flachseen vergleichsweise gering, so dass sich gerade in diesen Seen häufig übermäßig Biomassen entwickeln.

Außerdem wurden im Hinblick auf mögliche Schadstoffanreicherungen *Sedimente* analysiert. Dabei wurden 1994 schwerpunktmäßig die Schwermetallgehalte überprüft, 1996 stand das Vorkommen organischer Schadstoffe im Vordergrund. Die Ergebnisse zeigen, dass die Belastungssituation sowohl bei den

Schwermetallen als auch bei den organischen Schadstoffen vergleichsweise gering ist. So liegen beispielsweise die Schwermetallkonzentrationen von Sedimenten meist weit unterhalb bekannter Bodenrichtwerte. Auch im Vergleich mit anderen Sedimenten (Flüsse und natürliche Seen) sind die vorgefundenen Gehalte niedrig. Besorgnis erregende Konzentrationen finden sich nur in Ausnahmefällen (z.B. bei Altlasten o.ä.).

Von den organischen Schadstoffen wurden am häufigsten die ubiquitär in der Umwelt verbreiteten *Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK)* angetroffen, doch die Konzentrationen liegen weit unterhalb eines gesundheitsgefährdenden Bereiches. Bei den anderen untersuchten Parametern lagen die

Gehalte meist unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze. Bei *Pflanzenschutzmitteln* war bei keinem der 55 untersuchten Sedimente ein Nachweis möglich. *Polychlorierte Biphenyle (PCB)* waren insgesamt nur zweimal in äußerst niedrigen Konzentrationen nachweisbar. Auch die gemessenen Chlorbenzole lagen meist unterhalb der Bestimmungsgrenze. Die Bestimmungsgrenze wurde nur bei 1,2-Dichlorbenzol und 1,4-Dichlorbenzol geringfügig überschritten.

Nutzung

Die zahlreichen Baggerseen gewinnen in einer intensiv genutzten und dicht besiedelten Kulturlandschaft zunehmend an wasserwirtschaftlicher und ökologischer Bedeutung. Einerseits erfüllen sie vielfäl-

tigste Nutzungsansprüche der im Umfeld lebenden Menschen. Andererseits haben sie nicht selten auch ausgeprägte naturräumliche Funktionen als Lebensraum für selten gewordene Tier- und Pflanzenarten.

Schon während der Abbauphase unterliegen die meisten Baggerseen den unterschiedlichsten Nutzungen (Abb. 51). So hat sich, unabhängig vom Auskiesungs-zustand, der Angelsport bereits an etwa 90 % der Baggerseen etabliert. Durchschnittlich jeder zweite Baggersee wird als Badensee genutzt. Wesentlicher Faktor für den Naturschutzwert ist die Art der Folgenutzung und die davon unmittelbar abhängige Gestaltung des Sees: Landschaftssee, Freizeitsee (Baden, Wassersport, Angelsport, Tauchen usw.). Für jeden See sollten die Verantwortlichen bereits in der Planungsphase, also im Vorfeld der Abbaugenehmigung, eine Schwerpunktnutzung definieren. In der Praxis sind solche Nutzungskonzepte allerdings selten, und es kommt zur Vereinigung vieler Nutzungsformen an einem See. Dies kann insbesondere bei konkurrierenden Nutzungsarten Konflikte auslösen. Außerdem besteht bei intensiven Freizeitnutzungen ein erhöhtes Eutrophierungs- und Belastungspotenzial. Beispielsweise führen am Baggersee häufig eine intensive Fischerei und übermäßiger und "wilder" Badebetrieb zu erhöhten Nährstoffeinträgen und zu Trittschäden in der Vegetation an den Ufern.

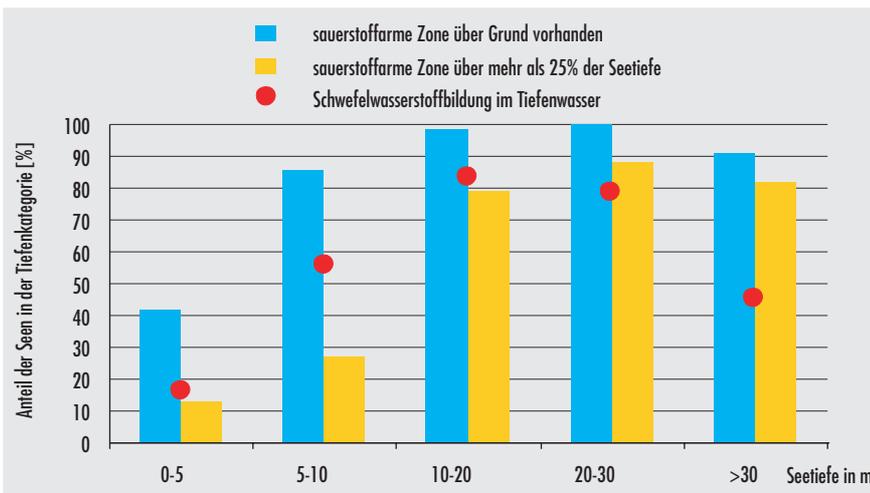


Abb. 50 Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffgehalt bei stillgelegten Baggerseen für diskrete Tiefen-kategorien (n=241) (Quelle: LfU)

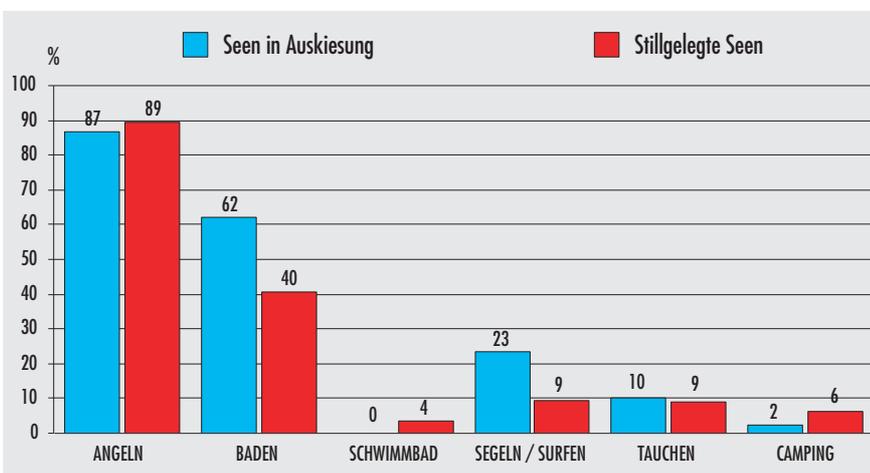


Abb. 51 Hauptnutzungsformen von Baggerseen in der Oberrheinebene (Quelle: LfU)



Abb. 52 Untersuchungsstellen im Bodensee (Quelle: Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB); Stand August 2000)

Bodensee

Auf Anregung der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) begannen 1961 regelmäßige chemische Untersuchungen von Wasserproben aus Vertikalprofilen von zwei Entnahmestellen im zentralen Bodensee-Obersee. Das Programm wurde initiiert, um die Belastung des Sees und die Veränderungen in seinem Gütezustand zu erfassen. Wesentliches Anliegen dabei war, den in den fünfziger Jahren erstmals beobachteten Anstieg der Phosphorkonzentrationen im Freiwasser zu verfolgen, seine Auswirkungen auf den See zu erforschen und Handlungsbedarf aufzuzeigen. Bei den gemessenen chemischen Parametern (etwa 30) stehen daher Pflanzennährstoffe, insbesondere Phosphorverbindungen, im Mittelpunkt. Erhoben werden aber auch Parameter, deren Indikatorfunktion Rückschlüsse auf dominante seeinterne Prozesse und äußere Einflussfaktoren zulässt. Diese Untersuchungen führen einschlägige Institutionen der Schweiz, Österreichs und Deutschlands durch (9).

Die Freiwasseruntersuchungen finden monatlich an zwei zentralen Untersuchungsstationen des Obersees in Seemitte

zwischen Langenargen-Arbon und Fischbach-Uttwil statt (Abb. 52). Die langjährigen *Phosphorkonzentrationen* symbolisieren die zuerst negative und später positive Entwicklung des Seenzustandes (Abb. 53). Bis heute ist der auf weitreichenden Sanierungsmaßnahmen beruhende, vor etwa 20 Jahren einsetzende Rückgang der Gesamtphosphorgehalte ungebrochen. Die beobachtete Abnahme der Phosphorreserven im See von der Oberfläche zum Grund hin wirkt sich

dabei auf die pflanzliche Produktion noch schärfer aus, als der seeweite Rückgang des Gesamtphosphorgehaltes ohnehin vermuten lässt.

Die vorherrschende Stickstoffverbindung im Obersee ist das *Nitrat*. Zwischen 1961 und 1987 verdoppelten sich die Nitratstickstoffwerte im Obersee, seit etwa zehn Jahren liegen sie weitgehend konstant bei knapp 1 mg/l. Wegen der hohen Sauerstoffgehalte ist der Anteil von Nitrit und

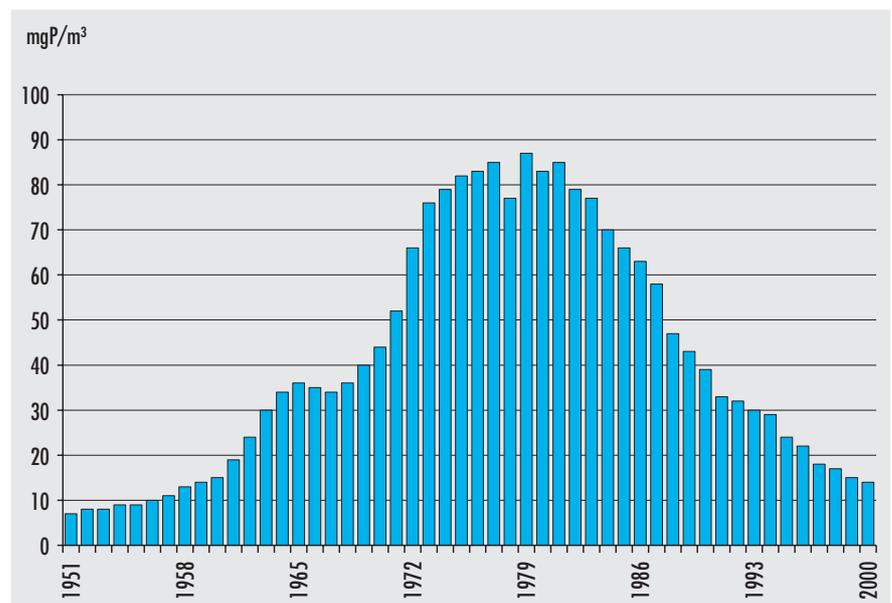


Abb. 53 Gesamt-Phosphor im Bodensee-Obersee während der Durchmischungsphase (Quelle: Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee)

Altlasten

Ziel ist es, bisher nicht bekannte altlastverdächtige Flächen möglichst vollständig zu erfassen, deren Gefährdungspotenzial für Mensch und Umwelt abzuschätzen und den sich daraus ergebenden Handlungsbedarf für jeden Einzelfall zu ermitteln. Die weitere Einzelfallbearbeitung geschieht stufenweise. Dabei werden die aufeinanderfolgenden Erkundungsschritte und eine jeweils dazwischen geschaltete Bewertung eng miteinander verzahnt.

Gemäß den Förderungsrichtlinien Altlasten fördert der Altlastenfonds des Landes flächendeckende Erhebungen auf Antrag zu 100 %. Zuwendungen können Gemeinden, Landkreise, Zweckverbände und Verwaltungsgemeinschaften erhalten. Bislang wurden für flächendeckende Erhebungen insgesamt ca. 100 Mio. DM aus dem Altlastenfonds zur Verfügung gestellt. Mit diesen Erhebungen werden kommunale und private Altlasten erfasst.

Gemäß Handbuch erfolgt die historische Erhebung von Altablagerungen und Altstandorten mittels dreier von einander unabhängiger Verfahren:

- Multitemporale Luftbildauswertung
- Multitemporale Kartenauswertung (topographische Karten, deutsche Grundkarten, Stadtpläne)
- terrestrische historische Erhebung (d.h. Aktenauswertung, "Zu-Fuß-Erhebung")

Die Beschaffung von Unterlagen (Luftbilder) verursacht hohe Fixkosten, eine gemeindegrenzenscharfe Auswertung ist nicht möglich. Daher ist insbesondere bei den flächendeckenden Auswertungsmethoden (Luftbild- und Kartenauswertung) nur die Bearbeitung möglichst großer zusammenhängender Gebiete wirtschaftlich.

Unter Einbeziehung aller drei Erhebungsmethoden hat sich auf der Ebene der Stadt- und Landkreise folgende Vorgehensweise bewährt:

- Erfassung der Flächen
- Überprüfung der Relevanz

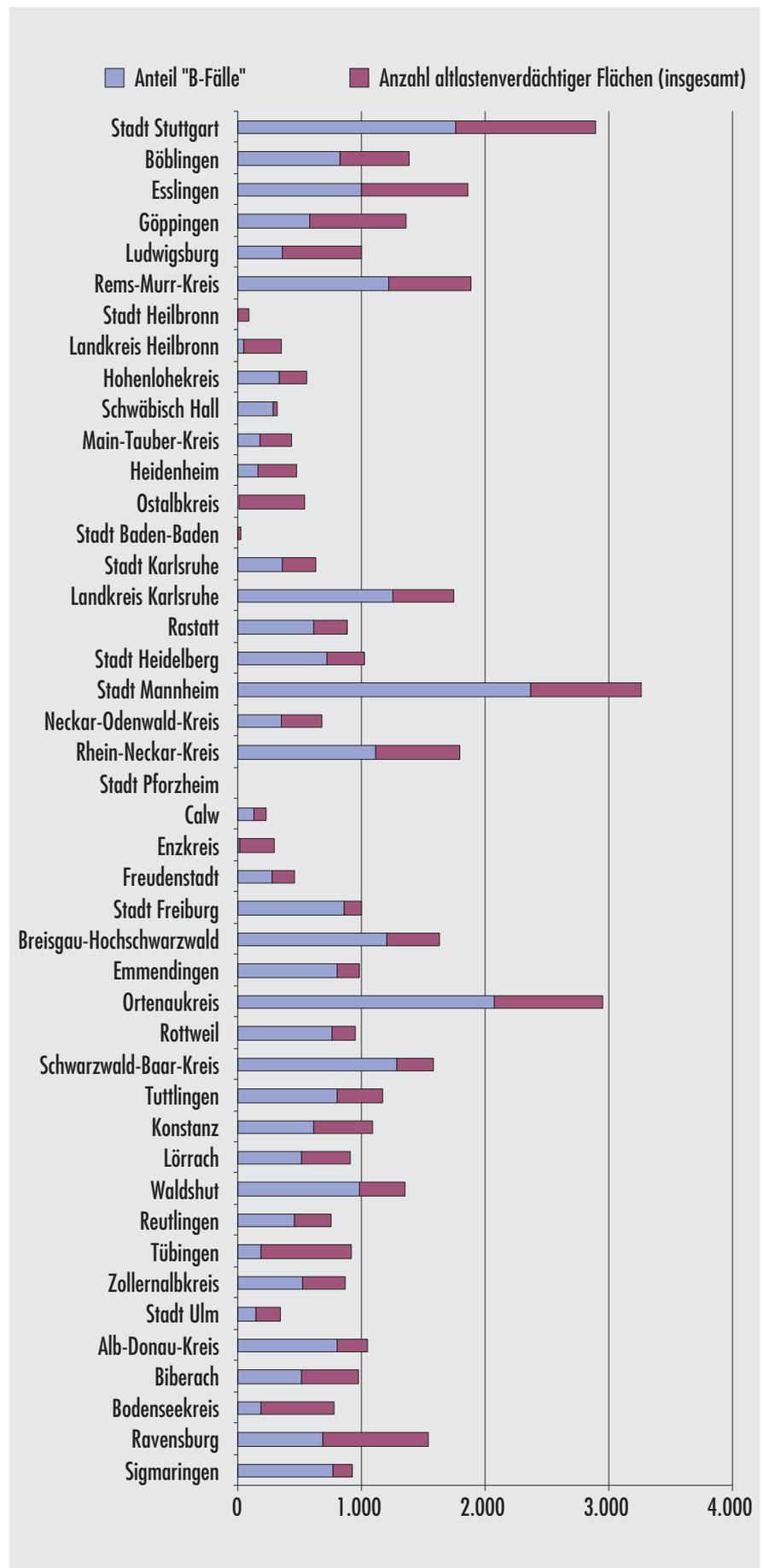


Abb. 55 Anzahl altlastverdächtiger Flächen in den Stadt- und Landkreisen (Quelle: LfU; Stand 1999)

- Informationsverdichtung
- Dokumentation.

Auf der gesamten Landesfläche ist in den einzelnen Gebietskörperschaften die historische Erhebung in Arbeit bzw. zu einem großen Anteil abgeschlossen.

Erfasste Objekte

Bei der Erhebung wird der *Handlungsbedarf* für die weitere Bearbeitung jedes Einzelfalles festgelegt. Dabei ergeben sich folgende Möglichkeiten:

- Ausscheiden und Archivieren:
Die Fläche scheidet aus der Altlastenbearbeitung aus und wird dokumentiert (archiviert; "A-Fall").
- Belassen zur Wiedervorlage:
Die Fläche hat gegenwärtig keinen weiteren Erkundungsbedarf. Bei Änderungen der bewertungsrelevanten Sachverhalte (z.B. Nutzungsänderung) ist über das weitere Verfahren erneut zu entscheiden ("B-Fall").
- Erkundung:
Eine weitere Erkundung erscheint erforderlich ("E-Fall").

Die einzelnen Ergebnisse werden in schriftlicher, kartographischer und digitaler Form dokumentiert.

Im Rahmen der historischen Erhebung sind insgesamt 68.215 *Objekte* (Flächen) in den Datenbanken der Stadt- und Landkreise eingestellt. Diese teilen sich in etwa 35 % Altablagerungen und 65 % Altstandorte auf.

22.247 dieser Objekte sind mit "A" klassifiziert. Das heißt: Hier besteht keine Besorgnis mehr, dass diese Fläche das Wohl der Allgemeinheit jetzt oder zukünftig beeinträchtigt oder eine Gefährdung vorliegt. Eine weitere Bearbeitung ist nicht erforderlich. Die Fläche wird ausgeschieden und archiviert.

Von den in der Verdachtsflächenkartei verbleibenden 45.968 Fällen sind 28.172 "B-Fälle". Eine Weiterbearbeitung dieser Fälle ist u.U. erforderlich, jedoch nicht vordringlich. Die Verdachtsfläche wird in

der Datei belassen. Bei einer beabsichtigten Neubebauung oder Nutzungsänderung ist die Fläche erneut zu prüfen (Wiedervorlage).

Für die restlichen Fälle besteht weiterer Handlungsbedarf, oder es sind Flächen, die bisher noch nicht vorklassifiziert oder bewertet wurden. Die Aufteilung der Verdachtsflächen auf die Kreise zeigt Abb. 55.

Grundlagen

§ 26 Landesabfallgesetz regelt das Verfahren zur Bewertung von Altlasten. Bei der unteren Wasserbehörde ist eine *Bewertungskommission* gebildet. Deren Aufgaben und Zusammensetzung regelt die Kommissionsverordnung vom 16.10.1990 (GABl S.392) näher.

Die Bewertungskommission hat die Ergebnisse der Erkundung auf der Basis ausschließlich fachlicher Gesichtspunkte zu bewerten, Empfehlungen für die Sanierung zu erteilen und die Wasserbehörden bei Sanierungsentscheidungen zu beraten.

Bewertungstermine

Seit dem ersten Bewertungstermin am 4.9.1987 hat die Bewertungskommission in 1.305 Bewertungsterminen (Sitzungen) insgesamt 12.625 Bewertungen durchgeführt (Stand 7/1999). Dabei beträgt die Zahl der altlastverdächtigen Fälle 8.199. Diese Zahl ist kleiner als die Gesamtzahl der Bewertungen, da zum einen häufig mehrere Schutzgüter (Boden, Grundwasser, Oberflächenwasser,

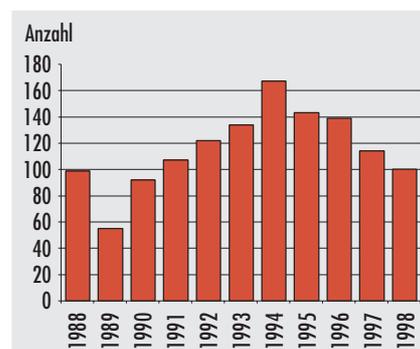


Abb. 56 Anzahl der jährlichen Bewertungstermine (Quelle: LfU)

Luft) und zum anderen die Fälle teilweise mehrfach auf verschiedenen Beweisniveaus ("Haltepunkten") bewertet wurden.

In "Spitzenjahren" fanden dabei mehr als 1.950 Bewertungen bei 167 Bewertungsterminen statt (Abb. 56).

Für das Jahr 1996 ergeben sich beispielhaft folgende Zahlen:

Zahl der Bewertungstermine	139
(d.h. im Schnitt ca. 3 Termine je Kreis und Jahr)	
Zahl der Bewertungen	1214
(d.h. im Schnitt ca. 9 Bewertungen je Termin)	
Zahl der bewerteten Fälle	1076
(Altablagerungen und Altstandorte)	

Tab. 17 Bewertungstermine und Bewertungen 1996 (Quelle: LfU)

Ein Bewertungstermin der Bewertungskommission läuft gewöhnlich wie folgt ab:

- Die technische Fachbehörde stellt die zu bewertenden Altlasten oder altlastverdächtigen Flächen nach technischen (Risikozyffer) und administrativen Gesichtspunkten (z.B. Bauleitplanung, konkrete Bebauungsabsichten usw.) auf.
- Die untere Verwaltungsbehörde als Kommissionsleiterin lädt ein und verschickt die Gutachten.
- Bewertungsablauf: Der Gutachter trägt den Sachverhalt vor; notwendige Ergänzungen erläutern die Fachbehörden. Der Bewertungsbogen wird gemeinsam durchgesprochen; Risikozyffer, Handlungsbedarf und weitere Maßnahmen werden in der Regel einvernehmlich festgelegt.
- Zur Dokumentation wird eine Niederschrift mit sämtlichen Beschlüssen und Empfehlungen erstellt.

Stand und Ergebnisse der Bewertungen

Bei den jeweiligen *Schutzgütern* erkennt man, dass das Schutzgut Grundwasser in ca. 85 % der Fälle das für die Bewertungsmaßgebende Kriterium war (Abb 57).

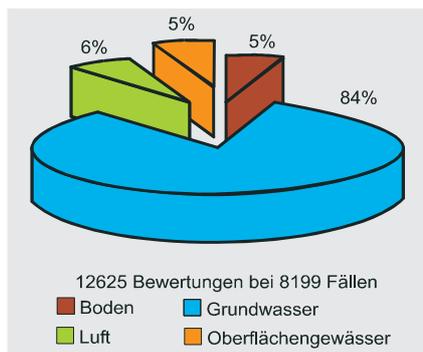


Abb. 57 Aufteilung der bewerteten Fälle auf die jeweiligen Schutzgüter (Quelle: LfU; Stand 1998)

158 Fälle befinden sich in der sog. Sanierungsvorplanung. Dabei wird geprüft, welche Sanierungsvariante angemessen ist, um negative Umwelteinflüsse zu minimieren.

Bisher wurden 158 Fälle auf dem höchsten Kenntnisstand bewertet, wobei für 104 Altlasten eine Sanierung beschlossen wurde. Dabei stieg die Zahl der Sanierungsfälle pro Jahr von 1996 bis 1998 von 9 über 14 auf 29 ständig an.

Abb. 58 gibt einen Überblick über den Stand der stufenweisen Bearbeitung und Bewertung von insgesamt 8.199 Fällen.

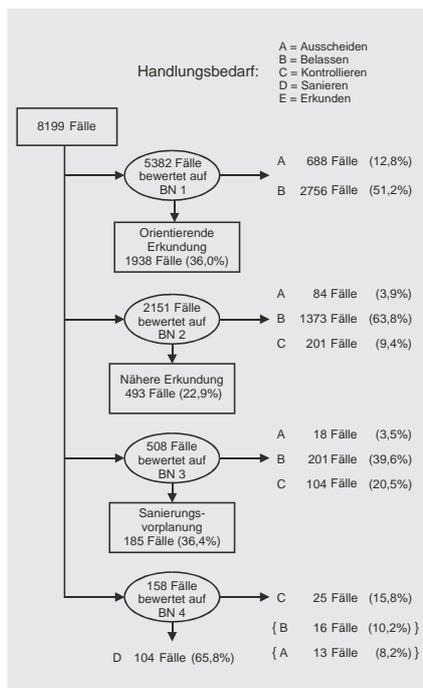


Abb. 58 Anzahl bewerteter Altlasten auf den Beweisniveaus (BN= Kenntnisstand) 1 bis 4 mit daraus folgendem Handlungsbedarf (Quelle: LfU; Stand 1998)

Anhang

Quellen- und Literaturhinweise

- (1) Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (Hrsg.): Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland - Chemische Gewässergüteklassifikation. Reihe: Konzepte und Strategien. Oberirdische Gewässer. Berlin 1998
- (2) Umweltbundesamt (Hrsg.): Daten zur Umwelt. Der Zustand der Umwelt in Deutschland. Berlin 1997
- (3) Schmitt, Adam: Trophiebewertung planktondominierter Fließgewässer - Konzept und erste Erfahrungen. In: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft - Institut für Wasserforschung. Integrierte ökologische Gewässerbewertung - Inhalte und Möglichkeiten. Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, Band 51. München, Wien 1998
- (4) Banat, Khaled; Förstner, Ulrich; Müller, German 1972: Schwermetallanreicherungen in den Sedimenten wichtiger Flüsse im Bereich der Bundesrepublik Deutschland - eine Bestandsaufnahme. Vorläufiger Bericht des Laboratoriums für Sedimentforschung der Universität Heidelberg

- (5) Chemische Landesuntersuchungsanstalt Freiburg 1998: Jahresbericht 1998
- (6) Institut für Umweltchemie Bremen GmbH: Ökotoxikologische Bewertung von Chlor- und Phosphororganika sowie PAK in Sedimenten bremischer Gewässer. Ableitung von vorläufigen Orientierungswerten für Wasser und Sedimente. Bremen 1994
- (7) Popp, Wolfgang: Mikrobiologische Bewertung von Fließgewässern. In: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft - Institut für Wasserforschung. Integrierte ökologische Gewässerbewertung - Inhalte und Möglichkeiten. Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, Band 51. München, Wien 1998

- (8) Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg 1998: Jahresbericht 1998
- (9) Bericht der IGKB Nr. 48: Langjährige Entwicklung chemischer Parameter im Bodensee-Obersee. 1998

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) 1999: Grundwasser-Überwachungsprogramm. Ergebnisse der Beprobung 1998. Band Grundwasserschutz 6

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) 1992: Handbuch Historische Erhebung altlastenverdächtigere Flächen. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 9

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) 1989: Branchenkatalog zur Historischen Erhebung von Altstandorten. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 3

Landeshauptstadt Stuttgart: Altlastenverdachtsflächen in Stuttgart. Schriftreihe des Amtes für Umweltschutz: Heft 3/1996

Informationsmöglichkeiten

- <http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de>
- <http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de>
- <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de>

Erfassung und Überwachung des Zustands der Böden

Der Boden steht mit den Umweltmedien Luft und Wasser in ständiger Wechselwirkung und unterliegt wie diese vielfältigen natürlichen und anthropogenen Einwirkungen. Schadstoffeinträge, Versiegelung, Verdichtung und Erosion gefährden den Boden und seine vielfältigen natürlichen Funktionen und Nutzungsfunktionen. Das Landes-Bodenschutzgesetz (BodSchG vom 24. Juni 1991) mit vier Verwaltungsvorschriften war erstmals eine umfassende gesetzliche Grundlage für den Erhalt des Bodens, insbesondere seiner ökologischen Funktionen, als Naturgut und Lebensgrundlage für Menschen und Tiere.

Wegen der begrenzten Belastbarkeit und der Gefahr einer schleichenden, nicht wiedergutzumachenden Schädigung der Böden ist die Vorsorge wesentlicher Bestandteil eines gesamtheitlichen Bodenschutzes. Um schädliche Veränderungen frühzeitig zu erkennen und entsprechende Maßnahmen einleiten zu können, wurden die Erfassung und Überwachung des Zustands der Böden (Bodendauerbeobachtung) zu einer gesetzlichen Aufgabe der LfU. Auch im

¹⁾Bundes-Bodenschutzgesetz und Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung

Mit dem Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BBodSchG) und der Bundes-Bodenschutz- und Altlasten-Verordnung vom 12. Juli 1999 (BBodSchV) sind erstmals bundeseinheitliche Regelungen zum Schutz des Bodens in Kraft getreten. Zweck des BBodSchG ist es, nachhaltig die Funktionen des Bodens zu sichern und wiederherzustellen. Hierzu sind schädliche Bodenveränderungen abzuwehren, der Boden und Altlasten sowie hierdurch verursachte Gewässerverunreinigungen zu sanieren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen. In § 8 wird die Bundesregierung ermächtigt, durch Rechtsverordnung Vorschriften zu erlassen. In diesen können insbesondere

- Werte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der Bodennutzung eine einzelfallbezogene Prüfung durchzuführen und festzustellen ist, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt (Prüfwerte)
- Werte für Einwirkungen oder Belastungen, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der

BODEN

Erfassung und Überwachung des Zustands der Böden	G – 1
Bodendauerbeobachtung	G – 1
Bodenbelastungen durch historischen Bergbau	G – 12
Anhang	G – 14

Bundes-Bodenschutzgesetz¹⁾ sind die Einrichtung und der Betrieb von Bodeninformationssystemen und damit der Bodendauerbeobachtung als Aufgabe der Länder benannt (§§ 19, 21).

Bodendauerbeobachtung

Der Zustand der Böden wird durch ein landesweites Messnetz von *Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF)* erfasst (Abb. 1). Die wesentlichen Ziele der Bodendauerbeobachtung sind:

- Diagnose der Bodenqualität, d. h. Funktionsfähigkeit der Böden im Naturhaushalt
- Prognose der Bodenqualität, Früherkennung schädlicher Einwirkungen auf Böden
- Dokumentation des Ist-Zustandes der Böden als Referenz bei Störfällen

jeweiligen Bodennutzung in der Regel von einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast auszugehen ist und Maßnahmen erforderlich sind (Maßnahmenwerte)

festgelegt werden. Von dieser Ermächtigung hat die Bundesregierung Gebrauch gemacht.

Die Handlungsschwelle, die durch Vorsorgewerte gekennzeichnet werden soll, ist die Besorgnis, dass eine schädliche Bodenveränderung entsteht. Die Besorgnis ist nach den Maßstäben des BBodSchG dann gegeben, wenn wegen der räumlichen, langfristigen oder komplexen Auswirkungen (der Nutzung oder Maßnahme) nachteilige Auswirkungen auf die Bodenfunktionen zu erwarten sind. Es müssen hierzu tatsächliche Anhaltspunkte der Besorgnis gegeben sein, wie z. B. aus Ergebnissen von Bodenuntersuchungen. Bei Stoffen, deren bodengefährdendes Potenzial unbestritten ist und auch nicht maßgeblich durch standortspezifische Gegebenheiten abgemildert wird, ist bereits die Betrachtung des Stoffpotenzials (z. B. hinsichtlich Toxizität, Zerstörung des Bodengefüges) ausschlaggebend.

Das Bodendauerbeobachtungsprogramm Baden-Württemberg ist vom Ansatz her zweigeteilt. Die 1986 eingerichteten Bodendauerbeobachtungsflächen des *Basismessprogramms (BDF I)* sollen das Inventar und die aktuellen Schadstoffgehalte der Böden des Landes repräsentativ abbilden (Dokumentation).

Daneben steht die Untersuchung langfristiger stofflicher Einwirkungen (diffuser Schadstoffeintrag über die Luft oder durch die Bewirtschaftung) im Vordergrund. Dazu werden die Eigenschaften der Standorte als Schadstoffsenke genutzt (z. B. Humusaufgaben von Waldstandorten). Das Untersuchungsprogramm weist folgende Charakteristik auf:

- Extensives Messprogramm (Basisparameter, Beprobungsintervalle > 10 Jahre)
- Stoffinventar-Ansatz (Mengen)

Prüfwerte sind deutlich von Vorsorgewerten zu unterscheiden. Vorsorgewerte sind Bodenwerte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung von geogenen oder großflächig siedlungsbedingten Schadstoffgehalten in der Regel davon auszugehen ist, dass die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht. Im Zusammenhang mit Anforderungen der Vorsorge können auch Werte über die maximal zulässige Zusatzbelastung des Bodens festgelegt werden.

Die Gefahrenabwehr erfolgt nach den Maßstäben des BBodSchG nutzungs- und schutzgutbezogen. Dies führt zu einer entsprechenden Differenzierung der Werte hinsichtlich bestimmter Nutzungen, z. B. als Wohngebiete, Acker- und Grünlandflächen. Dagegen ist ein derartiger Nutzungsbezug bei den Vorsorgewerten nicht vorgesehen, da diese die vielfältige Nutzbarkeit der Böden sicherstellen sollen. Dies schließt eine Bezugnahme auf abgegrenzte Nutzungen aus. Vorsorgewerte werden nach natürlichen Bodeneigenschaften (Sand, Lehm/Schluff, Ton), nicht jedoch nach Nutzungen im oben genannten engen Sinne, differenziert.

Bodendauerbeobachtung

- Abbildung der vielfältigen Bodenlandschaften und -nutzungen

Mit den Bodendauerbeobachtungsflächen des *Intensivmessprogramms (BDF II)* findet ein zielgerichtetes Bodenmonitoring statt. Jeder einzelne Standort wird auf ein Schwerpunktthema mit dem dazu gehörigen spezifischen Untersuchungsprogramm ausgerichtet. Diese Messstationen (z. Zt. 4 in Betrieb) sind umfangreicher ausgerüstet als die BDF I-Standorte und werden auf zeitliche und räumliche Veränderungen des Bodens hin intensiver untersucht. Darüber hinaus wird hier die Beschaffenheit weiterer Umweltkompartimente (Bodensicker-, Grundwasser, Luft, Pflanzen usw.) erfasst. Das Programm ist gekennzeichnet durch

- Intensive Messungen (zeitlich, räumlich, Parameteranzahl; Beprobungsintervalle 1-3 Jahre)
- Stoffflussbilanz-Ansatz (Einträge, Austräge, Mengenänderung)
- Frühwarnfunktion an Standorten mit erhöhten schädlichen Einwirkungen bei empfindlichen Böden.

Ergebnisse aus dem Basismessprogramm (BDF I)

Über die langfristige Entwicklung des Bodenzustands im ländlichen Raum geben die Basismessflächen (BDF I) Aufschluss. Mögliche Veränderungen kann man nur innerhalb großer Zeiträume erfassen, weil an diesen Standorten lediglich ubiquitäre, diffuse Schadstoffeinträge gegeben sind.

Nachweisbare Gehalte werden je nach Schadstoff an 43-99 % der untersuchten Standorte gefunden. PAK und PCB sind in allen Regionen des Landes nachweisbar (Abb. 2, 3). Die ubiquitären Schadstoffgehalte in unbelasteten Böden liegen jedoch auf niedrigem Niveau, d. h. die Medianwerte aus allen Messflächen liegen unter oder wenig über der analytischen Nachweisgrenze. Ausnahmen sind die PAK-, PCB- und HCH-Gehalte in den Humusauflagen von Waldböden und PAK in mineralischen Oberböden. Maxima für

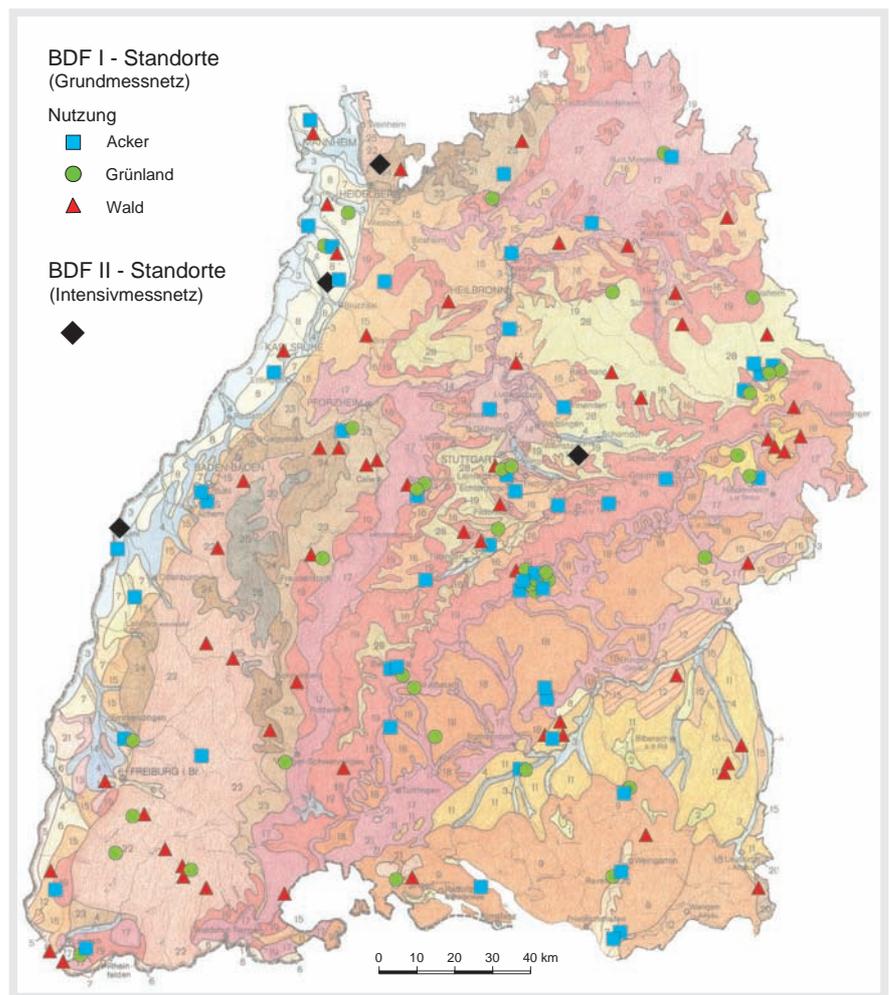


Abb. 1 Bodenübersichtskarte mit den Bodendauerbeobachtungsflächen der LfU (Quellen: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB), LfU; Stand März 2000)

die verschiedenen Schadstoffe in den Oberböden treten in der Regel an unterschiedlichen Standorten auf. Sie liegen je nach Stoff 28-fach bis ca. 300-fach über den Medianwerten. Flächenbezogene Schadstoffmengen in mg/m² (vgl. Abb. 2, 3) können meist nur für die Stoffgruppen PAK und PCB berechnet werden.

In Waldböden ergeben sich bei PAK und PCB höhere Gehalte als bei Acker- und Grünlandböden. Vermutlich bewirtschaftungsbedingt höhere Gehalte von HCB (Abb. 4) deuten sich in Acker-, von DDT (Abb. 5) in Wald- und Acker- und von HCH (Abb. 6, 7) in Waldböden an.

In mineralischen Bodenhorizonten werden organische Schadstoffe kaum tiefenverlagert. Berechnete Schadstoffmengen (PAK, PCB) im Boden je m² zeigen, daß in der Regel mehr als 90 % der Stoffe in den oberen 20 Zentimetern des Mineralbodens akkumuliert sind. In

Waldböden ist - trotz höherer Schadstoffgehalte in den Humusauflagen - aufgrund des geringen spezifischen Gewichts der Auflagen die überwiegende Menge der Schadstoffe im mineralischen Oberboden enthalten (Abb. 6-9). In Einzelfällen erscheint jedoch am Beispiel von HCH und PCP auch eine Verlagerung organischer Schadstoffe in tiefere Bodenschichten möglich.

Die Siedlungsstruktur verschiedener Regionen hat keinen eindeutigen Einfluss auf die ubiquitären Gehalte organischer Schadstoffe in den Böden. Lediglich bei PAK deutet sich eine Anreicherung im Umfeld der Ballungsräume an.

Die untersuchten Schadstoffe sind überwiegend (PAK) bis ausschließlich (chlorierte Kohlenwasserstoffe) anthropogen und kommen mit Ausnahme der PAK nicht natürlich vor. Negative Auswirkungen

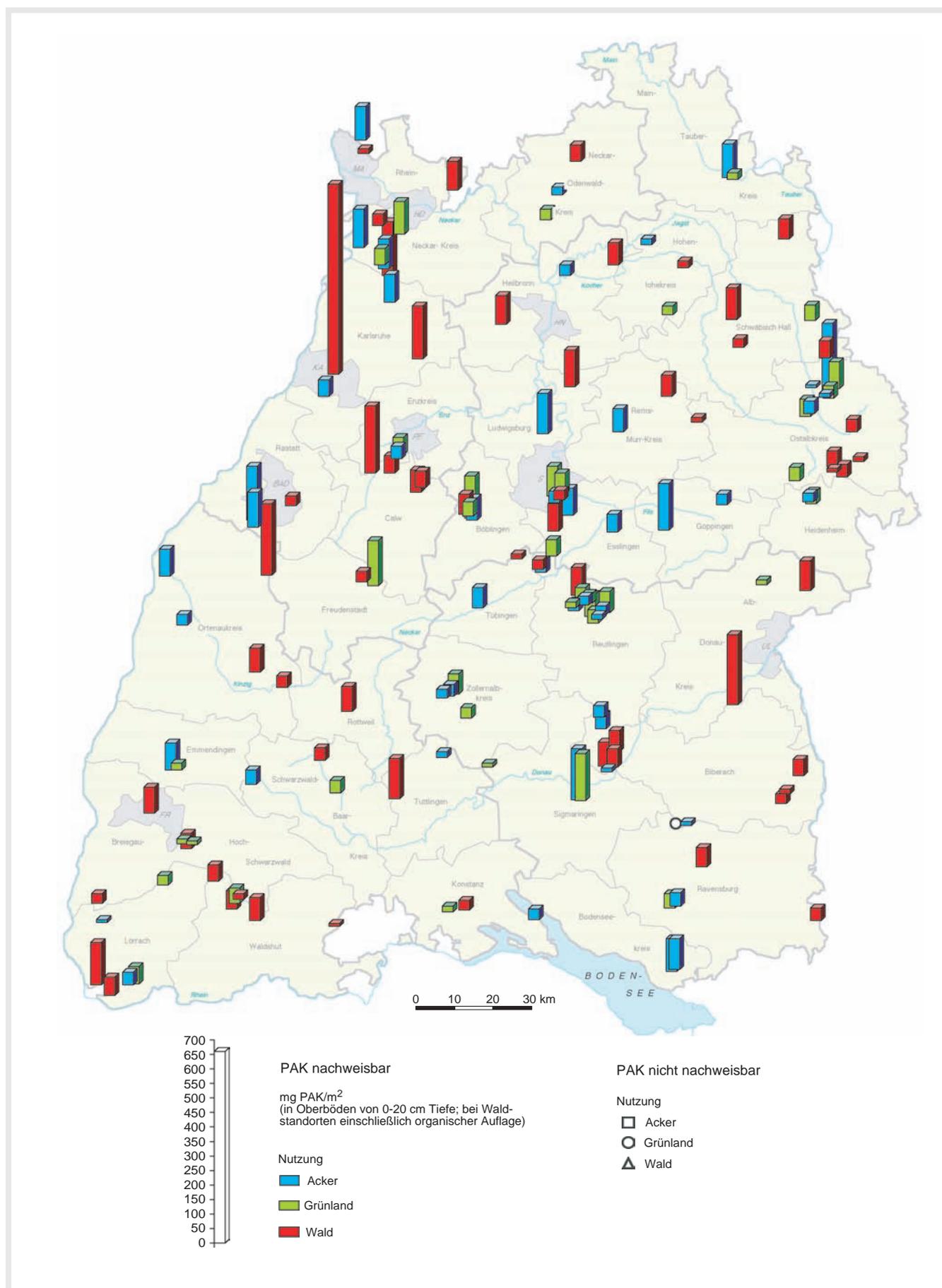


Abb. 2 Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in den Oberböden der Basis-Messflächen
 (Quelle: LFU; Stand März 2000)

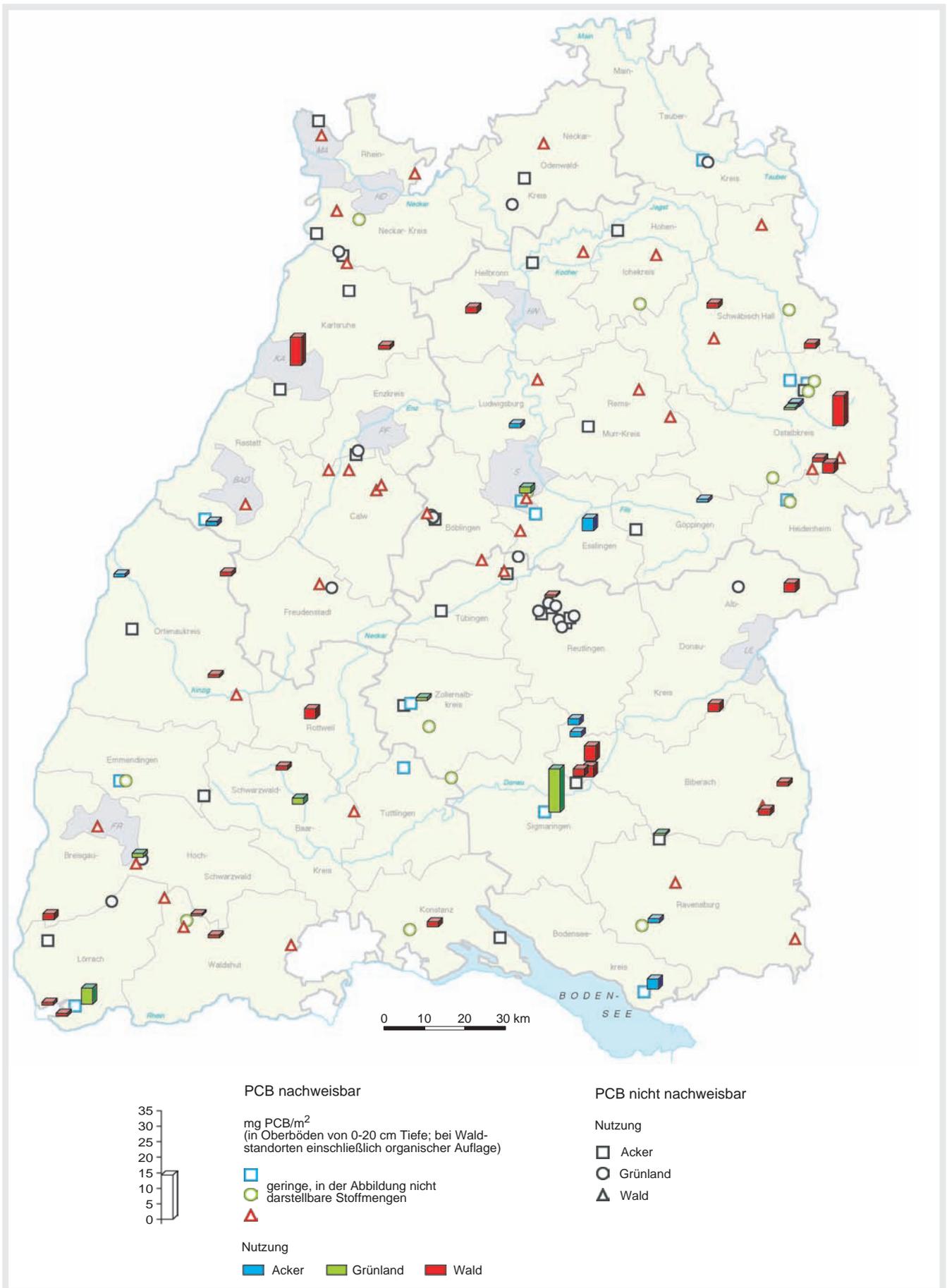


Abb. 3 Polychlorierte Biphenyle (PCB) in den Oberböden der Basis-Messflächen (Quelle: LfU; Stand März 2000)

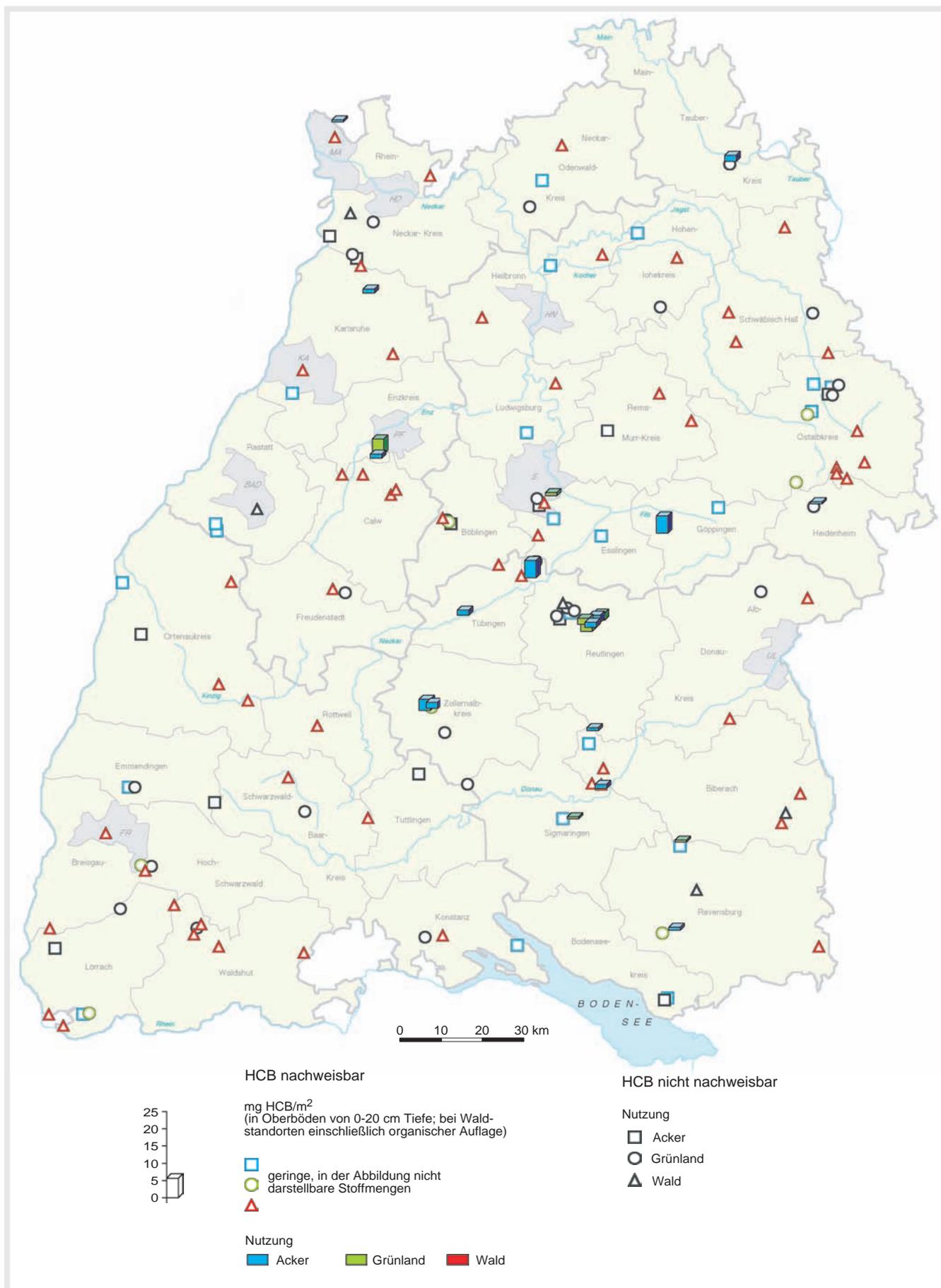


Abb. 4 Hexachlorbenzol (HCB) in den Oberböden der Basis-Messflächen (Quelle: LfU; Stand März 2000)

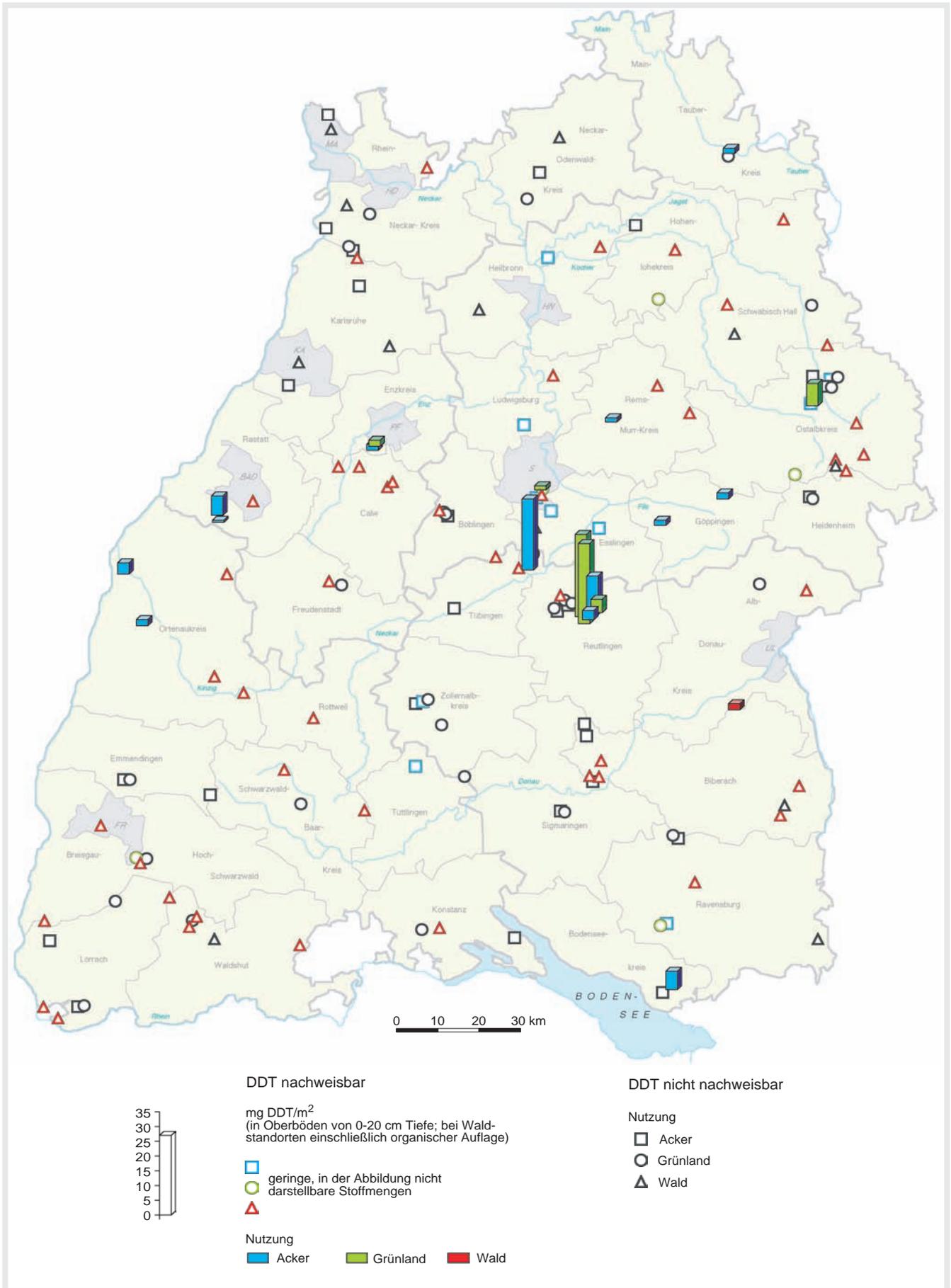


Abb. 5 Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) in den Oberböden der Basis-Messflächen
 (Quelle: LfU; Stand März 2000)

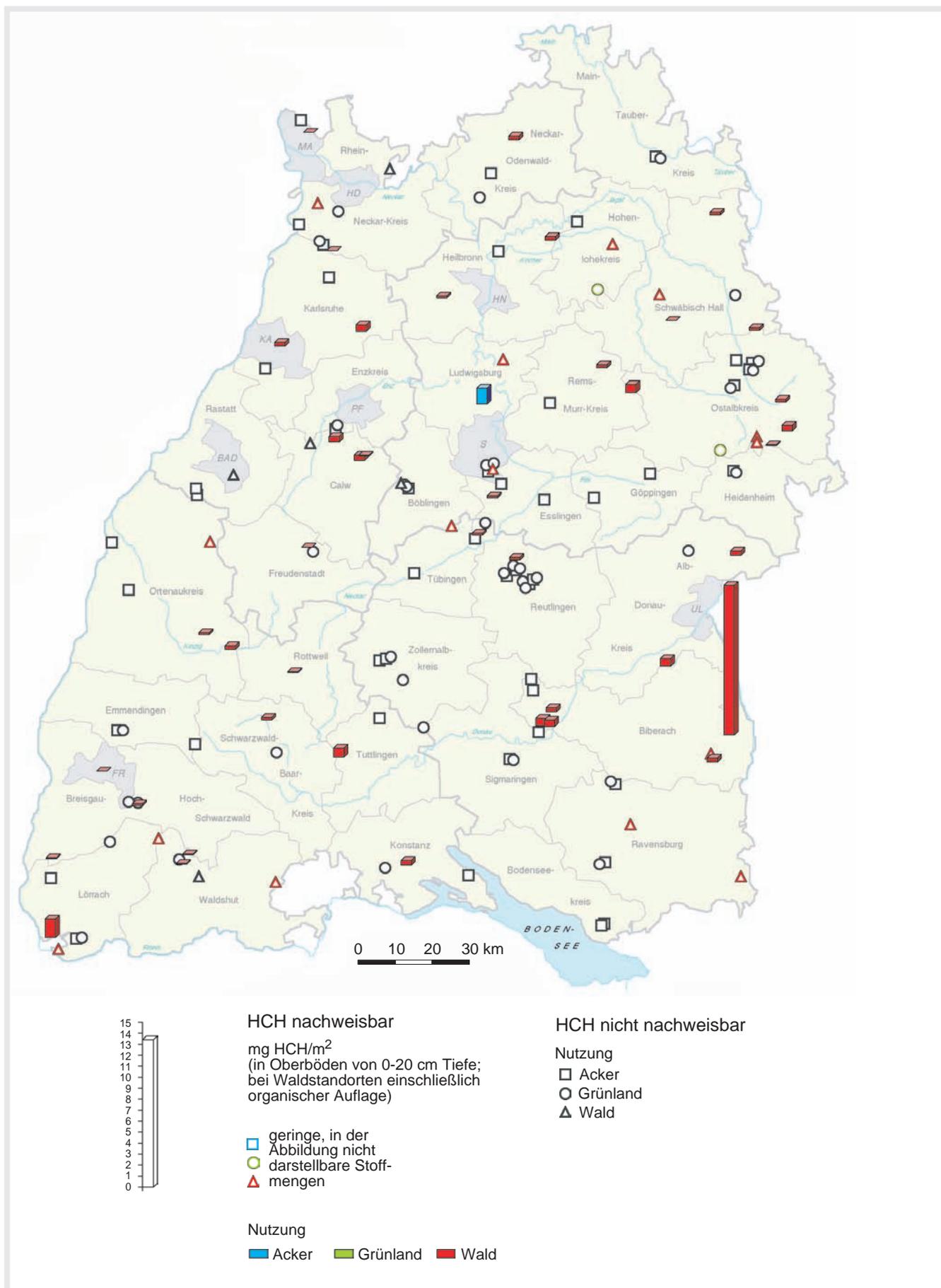


Abb. 6 Hexachlorcyclohexan (HCH) in den Oberböden der Basis-Messflächen
(Quelle: LfU; Stand März 2000)

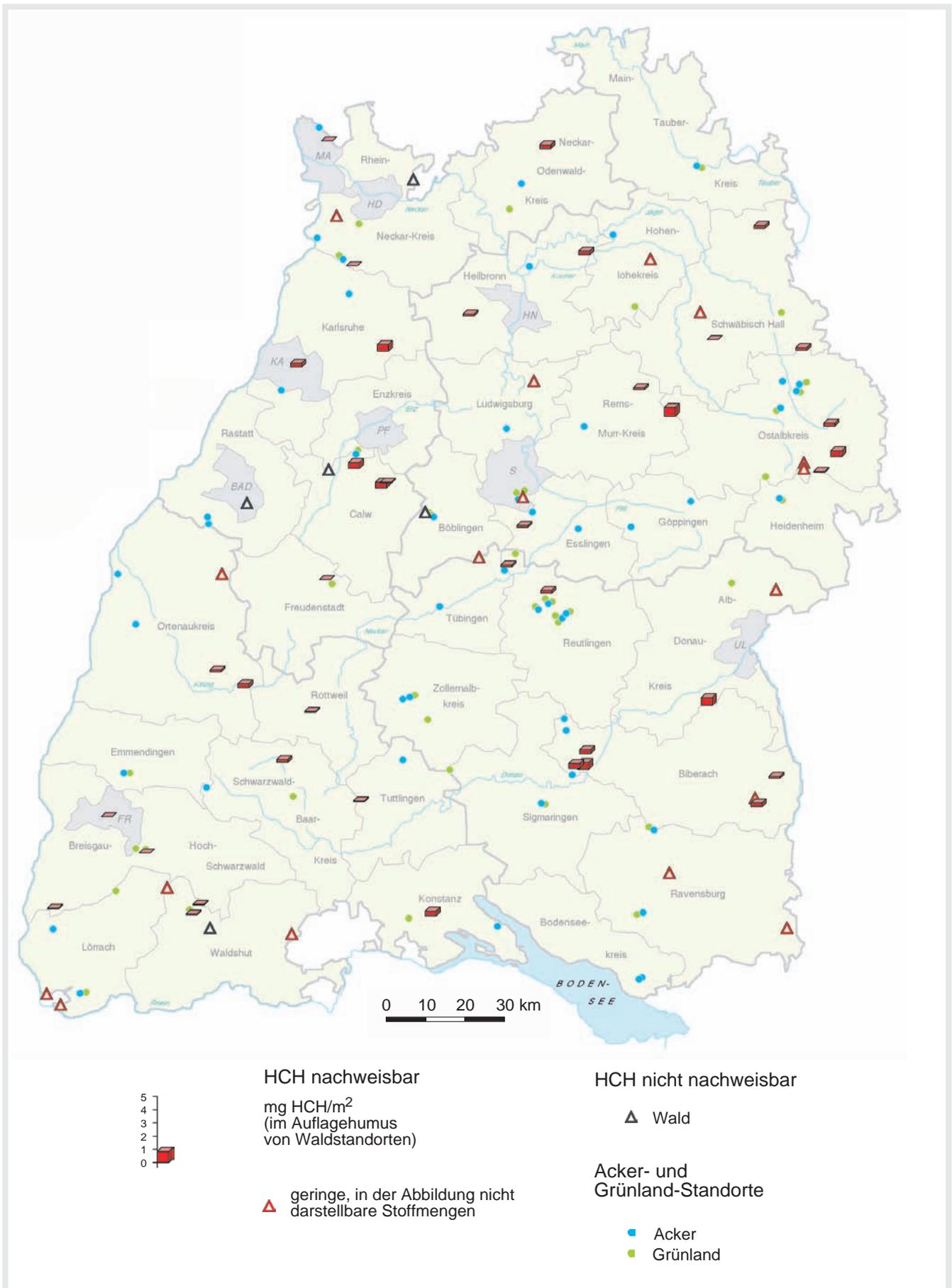


Abb. 7 Hexachlorocyclohexan (HCH) in Humusauflagen von Waldstandorten der Basis-Messflächen (Quelle: LfU; Stand März 2000)

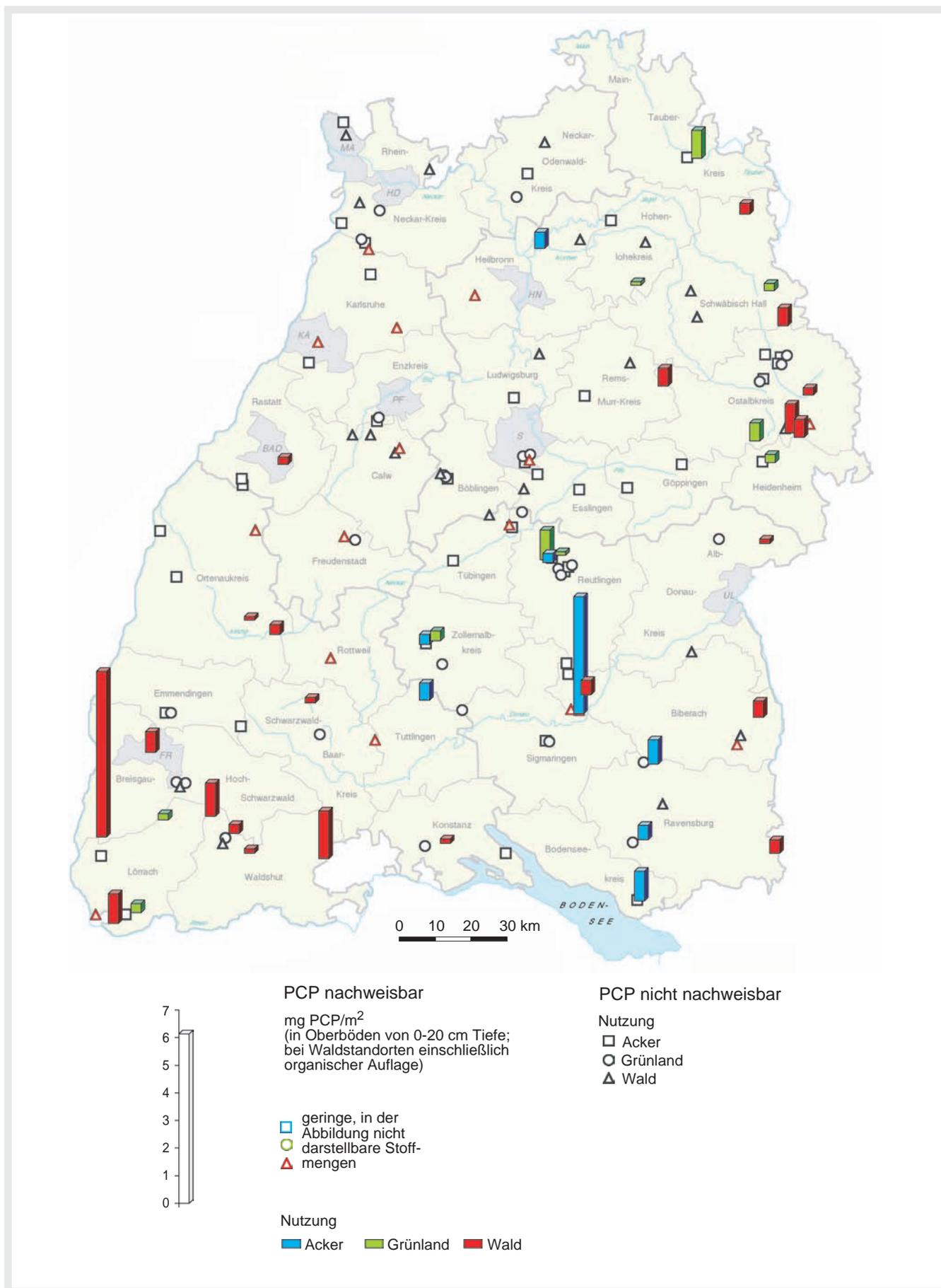
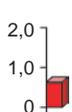
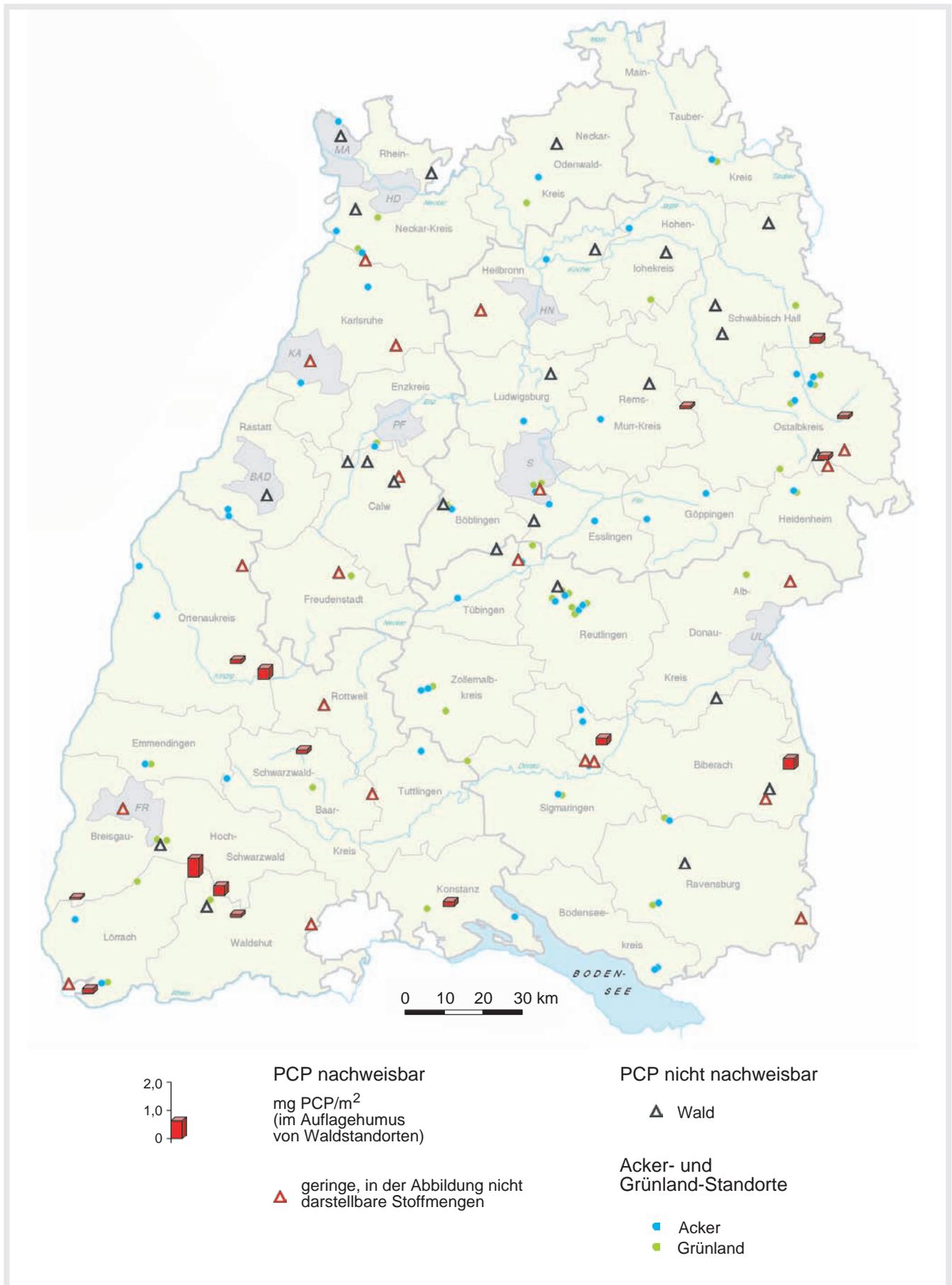


Abb. 8 Pentachlorphenol (PCP) in den Oberböden der Basis-Messflächen (Quelle: LfU; Stand März 2000)



PCP nachweisbar
mg PCP/m²
(im Auflagehumus
von Waldstandorten)

△ geringe, in der Abbildung nicht darstellbare Stoffmengen

PCP nicht nachweisbar

△ Wald

Acker- und Grünland-Standorte

■ Acker
■ Grünland

Abb. 9 Pentachlorophenol (PCP) in Humusaufgaben von Waldstandorten der Basis-Messflächen (Quelle: LfU; Stand März 2000)

gen der heute ubiquitär in Böden vorhandenen Konzentrationen organischer Schadstoffe auf andere Schutzgüter sind nicht bekannt. Im Zuge der Vorsorge ist jedoch eine weitere Minderung künftiger Einträge anzustreben.

Es finden Wiederholungsbeprobungen von Böden des Basismessnetzes statt, um Hinweise auf mögliche Veränderungen der Böden im ländlichen Raum infolge langfristiger diffuser Einwirkungen zu erhalten.

Ergebnisse aus dem Intensiv-Messprogramm (BDF II)

Die Dauerbeobachtungsflächen des Intensiv-Messprogramms (Tab. 1) dokumentieren einzelne Problemfelder und spezifische Gefährdungspotentiale für den Boden. In erster Linie sind dies Gefahren infolge von Schadstoffeinträgen über die Luft, aber auch z. B. bei Überschwemmungs- oder erosionsgefährdeten Flächen. Dabei betrachten die Messtechniker auch die Wirksamkeit von Umweltschutzmaßnahmen, z. B. der Luftreinhaltung oder der Minderung von Kfz-Emissionen (Rückgang bei Blei), aber auch das Einbringen neuer Stoffe, zum Beispiel Platingruppenelemente aus Katalysatoren. Intensiv-Messstandorte haben somit Frühwarnfunktion und sind Kontroll- und Entscheidungsinstrument für notwendige umweltpolitische Maßnahmen.

Gesicherte Aussagen zur Entwicklung der Bodenqualität erfordern eigentlich einen

längeren Messzeitraum, als es bisher das 1992 begonnene Intensiv-Messprogramm möglich machte. Dennoch ergeben sich z. B. an der Messfläche "Forst" erste Hinweise über Veränderungen der Bodenqualität. Die Beobachtungsstation befindet sich an einem stark befahrenen Abschnitt der BAB 5 bei Bruchsal (ca. 100.000 Kfz täglich) in einem Abstand von 14 bis 18 m vom Fahrbahnrand.

Die bisherigen Ergebnisse (Abb. 10) zeigen: Infolge der Umstellung auf bleifreien Kraftstoff sind die Bleieinträge in straßennahe Böden auf ein ähnlich niedriges Niveau wie an straßenfernen Standorten gesunken. So wurde 1997 bei einem täglichen Verkehrsaufkommen von etwa 100.000 Fahrzeugen ein Bleieintrag von 36 g/ha als Jahressumme gemessen. Bei der straßenfernen Dauerbeobachtungsfläche Baltmannsweiler lag der Bleieintrag im Vergleichszeitraum bei 46 g/ha.

Die Verbrennung von Kraftstoffen setzt auch Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) frei. Hier stellt sich die Situation umgekehrt dar. 1997 wurden an der Messstation Forst 1.925 mg/ha PAK (als Summe von 16 Einzelverbindungen) in den Boden eingetragen. Am straßenfernen Standort Baltmannsweiler lag der Eintrag bei 1.020 mg/ha.

Dies zeigt, dass Ausmaß und Veränderungen der Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs unmittelbar die Böden im Umfeld beeinflussen.

Bei einigen Schwermetallen und PAK-Substanzen ergibt der Vergleich über 6 Jahre (1992 bis 1998) in erster Annäherung eine leichte Zunahme. So stieg der Gesamtgehalt der 16 PAK-Verbindungen im mineralischen Oberboden an der Dauerbeobachtungsfläche Forst von 1.800 µg/kg Boden 1992 über 2.185 µg/kg 1995 auf 2.440 µg/kg 1998. Bedingt durch die große Streubreite der Mittelwerte über den gesamten Messzeitraum ist diese Zunahme jedoch mit Vorbehalt zu deuten. Erst Beobachtungen über einen längeren Zeitraum können statistisch signifikante Ergebnisse liefern.

Gegen den allgemeinen Trend zeichnet sich eine Abnahme des Bleigehalts und entsprechend dazu auch der Bleimengen in den oberen Bodenschichten ab. Bedingt durch den niedrigen pH-Wert des Bodens kommt es offensichtlich zur Verlagerung bzw. Auswaschung von Blei im Boden. Aufgrund der stark gesunkenen Bleiemissionen des Kfz-Verkehrs sind die Neueinträge in den Boden begrenzt. Diese Entwicklung ist für die Bleikonzentrationen in der Auflage statistisch signifikant im Ah-Horizont (Oberboden) als Trend zu erkennen. Eine Zunahme des Bleigehalts wird hingegen im darunterliegenden Bv-Horizont (Unterboden) deutlich (Abb. 10).

Bei PCB ergibt sich weder in der Humusaufgabe noch im mineralischen Ah-Horizont ein klarer Trend über die sechsjährige Beobachtungszeit. Die PCB-Gehalte waren 1998 mit denen von 1992 vergleichbar.

Auch weitere thematische Erhebungsprogramme (z. B. Bodenbelastungen durch historischen Bergbau, Bodenzustandserhebung in Siedlungsräumen mit hohem Anteil an Industrie und Gewerbegebieten, Bodenbelastung im Nahbereich stark befahrener Verkehrsstraßen usw.) gehören zur Bodenzustandserfassung.

	Betriebsbeginn	Lage über N.N.	Bodentyp/Nutzung	Einwirkung
Forst	1992	107 m	Braunerde aus pleistozänem Sand unter Wald	Verkehr BAB 5 (Frankfurt-Basel)
Wilhelmsfeld	Dez. 1995	350 m	Podsol-Braunerde (Buntsandstein) unter Wald	Industrieller Ballungsraum Mannheim/Heidelberg
Baltmannsweiler	Dez. 1995	510 m	Pseudogley-Parabraunerde (Stubensandstein) unter Wald	Industrieller Ballungsraum Stuttgart/Esslingen
Kehl	Dez. 1997	135 m	Auenbraunerde unter Grünland	Industrieller Ballungsraum Kehl/Strasbourg

Tab. 1 Dauerbeobachtungsflächen des Intensivmessprogramms (BDF II) (Quelle: LfU)

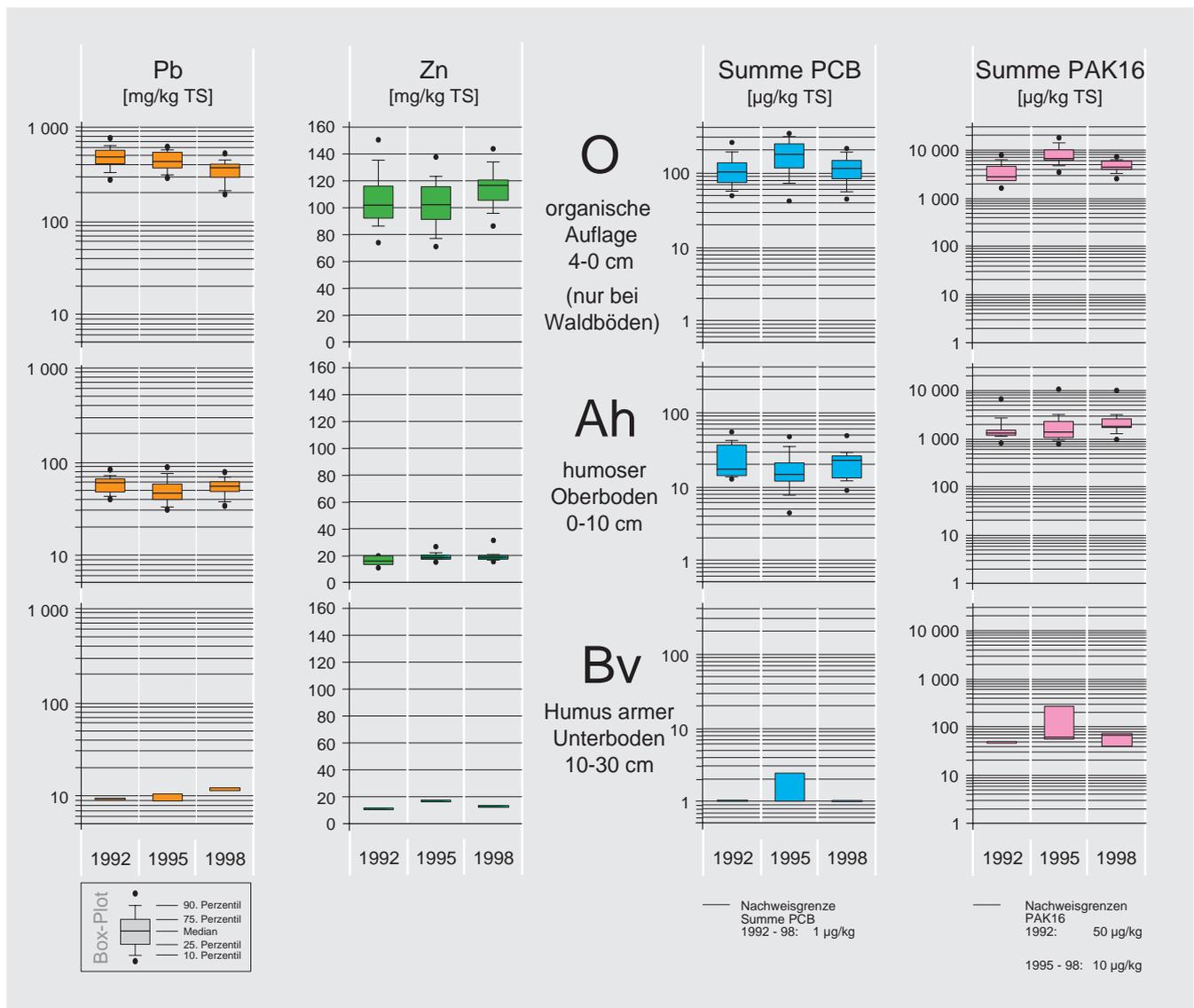


Abb. 10 Verteilung von Blei, Zink, PCB und PAK in der Humusauflage (O), im Oberboden (Ah) und im Unterboden (Bv) an der Intensiv-Messfläche Forst (BAB 5) in den Untersuchungen von 1992, 1995 und 1998 (Quelle: LfU; Stand März 2000)

Bodenbelastungen durch historischen Bergbau

In einer landesweiten Bestandsaufnahme der Rückstandshalden insbesondere aus dem alten Erzbergbau sind insgesamt 222 Bergbaustandorte mit etwa 400 Halden und Erzaufbereitungs-, Verhüttungs- und Verarbeitungsbetrieben im Umfeld von in Betrieb stehenden und von historischen Gruben erhoben worden. Die meisten alten Bergwerke befinden sich im Mittleren und im Südschwarzwald. Das von schwermetallhaltigem Haldenmaterial ausgehende Kontaminationspotenzial für den Boden, für Pflanzen und Gewässer der Umgebung wurde abgeschätzt, und mögliche Gefahren wurden beurteilt.

Schon im frühen Mittelalter wurden beim Abbau, bei der Förderung, Aufbereitung und Verhüttung von Erzen große Mengen an Schwermetallen und Arsen in die Umwelt abgegeben. Die Verwitterung der Rückstandshalden führte zur Kornverkleinerung und zur Lösung und Mobilisierung der Inhaltsstoffe. Auch in den Schlackenalden der Erzverhüttung liegen Schwermetalle und Arsen meist in mobiler Form vor und können leicht ausgewaschen werden. Die freigesetzten Schwermetalle gelangten mit dem Oberflächenabfluss, über Staubverwehungen oder durch Verwendung des Haldenmaterials beim Wegebau in die weitere Umgebung, wo sie im Lauf der Zeit in den Böden angereichert wurden.

Vor allem die Aueböden der Täler in den Regionen des alten Erzbergbaus weisen infolge langfristiger Schwermetallausträge aus den Halden Schwermetall- und Arsenkonzentrationen deutlich über dem landesweiten Hintergrund auf. Solche Gebiete nutzt man heute vielfach als Grünland, gartenbaulich, als Aufenthaltsfläche für spielende Kinder oder anderweitig. Schwermetalle können vom Boden über Pflanzen und Tiere in die Nahrungskette gelangen, oder der Mensch nimmt sie unmittelbar auf.

Das Ergebnis der Erhebung zeigt Abb. 11. Bei dieser Einstufung wurden die Höhe der Schwermetallkonzentration, die insgesamt vorhandenen Stoffmengen, die

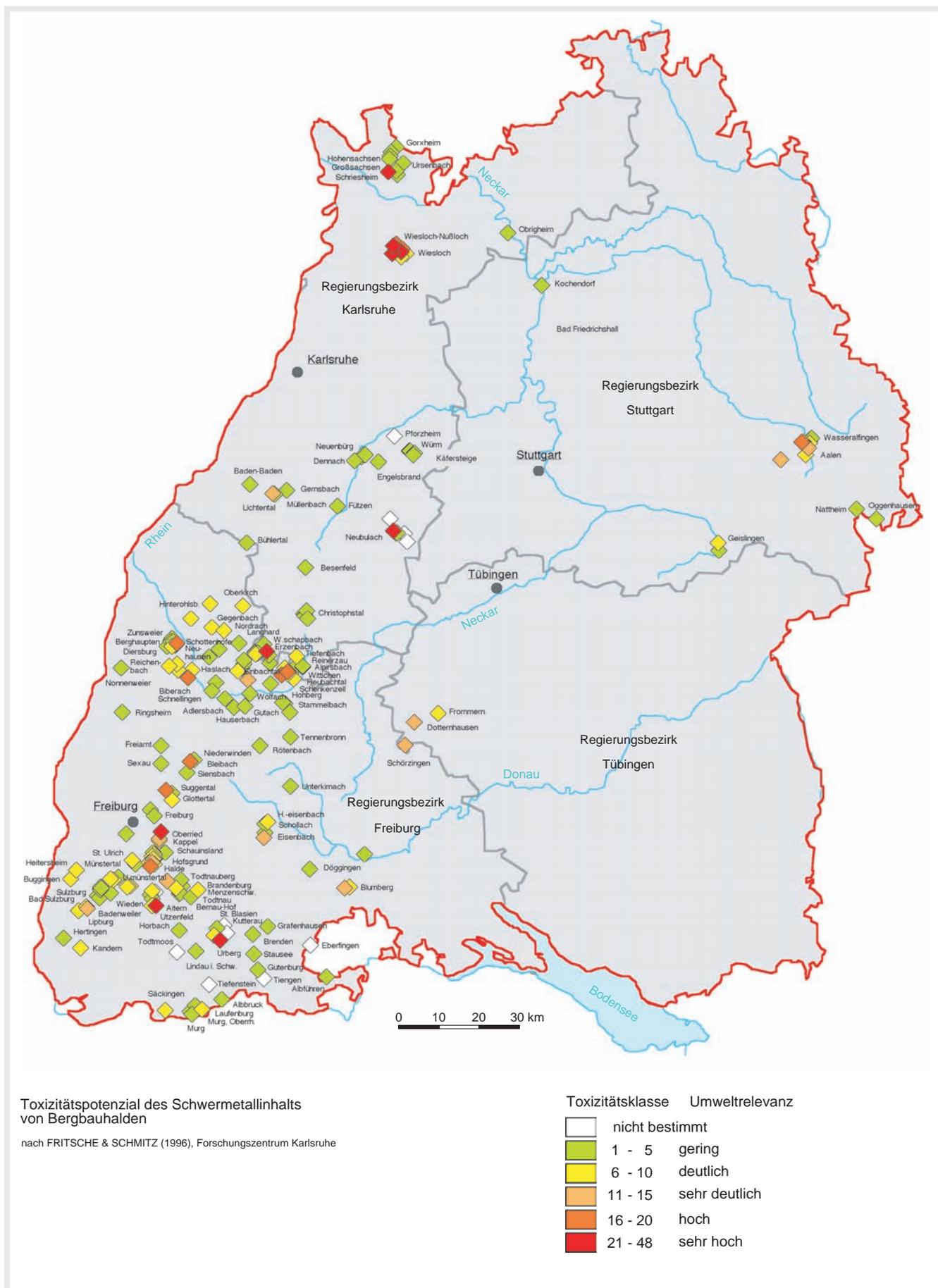


Abb. 11 Toxizitätspotenzial des Schwermetallinhalts von Bergbauhalden (Quelle: LfU; Stand März 2000)

Bodenbelastungen durch historischen Bergbau, Anhang

Bodennutzung und die Löslichkeit bzw. Mobilisierbarkeit der vorliegenden Schwermetallverbindungen berücksichtigt. Mobile Schwermetallgehalte im feinkörnig verwitterten Haldenmaterial überschreiten die Prüfwerte für Böden vor allem bei Blei, Zink, Cadmium und Thallium. Mobiles Arsen ist wegen der meist niedrigen pH-Werte des Haldenabbaus und der Fixierung von Arsen an Eisenoxide und -hydroxide nur ausnahmsweise erhöht.

Die Untersuchung radioaktiver Elemente weist überwiegend auf eine geringe Mobilität von ^{238}U hin. Dagegen wurden bei ^{226}Ra mit 2-30 % und bei ^{232}Th mit 15-25 % (eine Ausnahme: 2-3 %) höhere mobile Anteile festgestellt.

Die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung wurden nur in wenigen Fällen in austretenden Haldenwässern überschritten, im Wasser von Bächen und Flüssen dagegen stets unterschritten. Nahe gelegene alte Abbaue sind jedoch oft durch hohe Schwermetall- und Arsengehalte in den Sedimenten der Bäche und Flüsse zu erkennen.

Kontaminierte Bereiche an den einzelnen Standorten werden jetzt abgegrenzt. Notwendige Maßnahmen (z. B. nähere Erkundung, Überwachung usw.) leiten die Umweltbehörden ein.

Anhang

Quellen- und Literaturhinweise

Ballschmiter, Karlheinz/Zell, M.: Analysis of Polychlorinated Biphenyls (PCB) by Glass Capillary Gas Chromatography. Fresenius Z. Anal. Chem. 302, 20-31, 1980

DIN 51 527, Teil 1: Bestimmung polychlorierter Biphenyle (PCB). Deutsches Institut für Normung, Normenausschuss Materialprüfung (NMP), 5 S., 1987

Fritsche, R./Schmitz, J.: Bestandsaufnahme von Rückstandshalden aus Bergbau und Erzaufbereitung in Baden-Württem-

berg; Forschungszentrum Karlsruhe, Technik und Umwelt, 3 Bände: FZKA 5768B, 5769B, 5770B; 1996

Landesanstalt für Umweltschutz: Schwermetallbelastungen durch den historischen Bergbau im Raum Wiesloch. Handbuch Boden Heft 7, 192 S.; Karlsruhe 1997

Landesanstalt für Umweltschutz: Bodenaushub ist mehr als Abfall. Bodenschutz, Heft 3, 78 S., Karlsruhe 1999

Landesanstalt für Umweltschutz: Erhebungsuntersuchungen zur Qualität von Geländeauffüllungen. Bodenschutz, Heft 4, 107 S., Karlsruhe 2000

Umweltministerium Baden-Württemberg, Reihe Luft - Boden - Abfall:

- Technische Verwertung von Bodenaushub. Heft 24, 95 S.; Stuttgart 1993
- Leitfaden zum Schutz der Böden beim Auftrag von kultivierbarem Bodenaushub. Heft 28, 36 S.; Stuttgart 1994
- Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit - Leitfaden für Planungen und Gestattungsverfahren. Heft 31, 53 S.; Stuttgart 1995
- Schwermetallgehalte in Böden und Pflanzen alter Bergbaustandorte im Südschwarzwald. Heft 32, 87 S.; Stuttgart 1995
- Schwermetallgehalte in Böden und Pflanzen alter Bergbaustandorte im Mittleren Schwarzwald. Heft 33, 69 S.; Stuttgart 1995
- Schadstoffbelastung der Böden und des Aufwuchses im Bereich von Wurftauben-Schießanlagen. Heft 38, 33 S.; Stuttgart 1995

Informationsmöglichkeiten

bibliothek@lfuka.lfu.bwl.de (zum Bodenschutz)

Bodenschutz-Fachinformationen im World Wide Web:
<http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de>

Lebensmittelüberwachung

Von Zeit zu Zeit wird in der Öffentlichkeit, etwa bei der Verfälschung von Speiseölen oder missbräuchlichem Einsatz von Arzneimitteln in der Tiermast, die Forderung wiederholt, die staatliche Kontrolle der Lebensmittel einschließlich des Trinkwassers, der Tabakwaren, der kosmetischen Mittel und der sonstigen Bedarfsgegenstände müsse flächendeckend und lückenlos sein. Eine derartige Vorstellung lässt die Grundsätze, die Möglichkeiten und den Sinn einer für den Schutz des Verbrauchers und der seriösen Wirtschaft erforderlichen, finanzierbaren, praktikablen und sachdienlichen amtlichen Lebensmittelüberwachung außer Acht. Punktuell sind bei erkannten Missständen umfassende Kontrollmaßnahmen zum Schutz der Verbraucher selbstverständlich. Vom Grundsatz her aber kann die Lebensmittelüberwachung stets nur ein Stichprobensystem sein, dessen Aufgabe darin besteht, die Eigenverantwortlichkeit der Wirtschaft und des Handels gegenüber dem Verbraucher - also deren Sorgfaltspflicht - zu überprüfen. Dabei kommt der vorbeugenden Überwachung in Form intensiver, sachgerechter Betriebsbesichtigungen eine herausragende Bedeutung zu. Dieser Grundsatz findet seinen Ausdruck sowohl im Ausführungsgesetz zum Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz (AGLMBG) (1) als auch im gemeinsamen Überwachungserlass Baden-Württemberg (2).

An der Lebensmittelüberwachung sind mehrere Institutionen beteiligt, von deren intensiver und sachgerechter Kooperation die Qualität der Überwachung entscheidend abhängt. Zuständige Vollzugsbehörde ist die Untere Verwaltungsbehörde (Amt für öffentliche Ordnung der Stadtkreise, Landratsamt) (siehe AGLMBG (1)). Zu deren Unterstützung kommt dem Wirtschaftskontrolldienst - als Teil des Polizeivollzugsdienstes - die Aufgabe zu, Proben zu entnehmen, Betriebe zu besichtigen, dies mit den wissenschaftlichen Sachverständigen zu koordinieren

LEBENSMITTEL

Lebensmittelüberwachung	H – 1
Natürlich bedingte Verunreinigungen	H – 2
Umweltbedingte Verunreinigungen	H – 6
Rückstände	H – 8
Dioxine	H – 10
Bestrahlungsnachweis	H – 11
Zusatzstoffe	H – 12
Nachweis gentechnischer Veränderungen	H – 13
Wasch- und Reinigungsmittel	H – 14
Trinkwasser	H – 14
Anhang	H – 16

sowie zur Weiterverfolgung von Beanstandungen zu ermitteln (2).

Zuständige Untersuchungseinrichtungen sind die Chemischen und Veterinäruntersuchungsämter in den jeweiligen Regierungsbezirken.

Im Juni 1996 wechselte die Zuständigkeit für die Amtliche Lebensmittelüberwachung vom Umwelt- zum Ministerium Ländlicher Raum. Anschließend wurden zunächst die chemischen und tierärztlichen Untersuchungseinrichtungen im Regierungsbezirk Stuttgart im Chemischen und Veterinäruntersuchungsamt (CVUA) Stuttgart, Dienstsitz Fellbach, zusammengefasst, und zum Jahreswechsel 1999/2000 erfolgte diese Integration

zu CVUAs auch in den anderen drei Regierungsbezirken.

Diese Fachinstitute untersuchen, bewerten und beurteilen Lebensmittelproben und liefern Erkenntnisse über die aktuelle Situation im Lebensmittelbereich.

Dabei werden bei der Lebensmittelüberwachung zahlreiche Parameter überprüft (Abb. 1).

Auf Grund des vorbeugenden Kontrollcharakters kommt den Betriebsbesichtigungen ein herausragendes Gewicht zu. Dabei sind die hygienischen Betriebsbedingungen bei Herstellung und Verkauf besonders zu beachten. Die Prüfer nehmen Inspektionen insbesonde-

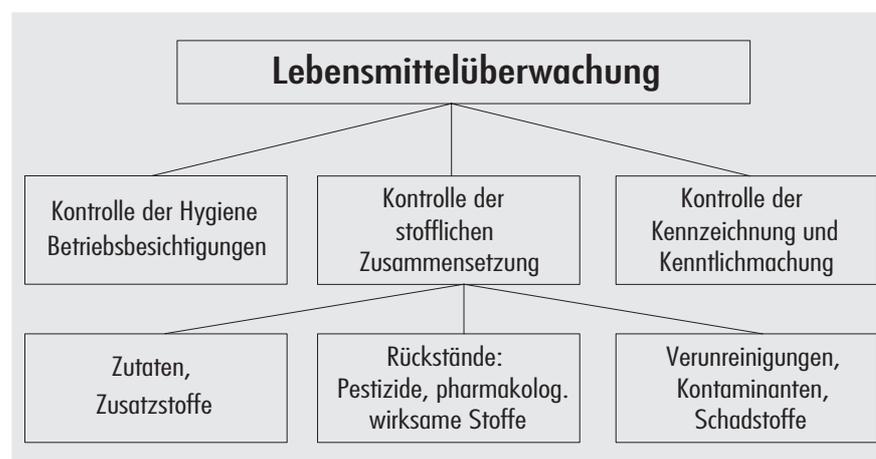


Abb. 1 Erfasste Parameter

re bei allen Sparten lebensmittelherstellender oder -verarbeitender Betriebe vor. Für die Feststellung der stofflichen Zusammensetzung (Produktqualität) sind Laboruntersuchungen unerlässlich. Geprüft wird, ob die Proben den rechtlichen Mindestanforderungen genügen, einwandfreie Rohstoffe (Zutaten), nur zulässige und den Reinheitsanforderungen entsprechende Zusatzstoffe, wie Farb- und Konservierungsstoffe, verwendet werden und Rückstände von Pflanzenbehandlungs- oder Tierarzneimitteln die zulässigen Höchstmengen nicht überschreiten. Des Weiteren ist es zum Schutz des Verbrauchers vor Täuschung auch notwendig, die Kennzeichnung und Kenntlichmachung aller Produkte zu überwachen. Einen ständig wachsenden Aufgabenbereich stellt die Kontrolle gegebenenfalls gesundheitsgefährdender Verunreinigungen in Lebensmitteln dar. Verunreinigungen können natürlich bedingt sein, z.B. Mykotoxine, oder durch Verarbeitungsprozesse sowie die allgemeine Umweltbelastung, z.B. toxische Spurenelemente, Moschusxylool in Fischen, Humanmilch und Kosmetika, Nitrat in Gemüse und Trinkwasser, verursacht sein.

In besonderem Maße muss der Verbraucher vor überhöhten Rückständen an Pflanzenbehandlungs- und Tierarzneimitteln (pharmakologisch wirksamen Stoffen) sowie vor durch den Menschen verursachten (z.B. polychlorierten Biphenylen, Dioxinen, leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffen, toxischen Spurenelementen oder sonstigen Umweltchemikalien) wie auch vor natürlichen Verunreinigungen (z.B. Schimmelpilzstoffwechselprodukten und Toxinen) geschützt werden. Daher haben diese Problembereiche eine besondere Bedeutung. Um die Belastung des Menschen durch diese Stoffgruppen sachgerecht beurteilen zu können, ist die Kenntnis der jeweiligen Situation unerlässlich. Eine derartige Statusaufnahme enthält für zahlreiche Stoffe das deutschlandweite Monitoring-Programm. Es hat etwa die gleichen Ziele, die die Landesregierung

mit den Umweltforschungsprogrammen I-III bereits Anfang der achtziger Jahre verfolgt hatte.

Aus aktuellen Gegebenheiten haben die Lebensmittelchemiker des Landes mit besonderem Nachdruck die Analytik zum Nachweis gentechnisch veränderter oder gewonnener Lebensmittel sowie zum Nachweis einer möglichen Behandlung von Lebensmitteln mit ionisierenden Strahlen fortentwickelt, um auch auf diesen Gebieten den ausreichenden Schutz der Verbraucher gewährleisten zu können.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass entgegen häufig anders lautenden Aussagen keineswegs stets die Kennzeichnungs- und Kenntlichmachungsmängel überwiegen, sondern durchaus in nennenswertem Umfang materielle Beeinträchtigungen festzustellen sind. Allerdings beruhen diese zu einem beträchtlichen Teil auf einem grundsätzlich leicht abstellbar erscheinenden persönlichen Fehlverhalten (Einsatz nicht zulässiger Zusatzstoffe, Nichtkenntlichmachung verwendeter Zusatzstoffe, unzulängliche Lagerbedingungen, Überlagerungen, unsachgemäßer Umgang mit der Ware, Manipulationen des Mindesthaltbarkeitsdatums).

Zu berücksichtigen ist dabei allerdings, dass bei bestimmten Produktgruppen ein beachtlicher Prozentsatz der Proben gezielt erhoben wird, um einer Beschwerde oder einem Verdacht nachzugehen.

Die hier für Lebensmittel getroffenen Feststellungen gelten in ähnlicher Weise auch für kosmetische Mittel und Bedarfsgegenstände (Einsatz ungeeigneter oder unzulässiger Stoffe, fehlende Warnhinweise). Besonders beobachtet werden hierbei übertriebene Werbeaussagen und verharmlosende Produktbeschreibungen.

Natürlich bedingte Verunreinigungen

Aflatoxine

Bezüglich der Kontamination der Lebensmittel durch nicht umweltbedingte

Verunreinigungen ist besonders auf die Mykotoxine, vor allem Aflatoxine, zu achten. Diese Verunreinigung ist aus gesundheitlicher Sicht als viel gravierender zu beurteilen als die durch die meisten Umweltchemikalien verursachten Verunreinigungen. Daher erfasst die Mykotoxin-Höchstmengen-Verordnung (4), eine Umsetzung der EG-Richtlinie 98/53/EG in deutsches Recht, alle Lebensmittel. Ebenso wurden Höchstmengen für Milch und Säuglingsnahrung (Aflatoxin M1) eingeführt (Diätverordnung, 5). Aflatoxin M1 konnte in keiner der untersuchten Proben Säuglings- und Kleinkindernahrung nachgewiesen werden. Trotz insgesamt eingetretener Verbesserung gehören Erdnüsse und gemahlene Haselnüsse zu den Lebensmitteln, bei denen punktuell die zulässigen Höchstmengen überschritten sein können, bei Pistazien durchaus in größerem Umfang (Abb. 2).

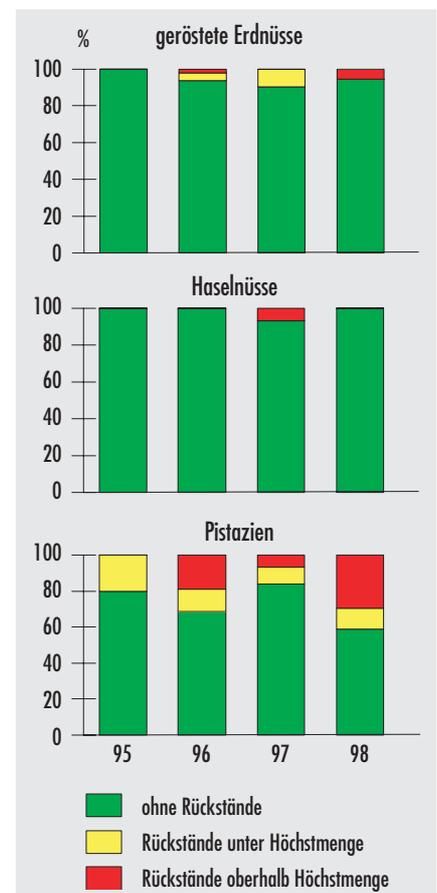


Abb. 2 Aflatoxine in Lebensmitteln (Quelle: CVUAs/CUÄ Baden-Württemberg)

Außerdem sind einige Gewürze häufig mit hohen Aflatoxinmengen belastet (Abb. 3). Eine allgemeine Besserung der Situation ist bei den Produkten Chilis, Muskatnüsse und Paprika noch nicht erkennbar.

Für die hohen Aflatoxingehalte in diesen Gewürzen werden in erster Linie mangelhafte Ernte- und Trocknungsmethoden in den Anbauländern verantwortlich gemacht.

Besonders bei Feigen ist jedoch auch bekannt, dass aflatoxinbildende Schimmelpilze bereits bei der Bestäubung durch Insekten in die Blütenstände übertragen werden. Feuchtwarmes Klima begünstigt dann die Aflatoxinbildung. Findet die Ernte der Früchte zudem nicht von Hand statt, werden viele Früchte beim Herabfallen verletzt und können am Boden erneut mit Schimmelpilzen infiziert werden.

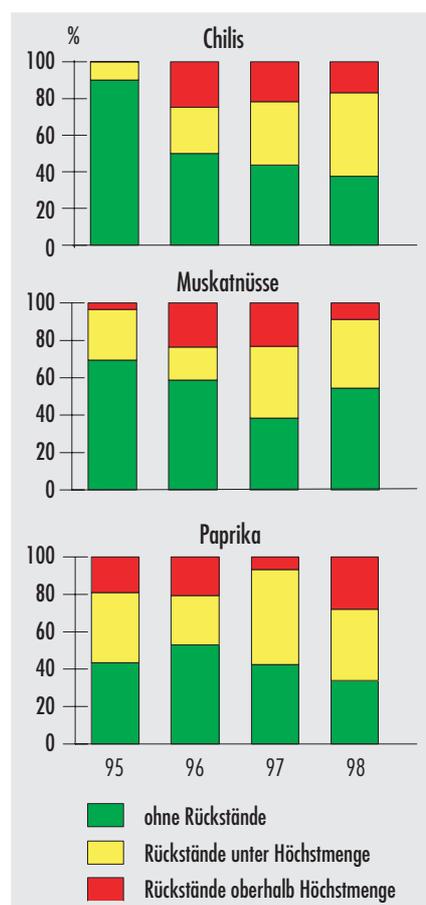


Abb. 3 Aflatoxine in Gewürzen (Quelle: CVUAs/CUÄ Baden-Württemberg)

Ochratoxin A

Ochratoxin A ist ein auf pflanzlichen Produkten, insbesondere bei Getreide, vorkommendes Mykotoxin, das von einigen weit verbreiteten Schimmelpilzarten gebildet wird.

Im Gegensatz zu den Aflatoxinen ist es bevorzugt in landwirtschaftlichen Erzeugnissen der gemäßigten Klimaregionen nachzuweisen. Die Bildung wird besonders durch die Temperatur und den Feuchtigkeitsgehalt während der Ernte, Weiterbearbeitung und Lagerzeit beeinflusst. Sie lässt sich durch geeignete Trocknungs-, Transport- und Lagerbedingungen sowie durch einwandfreie Hygiene der Produkte und deren Herstellung weitgehend vermeiden.

Über belastete Futtermittel kommt es auch zu Rückständen in tierischen Produkten. Dabei sind in erster Linie Schweinenieren und Erzeugnisse zu nennen, die unter Verwendung von Blut hergestellt werden (z.B. Blut- und Schwarzwurst). Eine Studie des Bundesinstituts für gesundheitlichen

Verbraucherschutz und Veterinärmedizin hat weitere Lebensmittel, u.a. Kaffee, Wein, Traubensaft, Kakao, Gewürze, als Ochratoxin A-haltig erkannt.

Ochratoxin A gilt als nierentoxisch. Eine in Balkanländern beobachtete Erkrankung der menschlichen Nieren ("endemische Balkan-Nephropathie") wurde mit dem Verzehr von Ochratoxin A-haltigem Getreide und Brot in Verbindung gebracht. Die für Tiere kancerogene Wirkung ist allerdings beim Menschen noch nicht eindeutig nachgewiesen worden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigt Tab. 1.

Da *Rotwein* bei der Maischegärung eine bestimmte Zeit auf der Maische steht und im Süden höhere Temperaturen herrschen, sind hygienische Mängel bei der Weinbereitung als Ursache der Kontaminationen in der Diskussion.

Weiterhin zeigt sich, dass auch *Traubenmost* und *Traubensaft* relativ hoch mit Ochratoxin A belastet sein können. Die Lebensmittelüberwachung beurteilt

Bezeichnung	Anzahl		Gehalt an Ochratoxin A Maximalwert in µg/kg
	Gesamt	Ochratoxin A-haltige Proben	
Niere, Schwein	38	10	2,2
andere Lebensmittel vom Tier	11	0	
Getreide	280	27	15,4
Buchweizen	30	8	10,5
Getreideprodukte	282	54	16,2
Ölsaaten, Nüsse	105	29	6,8
Traubensaft, rot	94	63	3,7
Traubensaft, weiß	16	8	0,05
andere Säfte	36	0	
Traubenmost, D	9	0	
Traubenmost, EU	3	3	1,5
Wein, weiß	17	0	
Wein, rot/rosé, D	56	1	0,03
Wein, rot/rosé, EU	79	33	1,9
Bier	35	3	0,07
Süßwaren	20	3	0,16
Kakao	20	14	3,2
Kaffee	55	14	5,3
Säuglingsnahrung	8	3	3,1
Gewürze	60	35	17
Gesamt	1254	308	

Tab. 1 Ochratoxin A in Lebensmitteln (Quelle: CVUA Sigmaringen 1998)

Natürlich bedingte Verunreinigungen

Ochratoxin A-Gehalte in Traubensaft als kritisch, weil diese Säfte oft von Kindern getrunken werden. Bei der Überprüfung anderer Säfte konnte keine Belastung festgestellt werden.

Die Spitzenwerte in *Getreide* von ca. 5-15 µg/kg sind wahrscheinlich auf die Lagerung oder nicht einwandfreie Mülle-reichtechnik zurückzuführen. Weiterverarbeitete Getreideprodukte, insbesondere Getreidemehle, Maisgries und Vollkornprodukte, weisen in der Regel eine höhere Belastung mit Ochratoxin A auf als die ganzen Körner.

Besonders kritisch sind die relativ hohen Gehalte in *Säuglings- und Kleinkindernahrung auf Getreidebasis* zu beurteilen, die gelegentlich nachzuweisen sind. Hier muss auf eine nicht genügende Qualitätskontrolle der Rohstoffe oder auf schlechte Lagerbedingungen im Betrieb geschlossen werden.

Die ebenfalls zu den Grundnahrungsmitteln zu rechnenden *Nudeln, Brot und Brötchen* tragen nur untergeordnet zur Belastung des Menschen mit Ochratoxin A bei. Bei Braugerste und dem daraus hergestellten Bier konnten keine wesentlichen Ochratoxin A-Belastungen nachgewiesen werden.

Immer wieder kommt es zu einzelnen hohen Belastungen von *Kürbiskernen*. Eine Erklärung für diese Belastungsspitzen ist bisher nicht gefunden worden.

Unter den *Gewürzen* enthalten vor allem Paprika und Paprika-Gewürzubereitungen (türkischer, gebrochener Paprika) für Döner Kebab Ochratoxin A, zum Teil in erheblichen Mengen.

Fusarientoxine

Schimmelpilze der Gattung *Fusarium* bilden Fusarientoxine. Diese Schimmelpilze, sogenannte Feldpilze, können Getreide schon vor der Ernte auf dem Feld besiedeln und Mykotoxine bilden. Feldpilze benötigen für ihr Wachstum eine hohe Luftfeuchtigkeit und ein relativ warmes Klima. Diese Bedingungen sind

in regenreichen, warmen Sommern, wie z.B. 1998, auch in Mitteleuropa erfüllt.

Geeignete Maßnahmen der guten landwirtschaftlichen Praxis (Standortwahl, Fruchtfolge, harmonische Düngung, sachgerechte Lagerung) können den Besatz des Getreides mit Fusarientoxinen gering halten. Zum Beispiel werden bei Getreide mit der Vorfrucht Mais und bei nicht wendender Bearbeitung des Bodens deutlich höhere Mykotoxin-Konzentrationen festgestellt.

Durch den Einsatz von Fungiziden (Applikation in die Blüte) lassen sich die Gehalte an Fusarientoxinen deutlich reduzieren. Dies ist wahrscheinlich zum einen auf die Hemmung der Synthese der Toxine und zum anderen auf einen Verdünnungseffekt (Ausbildung einer größeren Anzahl an gesunden, unbefallenen Körnern) zurückzuführen.

Fusarientoxine werden in verschiedene Gruppen eingeteilt: Fumonisine, Zearaleon, Trichothecene und andere Fusarientoxine.

1. Fumonisine

Schimmelpilze der Gattung *Fusarium*, insbesondere *F. moniliforme*, bilden Fumonisine. Diese Schimmelpilze kommen vorrangig in tropischen und subtropischen Gebieten vor; allerdings wurde nachgewiesen, dass die Schimmelpilze auch in der Lage sind, in unseren Breiten die Gifte zu produzieren.

Die erst 1988 in Südafrika isolierten und charakterisierten Schimmelpilzgifte sind in ihrer Struktur Zellwandbestandteilen ähnlich und verursachen verschiedene

Krankheiten an Nutztieren. Sie stehen im konkreten Verdacht, Tumorpromotoren und Tumorinitiatoren zu sein, und zeigen möglicherweise auch im menschlichen Organismus kanzerogene und teratogene Wirkung.

In Deutschland und in der Europäischen Union gibt es keine gesetzlichen Höchst-mengenregelungen. Als Toleranzwert werden 1000 µg/kg Fumonisine diskutiert. Die Klärung der Kontaminationsursachen und ihre Beseitigung sollten im Vordergrund stehen.

Als belastete Lebensmittel kommen hauptsächlich Getreide, insbesondere Mais und daraus hergestellte Produkte, in Frage (Tab. 2). Durch die bekannten technologischen Herstellungsverfahren werden die Gifte so gut wie nicht zerstört. Südafrikanische und schweizer Studien zeigen, dass die Fumonisinzufuhr der Bevölkerung durchaus bei den Mengen liegen kann, die in Südafrika zu den Erkrankungen führten.

Vermeehrt höhere Mengen an Fumonisinen traten in *Maismehl* und *Maisgries aus kontrolliert biologischem Anbau* auf. Dies liegt vermutlich am Verzicht auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (Pilzbehandlungsmitteln) und an einer nicht sachgemäßen Lagerung nach der Ernte. Fumonisin-positive Befunde bei Lebensmitteln aus kontrolliert biologischem Anbau sieht die Lebensmittelüberwachung als kritisch an, da der Verbraucher in der Regel davon ausgeht, dass derartige Produkte weitestgehend frei von Schadstoffen sind.

Lebensmittel	Gesamtproben	Proben mit Gehalten an Fumonisinen in µg/kg			
		n.n.	<500	500-1.000	>1.000
Mais, Maisprodukte	242	174	41	11	16
Getreide	66	66			
Babynahrung	20	20			
Ölsamen, Nüsse	51	51			
Gewürze	10	10			
Anzahl aller Proben	389	321	41	11	16
Anteil [%]		82,5	10,5	2,8	4,1

Tab. 2 Fumonisine in Lebensmitteln (Quelle: MLR 1999)

2. Zearalenon

Als Hauptproduzenten von Zearalenon treten *F. avenaceum* und *F. graminearum* auf.

Zearalenon taucht nicht nur auf *Getreide* und Getreideprodukten auf. Auch in *Nüssen*, *Tomaten* und *Bananen* konnte dieses Mykotoxin nachgewiesen werden (Tab. 3).

Die Gefahr für Mensch und Tier liegt in der östrogenen Wirkung dieser chemischen Verbindung. Der Verzehr von mit Zearalenon kontaminierten Futtermitteln führte bei weiblichen Schweinen zu krankhafter Vergrößerung von Vulva und Uterus sowie zum Absterben von Föten.

Bei männlichen Schweinen wurde Hodenschwund beobachtet.

Die Stoffwechselprodukte des Zearalenons sind östrogen noch wesentlich wirksamer als die Muttersubstanz. Diese werden z.B. mit der Milch wieder ausgeschieden und stellen daher auch eine besondere Gefahr für Mensch und Tier dar. Außerdem steht Zearalenon im Verdacht, bei der Entstehung von Krebsarten eine Rolle zu spielen.

Studien zur Erfassung der Toxizität von Zearalenon und zur Einschätzung des Verbraucherrisikos sind noch nicht abgeschlossen.

Aus diesen Gründen haben weder Deutschland noch die EU Höchstmengen

Bezeichnung	Anzahl	Gehalt an Zearalenon in µg/kg				
		< NWG	NWG-10	10-50	50-100	> 100
Babynahrung	9	8	1			
Weizen	31	24	5	2		
Roggen	20	20				
Hafer	20	20				
Gerste	10	7	3			
Dinkel	14	13	1			
Mais	35	25	7	2	1	
Getreideprodukte	33	26	7			
Buchweizen	10	10				
Reis	14	14				
Ölsaaten, Nüsse	88	84	4			
andere Lebensmittel	41	41				
Gesamt	325	292	28	4	1	0

Tab. 3 Untersuchung von Lebensmitteln auf Zearalenon (Quelle: CVUA Sigmaringen 1999)

Bezeichnung	Anzahl	Gehalt an Deoxynivalenol in µg/kg				
		< NWG	NWG-100	100-200	200-500	> 500
Babynahrung	10	4	3	1		2
Weizen	31	4	13	6	7	1
Roggen	20	1	0	9	1	
Hafer	20	1	1	9		
Gerste	10	7	3			
Dinkel	12	6	5		1	
Mais	35	15	17	2		1
Getreideprodukte	43	19	12	9	2	1
Reis	13	9	4			
Buchweizen	10	9	1			
Ölsaaten, Nüsse	125	101	20	4		
Kaffee	12	9	2	1		
Gewürze	50	50				
andere Lebensmittel	21	21				
Gesamt	412	275	98	24	10	5

Tab. 4 Untersuchung von Lebensmitteln auf Deoxynivalenol (Quelle: CVUA Sigmaringen 1999)

rechtlich festgelegt. Allerdings liegen Vorschläge vor, den Gehalt an Zearalenon auf 60 µg/kg Lebensmittel festzusetzen.

3. Trichothecene und andere Fusarientoxine

Die Toxine dieser Gruppe sind chemisch eng miteinander verwandt. Als Hauptproduzenten gelten *F. graminearum*, *F. culmorum* und andere Fusarienarten, die häufig auf Getreide vorkommen. Als Leittoxin bestimmten Forscher hier stellvertretend für die anderen Trichothecene das in aller Regel am häufigsten in belasteten Getreideproben auftretende Deoxynivalenol.

Die Aufnahme dieser Mykotoxine mit der Nahrung bewirkt Veränderungen des Blutbildes sowie Erkrankungen innerer Organe (Herz, Nieren) und des Magen-Darm-Traktes (Erbrechen, Durchfall). Weiterhin besitzt Deoxynivalenol mutagene und immunsuppressive Eigenschaften (Anfälligkeit gegenüber Infektionserkrankungen).

Studien zur Erfassung der Toxizität von Deoxynivalenol und zur Einschätzung des Verbraucherrisikos sind noch nicht abgeschlossen. Daher fehlen in Deutschland und in der EU rechtlich festgelegte Höchstmengen.

Die Kontamination scheint sich hauptsächlich auf Lebensmittel der Warengruppen *Getreide*, Getreideprodukte, Backwaren und andere Weiterverarbeitungsprodukte sowie auf *Hülsenfrüchte*, *Ölsaaten* und *Schalenobst* zu beschränken (Tab. 4). In anderen Lebensmittelgruppen konnte Deoxynivalenol bisher nicht nachgewiesen werden. Eine Getreideprobe unmittelbar vom Feld wies 7400 µg/kg auf (Probe stammt nicht aus dem Lebensmittelhandel!).

In *Speisegetreide* oder *Mehlen* waren bisher kaum auffallend hohe Belastungen (>500 µg/kg) festzustellen. Dieser Befund könnte darauf beruhen, dass die Mühlenbetriebe, aufgeschreckt von diesen Berichten, besonders sorgfältig das Getreide in Speise- und Futtermittel trennten, so dass zu Speisezwecken

Natürlich bedingte Verunreinigungen, Umweltbedingte Verunreinigungen

besonders ausgewähltes Getreide auf den Markt gelangte. Außerdem scheint bei guter Müllereipraxis durch die Reinigung des Getreides zu Speisezwecken ein hoher Anteil der Belastung ausgesondert zu werden, allerdings sind immer wieder Ausreißer festzustellen.

Relativ hoch belastet waren zwei Proben *Säuglingsnahrung* (7-Kornbrei) eines bekannten Herstellers mit 505 µg/kg bzw. 537 µg/kg (Nachprobe). Auch hier ist das Bewusstsein, mykotoxinarme Produkte herzustellen, nicht genügend ausgebildet. Gehalte von Mykotoxinen in Produkten für Säuglinge und Kleinkinder sieht die Lebensmittelüberwachung als sehr problematisch an, da Kleinkinder eine besonders empfindliche Personengruppe sind. Zusätzlich nimmt der Verbraucher in der Regel an, dass derartige Produkte weitestgehend frei von Schadstoffen sind.

Umweltbedingte Verunreinigungen

Anthropogen bedingte Verunreinigungen gelangen unbeabsichtigt in die Lebensmittel (Abb. 4). Sie entstammen Emissionen der verschiedensten Quellen, kommen über Boden, Luft und Wasser in die Lebensmittel und reichern sich innerhalb der Nahrungskette an. Sie können entweder akut oder durch Anreicherung im menschlichen Körper langfristig schädlich sein. Die Kenntnis und eine ständige Überwachung ihres Gehaltes in der Nahrung sind daher zum Schutz der Verbraucher unerlässlich.

Schwermetalle

Abb. 5 gibt einen Überblick über die Gehalte an Blei und Cadmium in verschiedenen Lebensmitteln.

Dabei bedeutet der Medianwert, dass 50 % aller nachgewiesenen Gehalte unter diesem Wert liegen; das 90-Perzentil gibt den Wert wieder, unter dem 90 % aller nachgewiesenen Gehalte liegen.

Auffällige Gehalte an *Blei* zeigen sich insbesondere bei Gemüse-, Pilz- und Obst-Erzeugnissen sowie bei Krusten-, Schalen- und Weichtieren. Hierbei

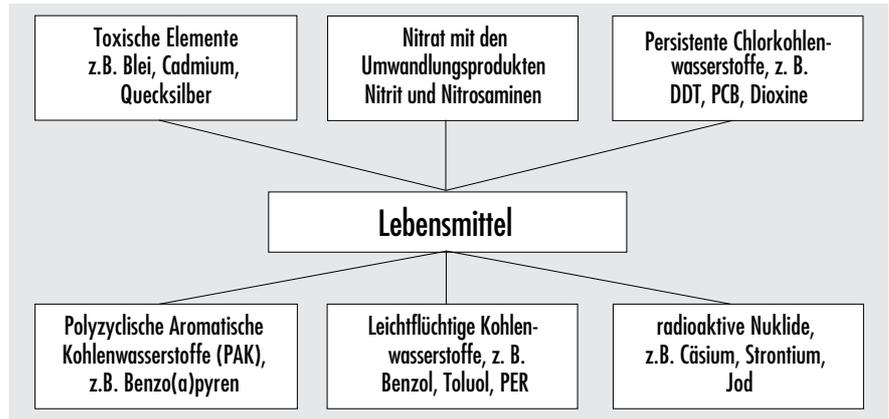


Abb. 4 Anthropogen bedingte Verunreinigungen in Lebensmitteln

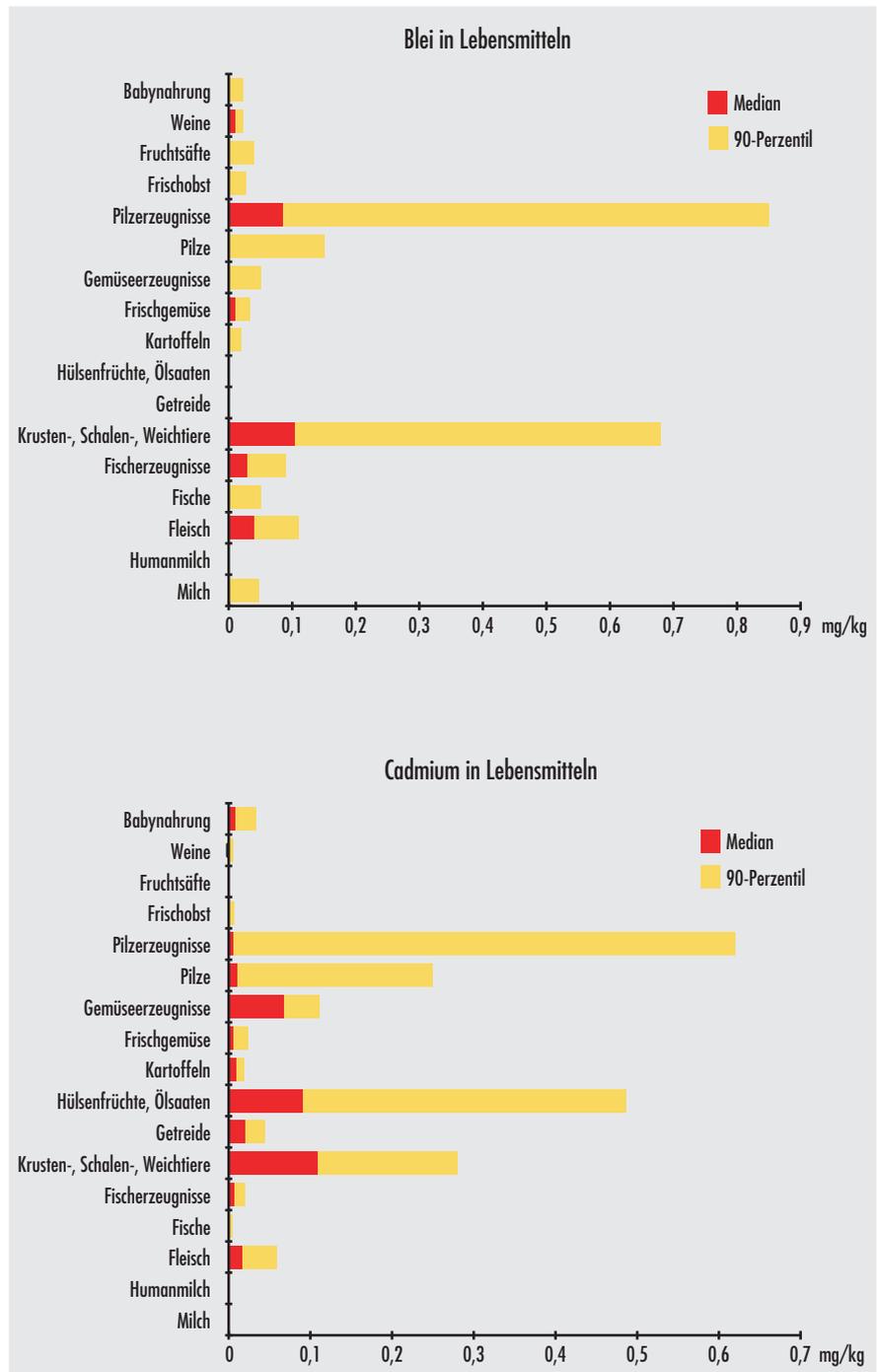


Abb. 5 Schwermetalle in Lebensmitteln 1998 (Quellen: CVUAs/CUÄ Baden-Württemberg)

handelt es sich aber größtenteils um Konserven. Bei gelöteten Dosen kann bei unsachgemäßer Verarbeitung und Lagerung Blei aus dem Lot in das Lebensmittel gelangen. Die Richtwerte des Bundesinstituts für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV, 6) wurden jedoch nur von einer Probe Krusten-/Schalen-/Weichtiere überschritten.

Diese gehören zu den belasteten Lebensmitteln, die aber von der Verzehrsmenge her nicht stark ins Gewicht fallen. Auffällige Werte an *Cadmium* bei Tintenfisch sind nicht zuletzt durch die Mitverwendung der Innereien zu erklären, die signifikant belastet sind. Seit 1988 werden bevorzugt derartige Produkte untersucht. Einzelne Proben weisen Belastungen auf, die die Richtwerte des BGA um das Doppelte und mehr überschreiten. Muscheln, die ihre Nahrung durch das Filtern von Wasser aufnehmen, nehmen damit auch die Schadstoffe aus dem Wasser auf und sind somit naturgemäß ebenfalls stark belastet.

Innereien von Schlachttieren sind bekanntermaßen besonders mit Schwermetallen verunreinigt. Auffällige Belastungen werden zwar kaum beobachtet. Weiterhin gültig sind allerdings die Empfehlungen des BgVV, Nieren von Rindern und Schweinen nicht häufiger als alle 2-3 Wochen zu verzehren. Auch bei Waldpilzen besteht die Empfehlung, wöchentlich nicht mehr als 1-2 Mahlzeiten zu sich zu nehmen. Waldpilze reichern über ihre weitläufigen Mycelien Schwermetalle aus dem Waldboden an. Bei der Weiterverarbeitung zu Pilzerzeugnissen findet beim Konservieren durch Wasserverlust zusätzlich noch eine Anreicherung statt.

Unter Hülsenfrüchte fallen auch die Erdnüsse. Diese reichern besonders stark Cadmium an, vorzugsweise in der rötlichen Samenschale. Die Gehalte in den eigentlichen Früchten, den Erdnüssen, liegen dagegen unterhalb der Richtwerte des BgVV.

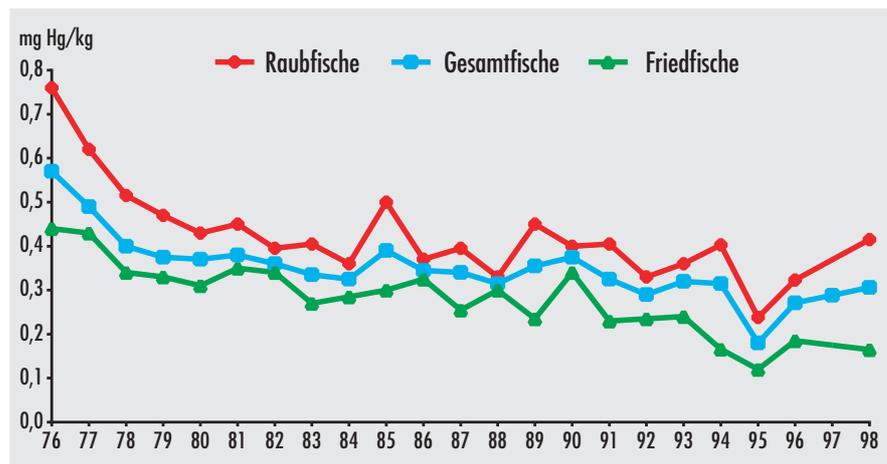


Abb. 6 Quecksilbergehalte von Rheinfischen (Quellen: CVUAs/CUÄ Baden-Württemberg)

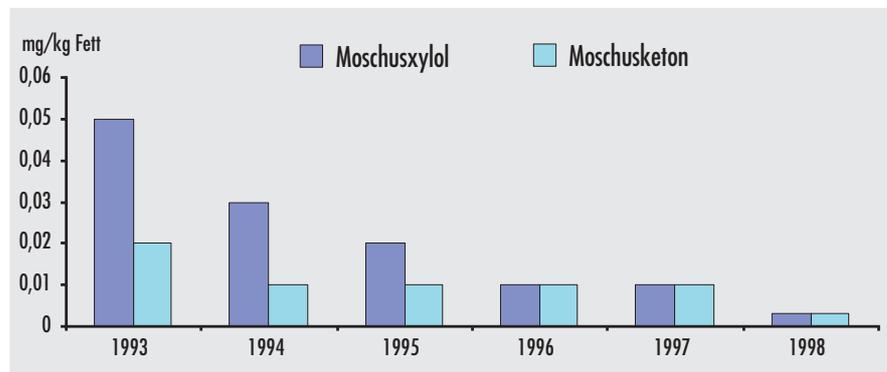


Abb. 7 Moschusverbindungen in Humanmilch (Quellen: CVUAs/CUÄ Baden-Württemberg)

Über die Jahre hinweg zeichnen sich bei Frischgemüsen etwa gleichbleibende Belastungen durch Blei (Pb) und Cadmium (Cd) ab, die zudem niedrig liegen. Babynahrung ist nur gering belastet.

Schwermetalle in Rheinfischen

Schon seit Jahren sind die Blei- und Cadmiumgehalte der Fische aus dem Rhein durchgehend niedriger als die Richtwerte des BgVV (6); bei Quecksilber (Hg) liegt die mittlere Belastung bei ca. 0,3 mg/kg. Nur wenige Fischproben überschritten bisher die Höchstwerte der Schadstoff-Höchstmengen-Verordnung (7). Den Trend seit 1976 zeigt Abb. 6. Nach einer ca. 50%igen Absenkwerte scheint sich der Hg-Wert auf einem relativ konstanten Niveau einzupendeln.

Nitromoschusverbindungen

Der Nachweis von Moschus-Xylol u.a. in Flussfischen und Muttermilch hat die Aufmerksamkeit auf diese als Riechstoffe verwendete Substanzklasse gelenkt. Diese

synthetischen Duftstoffe wurden in großem Umfang eingesetzt, um Parfüme und andere Kosmetika herzustellen, und für technische Parfümierungen (Weichspüler, Waschmittel).

Ende 1991 gelang es, in Forellen aus Skandinavien erstmals Moschus-Xylol nachzuweisen. Im Laufe des Jahres 1992 wurde diese Verbindung auch in Muttermilch entdeckt. Seit der Deutsche Industrieverband Körperpflege und Waschmittel e.V. seinen Mitgliedern empfohlen hat, ab 1994 im Haushalt auf Moschus-Xylol-haltige Wasch- und Reinigungsmittel zu verzichten, macht sich eine Abnahme von Moschus-Xylol und Moschusketon in Humanmilch bemerkbar (Abb. 7).

Nitrat

Untersuchungen spezieller Lebensmittel auf ihren Gehalt an Nitrat finden in Baden-Württemberg in großem Umfang seit 1982 statt. Dabei wurde erkannt, dass bestimmte Gemüsearten in Abhängigkeit

Umweltbedingte Verunreinigungen, Rückstände

von verschiedenen Faktoren (vor allem Düngung, aber auch Klima, Reifezustand, Sonneneinstrahlung, Standort sowie Art des Anbaus (Freiland, unter Glas)) bevorzugt Nitrat anreichern. Eine Übersicht gibt Abb. 8. Im Hinblick auf eine mögliche Gefährdung der menschlichen Gesundheit infolge Methämoglobin- und Nitrosaminbildung durch überhöhte, vermeidbare Nitratmengen hat das BgVV seit 1986 vorsorgliche Richtwerte für Nitrat in bestimmten Gemüsearten festgesetzt (6): für die stark nitrathaltigen Gemüse Rote Beete 3000 mg/kg, Feldsalat 2500 mg/kg, Radieschen 3000 mg/kg und Rettich 3000 mg/kg. Für Kopfsalat und Spinat wurden in der EU-Kontaminantenverordnung (9) Nitrat-Höchstmengen festgelegt, und zwar für Salat (mit Ausnahme von Freilandsalat) in Abhängigkeit vom Erntezeitraum 2500-4500 mg/kg sowie für Spinat (Winter) 3000 mg/kg und (Sommer) 2500 mg/kg.

Rückstände

Rückstände sind Stoffe, die entweder während der landwirtschaftlichen Erzeugung oder der Vorratshaltung absichtlich mittelbar oder unmittelbar in die Lebensmittel pflanzlicher oder tierischer Herkunft gelangen. Hierzu gehören insbesondere die Pflanzenbehandlungsmittel und die pharmakologisch wirksamen Stoffe (Tierarzneimittel). Die intensive Massentierhaltung bedingt einen verstärkten Einsatz von Arzneimitteln und pharmakologisch wirksamen Futtermittelzusatzstoffen. Der Umfang der Untersuchung nach Zahl und Wirkspektrum erweitert sich ständig. Die gefundenen Rückstandsgehalte von Tierarzneimitteln lassen sich heute lebensmittelrechtlich beurteilen: Die Höchstmengen der EWG-VO 2377/90 wurden durch eine Änderung des LMBG für Deutschland verbindlich. Pflanzenbehandlungsmittel werden aus den verschiedensten Gründen (Schutz der Pflanze vor Schadorganismen und Krankheiten, Wachsförderung, Unkrautbekämpfung, Vorratsschutzbehandlung, Stallbehandlungs-

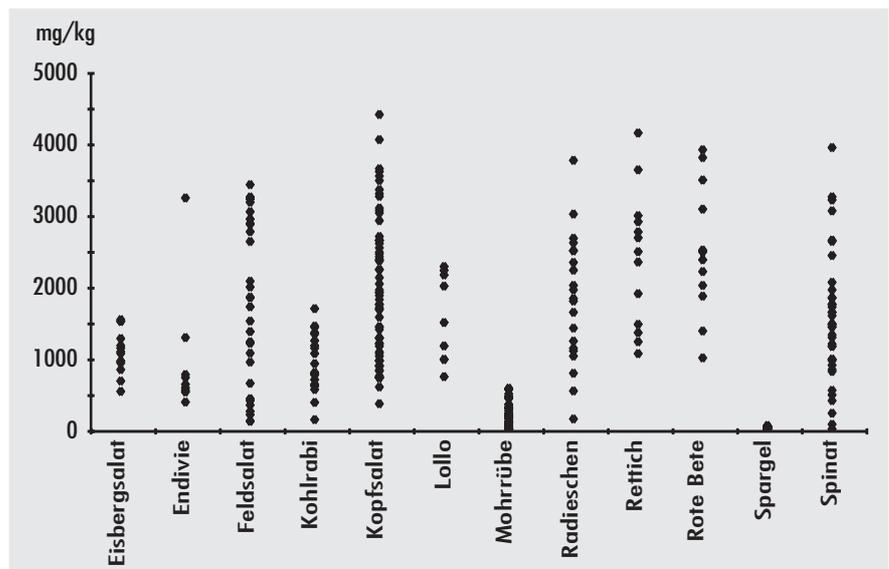


Abb. 8 Nitrat in Gemüse 1998 (Quellen: CVUAs/CUÄ Baden-Württemberg)

und Tierhygienemittel) angewandt. Die Auswahl für die menschliche Gesundheit möglichst unbedenklicher, schnell abbaubarer Stoffe mit ebenso unbedenklichen Abbauprodukten, eine sorgfältige sachgemäße Anwendung und die Verringerung der Rückstandsmengen sollen das Wirkungs- und Gefährdungspotential für den Menschen gering halten.

Pflanzenschutzmittel

Bei den Lebensmitteln *tierischen Ursprungs* hat sich in den vergangenen vier Jahren im Hinblick auf nachweisbare Rückstände an Pflanzenschutzmitteln die Lage verbessert. Vereinzelt traten hierbei Höchstmengenüberschreitungen vor allem bei Inlandsprodukten auf (Abb. 9). Es werden ausschließlich Rückstände der schwer abbaubaren Chlorkohlenwasserstoff-Insektizide, einschließlich ihrer Isomeren und Metaboliten, nachgewiesen. Diese haben eine hohe Fettlöslichkeit. Daher nehmen die Tiere sie leicht auf und speichern sie sowohl im Depot als auch im Organfett. Ihre Verwendung ist in Deutschland seit Jahren weitgehend verboten. Demnach handelt es sich bei den jetzt noch gefundenen Rückständen entweder um die gespeicherten Restmengen dieser früher aufgenommenen sehr persistenten Stoffe, um eine Aufnahme mit den zugekauften Futtermitteln oder um eine Umweltkontamination und eine

damit verbundene nachfolgende Anreicherung in der Nahrungskette.

Bei den Pflanzenschutzmittel-Rückständen in *Gemüse und Obst* ist in den vergangenen Jahren die Situation insgesamt konstant. So sind durchschnittlich bei etwa 60 % aller Gemüse- und bei etwa 45 % aller Obstproben keine Rückstände nachweisbar. Jedoch bestehen beträchtliche Unterschiede zwischen inländischen und importierten Erzeugnissen. Dies beruht vor allem auf dem hohen Anteil an importierten Unterglasprodukten im Winterhalbjahr, bei denen hauptsächlich die Höchstmengen überschritten wurden (Abb. 10, 11). Beobachtet wird auch, dass gleichzeitig Rückstände mehrerer Wirkstoffe auf ein und demselben Erzeugnis vorhanden sind. Verändert und erweitert hat sich auch das Spektrum der angewandten Wirkstoffe. Die Regelungen durch die EU müssten auf diesem Sektor rascher an die Gegebenheiten angepasst werden.

Humanmilch

Seit mehr als 20 Jahren untersuchen die Chemischen Landesuntersuchungsanstalten (CLUAs) Baden-Württembergs Humanmilch kostenlos. Dies findet bei den Müttern auch weiterhin Interesse. Humanmilch ist durch Schwermetalle praktisch nicht belastet. Dagegen sind die auffälligsten Kontaminationen der

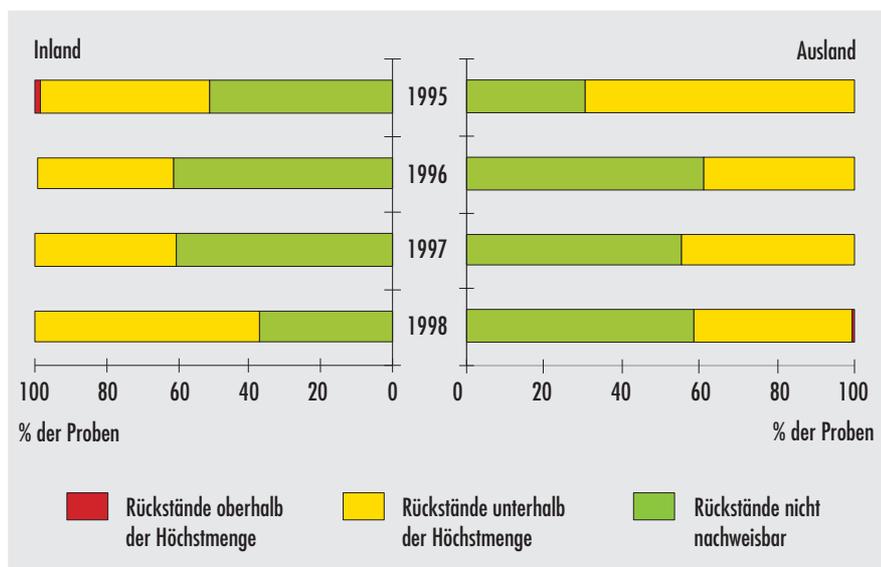


Abb. 9 Pestizide in Lebensmitteln tierischer Herkunft (Quellen: CVUAs/CUÄ Baden-Württemberg)

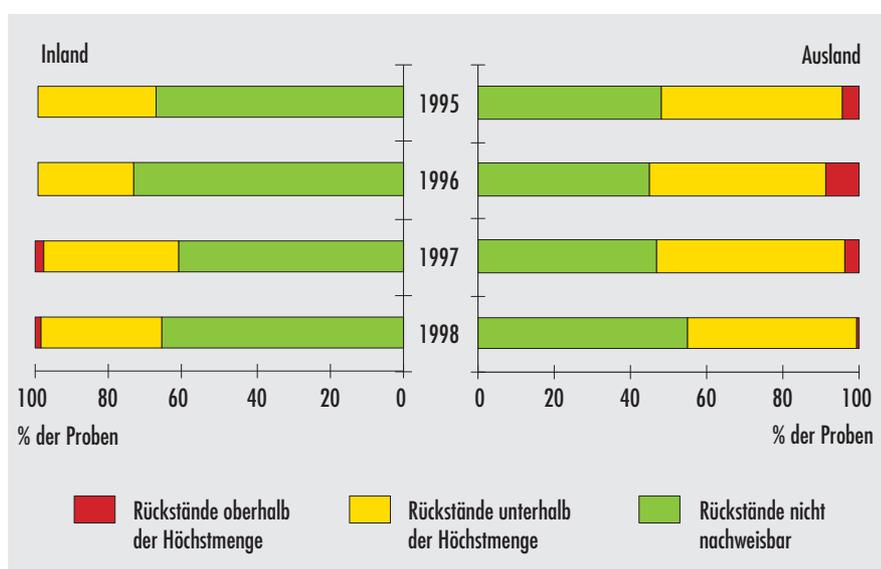


Abb. 10 Pestizide in Gemüse (Quellen: CVUAs/CUÄ Baden-Württemberg)

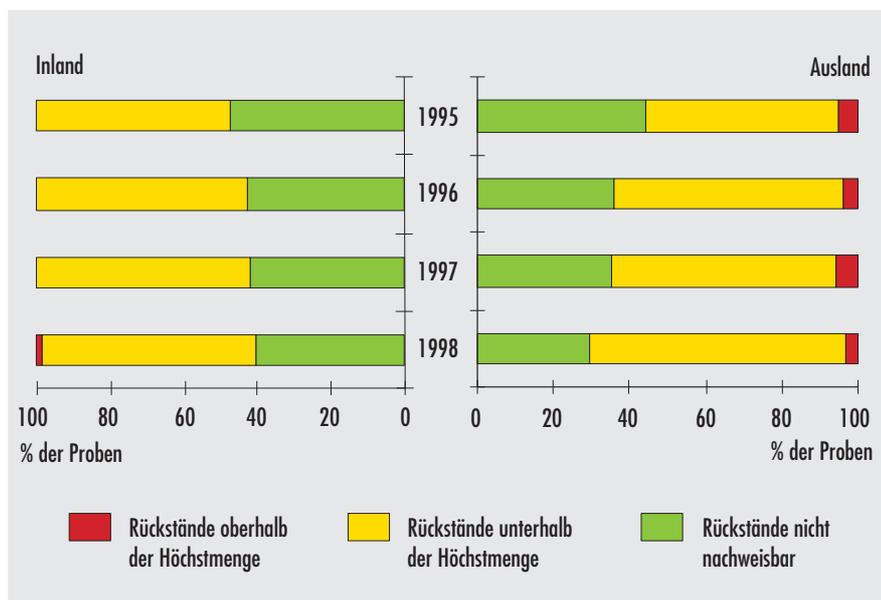


Abb. 11 Pestizide in Obst (Quellen: CVUAs/CUÄ Baden-Württemberg)

Humanmilch nach wie vor Dichlordi-phenyltrichloräthan (DDT), *Hexachlorbenzol* (HCB) und Polychlorierte Biphenyle (PCB). Die Pflanzenschutzmittel DDT und HCB, zwischen 1950 und 1972 in weiten Bereichen angewandt, reicherten sich durch ihre hohe Persistenz im menschlichen Fettgewebe an. Auch aus diesem Grunde hat das DDT-Gesetz von 1972 ein striktes Herstellungs- und Anwendungsverbot für DDT ausgesprochen; diese Maßnahme wurde durch eine Höchstmengenregelung für DDT und HCB auch für Lebensmittel tierischer Herkunft ergänzt. Dies führte spätestens seit 1980 dazu, dass diese Stoffe im menschlichen Organismus stetig abnahmen, wie sich aus Abb. 12 für HCB ablesen lässt, und ist ein Beispiel dafür, dass derartige rechtliche Maßnahmen langfristig positiv wirken.

Die Senatskommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Prüfung von Rückständen in Lebensmitteln befürwortet das Stillen trotz der Kontamination der Humanmilch uneingeschränkt für die ersten vier Monate, da hier die zahlreichen Vorteile des Stillens (für das Kind ideale Zusammensetzung des Lebensmittels, Mutter-Kind-Verhältnis, Stärkung des Immunsystems beim Kind) überwiegen. Danach sollten die Mütter die Milch allerdings auf ihre Rückstandsgelalte untersuchen lassen. Die für ein Weiterstillen über vier Monate hinaus ärztlich empfohlene Muttermilch-Tagesmenge richtet sich nach der jeweiligen Höhe der Pflanzenschutzmittelbelastung.

Ein besonderes Problem stellen die *Polychlorierten Biphenyle* (PCB) dar. Hier sieht die Situation weniger günstig aus. Auch hier war seit Beginn der siebziger Jahre ein stetiger Anstieg im Humanfett zu beobachten, was 1978 zu einem Anwendungsverbot PCB-haltiger Produkte ab einer bestimmten Konzentration in offenen Systemen führte. Eine Abnahme der PCB-Konzentration über die Nahrungskette war dadurch allein aber noch nicht zu erreichen. Durch die Schadstoff-Höchstmengen-Verordnung

Rückstände, Dioxine

1988 (7) sind jetzt auch Höchstmengen für bestimmte PCB-Kongeneren in Lebensmitteln tierischer Herkunft, vor allem auch Milch, festgelegt worden. Langfristig ist somit auch hier mit einer - dem Rückgang bei DDT und HCB vergleichbaren - Abnahme der Gehalte in Humanmilch zu rechnen (Abb. 13).

Bei *Dioxinen* und *Furanen* (PCDD/PCDF) lassen sich über die Tendenzen der Gehalte im menschlichen Körper noch keine Aussagen machen. Zahlreiche Untersuchungen, auch an den CVUAs Stuttgart und Freiburg, zeigen für Muttermilch, dass Dioxine und Furane normalerweise in einem relativ engen Bereich von 9 bis 25 ng Toxizitätsäquivalente (TE: Summe aller Dioxine und Furane, gewichtet nach ihrer Toxizität: TEQ) pro Kilogramm Fett enthalten sind. Dazu stellt das BgVV in seinem Sachstandsbericht vom März 1990 in Übereinstimmung mit der WHO (World Health Organization) fest, dass bei diesen Werten eine gesundheitliche Gefährdung eines gestillten Säuglings durch die PCDD/PCDF-Belastung nicht zu erkennen ist und auch hier die Vorteile des Stillens überwiegen. Dennoch sollten aus Vorsorgegründen alle Dioxinmissionen so weit wie möglich reduziert werden, um eine Belastung des menschlichen Körpers zu senken. Die Belastung der Humanmilch mit Dioxinen ist in den vergangenen Jahren stark rückläufig.

Zur Belastung der Humanmilch mit Moschus-Xylol siehe Abb. 7.

Dioxine

Dioxine werden in Deutschland im Allgemeinen zu etwa 95 % über Lebensmittel und nur zu 5 % über sonstige Matrices aufgenommen. Wegen der Anreicherung in der Nahrungskette tragen die Lebensmittel tierischer Herkunft zu etwa 90 % der Dioxinaufnahme bei.

Das Bundesgesundheitsamt und das Umweltbundesamt empfahlen Anfang der 90er Jahre unter dem Vorsorgeaspekt eine tägliche Aufnahme bis zu 1 pg I-TEQ pro

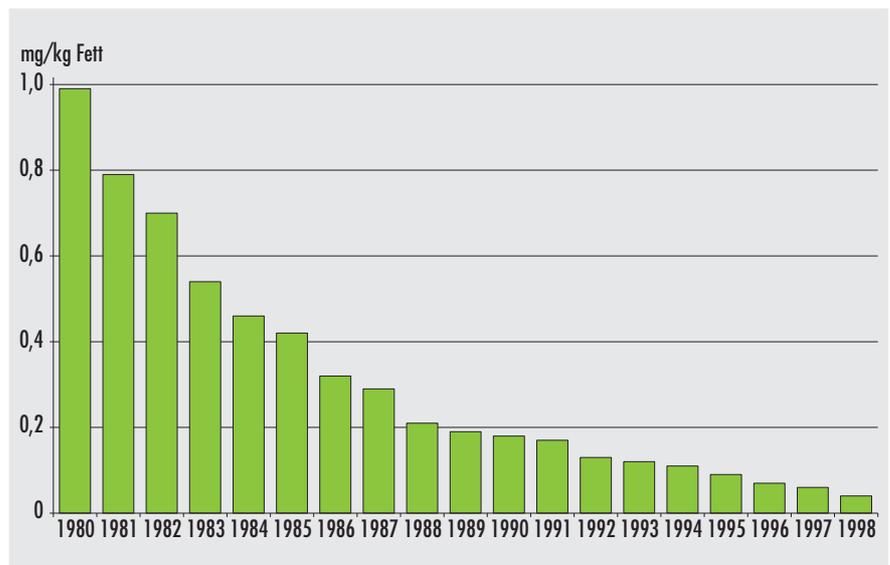


Abb. 12 Hexachlorbenzol (HCB) in Humanmilch
(Quellen: CVUAs/CUÄ Baden-Württemberg)

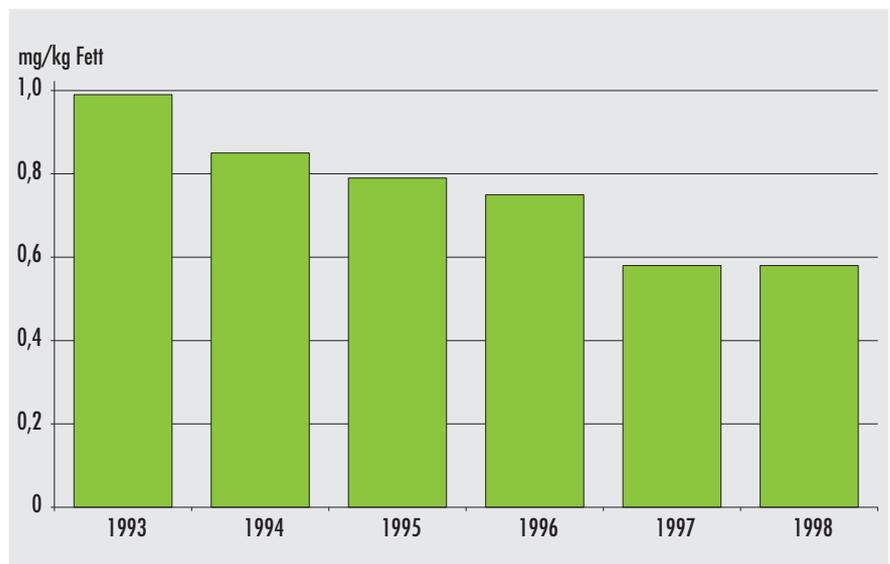


Abb. 13 Polychlorierte Biphenyle (PCB) in Humanmilch
(Quellen: CVUAs/CUÄ Baden-Württemberg)

Kilogramm Körpergewicht (KGW) und Tag. Dieser Richtwert wurde zu dieser Zeit etwa um das Doppelte überschritten (frühere Aufnahme von ca. 1,8 pg I-TEQ/kg KGW/Tag abgeschätzt). Daraufhin wurden damals zur Verminderung der Dioxin-Emissionen in Deutschland zahlreiche Maßnahmen zur Verminderung der Dioxin-Emissionen beschlossen und auch in Baden-Württemberg konsequent umgesetzt.

Infolge dieser Maßnahmen zeigten die Dioxingehalte verschiedener Matrices in den vergangenen Jahren rückläufige Tendenzen, auch bei Lebensmitteln: Ende

der 90er Jahre lag die Aufnahme durchschnittlich bereits knapp unterhalb des empfohlenen Wertes von 1 pg I-TEQ/kg KGW/Tag. Dabei kann es allerdings eine größere individuelle Schwankungsbreite geben. Der Rückgang in den Nahrungsmitteln spiegelt sich auch im Rückgang in der Muttermilch wider: Die Gehalte haben etwa um die Hälfte abgenommen.

Einen wichtigen Meilenstein auf dem Weg zu einer international harmonisierten Bewertung der Dioxine setzte die Weltgesundheitsorganisation (WHO) 1998, als sie eine tägliche Aufnahme von 1-4 pg WHO-TEQ/kg KGW/Tag empfahl.

Diese Empfehlung bestätigt etwa den früher in Deutschland formulierten Richtwert unter dem Vorsorgeaspekt, der im Vergleich zu den Empfehlungen anderer Länder sehr niedrig war. Die WHO-Empfehlung unterscheidet sich von der früheren deutschen Empfehlung zum einen durch die Anwendung der 1997 von der WHO vorgestellten Dioxinäquivalenzfaktoren (WHO-TEF), so dass sich bei Lebensmitteln tierischer Herkunft aus den Einzelkongeneren im allgemeinen leicht höhere Dioxingehalte errechnen. Zum anderen sind erstmalig aber auch die dioxinähnlichen PCB in die Empfehlung mit aufgenommen. Diese dioxinähnlichen PCB machen normalerweise etwa die Hälfte der üblichen Dioxinbelastung von Lebensmitteln aus. Damit entspricht diese neue WHO-Empfehlung etwa einem Wert von 0,5-2 pg I-TEQ/kg KGW/Tag (unter Berücksichtigung lediglich der Dioxine).

Nachdem die durch die allgemeine Umweltkontamination verursachte Dioxinbelastung der Lebensmittel weitgehend rückläufig war, wurden in Futtermitteln neue Dioxinquellen mit massiven Auswirkungen auf Lebensmittel entdeckt:

- 1997 verursachten in den USA hohe Dioxingehalte in als Futtermittelzusätze verwendeten Tonmineralien massive Probleme in der Geflügel- und Fischzucht.
- 1998 deckte die CVUA Freiburg die Kontamination von Zitrustrestern aus Brasilien mit Dioxinen auf, die zu einer Erhöhung der Dioxingehalte in Milch und Fleisch (Rind- und Kalbfleisch) geführt hatten. Etwa 100.000 t Zitrustrester wurden im Hoheitsgebiet der EU beschlagnahmt und vernichtet; insgesamt war eine Produktion von ca. 1 Mio. t betroffen. Als Ursache wurde die Verwendung von Kalk, der für Prozesse in der chemischen Industrie eingesetzt worden war, ermittelt. Dieser Kalk war sehr hoch mit Dioxinen belastet; er wurde den Orangenschalen zur Neutralisation vor der Trocknung zugesetzt.

– 1999 führte das massive Sterben von Küken bei einem Zuchtbetrieb in Belgien zur Aufdeckung eines Skandals: Wiederum waren sehr hoch dioxinbelastete Futtermittel in den Verkehr gekommen. Dieser Fall wurde durch illegale Beseitigung PCB-haltiger Transformatoröle bei Fettsammelstellen verursacht. Das so kontaminierte Fett wurde als Energieträger für Futtermittel eingesetzt. In der Folge waren zeitweise viele Lebensmittel zunächst nur belgischer Herkunft und später infolge der Handelsverflechtungen auch anderer Länder betroffen. Der volkswirtschaftliche Schaden für Belgien wird auf mehrere Milliarden DM geschätzt.

– Im Zuge der Untersuchung von Lebensmitteln und Futtermitteln wegen der Vorfälle in Belgien wurde entdeckt, dass in Europa ebenfalls Tonmineralien, die als Futtermittelzusätze eingesetzt wurden, sehr stark erhöhte Dioxingehalte aufwiesen. Im Verlaufe der umfassenden Untersuchungen verdichteten sich die Hinweise, dass diese Dioxine möglicherweise vor langer Zeit geogen gebildet worden sind. Während des internationalen Dioxinkongresses 1999 in Venedig wurde mitgeteilt, dass an drei verschiedenen Stellen weltweit dieses einzigartige Dioxinmuster angetroffen wurde: in Ton aus dem Mississippi-Bereich, aus der Eifel und in Sedimenten der australischen Ostküste.

– Nachdem die CVUA Freiburg wiederholt erhöhte Dioxingehalte in Eiprüben aus Brandenburg festgestellt hatte, wurde dort eingehend nach den Ursachen geforscht. Dabei ergab sich, dass zur Trocknung von Futtermitteln kontaminiertes Abfallholz eingesetzt wurde, wobei die Verbrennungsgase unmittelbar auf das Trockengut geleitet wurden. Dadurch wurden stark erhöhte Dioxingehalte in den getrockneten Futtermitteln verursacht, die in die Lebensmittel (Eier) übergangen.

Diese Befunde zeigen, dass vor allem die für die Nahrungskette wichtigen Fut-

termittel besonderer Aufmerksamkeit bedürfen: Nachdem in vielen hochindustrialisierten Ländern seit Anfang der 90er Jahre erhebliche Anstrengungen unternommen wurden, die Emission von Dioxinen zu begrenzen, erwiesen sich für die Nahrungskette einige "kleine" Quellen als sehr durchschlagskräftig. Daher müssen Futtermittel in der Zukunft noch stärker überwacht werden.

Bestrahlungsnachweis

Die Anwendung ionisierender Strahlen zur Behandlung von Lebensmitteln ist im Gegensatz zu Deutschland in ca. 40 Ländern (Mitgliedstaaten der EU wie Belgien, Niederlande, Frankreich und in Drittländern) zulässig. Dadurch sollen

- die Lagerfähigkeit infolge Keimhemmung (z. B. bei Kartoffeln, Zwiebeln, Knoblauch) verbessert sowie
- die Zahl gesundheitsschädlicher Mikroorganismen (z.B. bei Geflügelfleisch, Froschschenkeln, Flüssigei) und Keime bei Trockenprodukten für die Weiterverarbeitung (z. B. Gewürze, Trockengemüse) reduziert

werden.

Um den freien Warenverkehr von im Ursprungsland rechtmäßig hergestellten bestrahlten Lebensmitteln innerhalb der EU zu gewährleisten, erteilte das Bundesministerium für Gesundheit seit 1997 zwei Genehmigungen für Hersteller aus Frankreich. Zum einen wurde französischen Firmen 1997 auf Antrag stattgegeben, dass bestimmte, in Frankreich mit ionisierenden Strahlen behandelte getrocknete Gewürze zur Weiterverarbeitung in Lebensmitteln nach Deutschland gebracht werden dürfen. Weiterhin dürfen aufgrund einer Genehmigung von 1999 Hersteller aus Frankreich, die Käse unter Verwendung bestimmter bestrahlter Gewürze rechtmäßig in Frankreich herstellen, diesen auch in Deutschland unter Kennzeichnung in den Verkehr bringen.

Von 1997 bis 1999 hat die amtliche Überwachung in Baden-Württemberg

Thermolumineszenzmessung

Nachweis der Einwirkung von Strahlung auf mineralische Verbindungen, z.B. Sand

Gaschromatographie-Massenspektrometrie

Nachweis von bestrahlungsspezifischen Abbauprodukten aus Fett

Elektronen-Spin-Resonanz-Messung

Nachweis von bestrahlungsspezifischen Radikalen in Lebensmitteln oder Verpackungen

Abb. 14 Messverfahren zum Nachweis von Bestrahlungen

rund 1600 Proben auf eine, in Deutschland unzulässige, Behandlung mit ionisierenden Strahlen bzw. auf eine fehlende Kennzeichnung einer solchen Behandlung untersucht.

Bei den von 1997 bis 1999 untersuchten Proben konnte in sieben Fällen eine Strahlenbehandlung nachgewiesen werden.

Eine Gewürzextraktzubereitung für Pfälzer Fleischwurst eines saarländischen Herstellers aus einer Metzgerei war über die Thermolumineszenzmessung eindeutig als bestrahlt zu identifizieren. Dies galt auch für zwei weitere, in einer Metzgerei erhobene Proben eines Gewürzpräparats für Thüringer Rotwurst Hausmacher Art eines niedersächsischen Herstellers.

Bei einer Probe Frischkäsezubereitung Doppelrahmstufe mit Kräutern aus Frankreich und einer tiefgefrorenen Kräutermischung aus Frankreich, die bei der Herstellung von Käse verwendet wurde, konnten die Prüfer ebenso eine

Behandlung der Kräuter mit ionisierenden Strahlen nachweisen.

Zwei Proben Froschschenkel aus Frankreich, jeweils in grenznahen Restaurants erhoben, wurden als bestrahlt identifiziert (in Frankreich sind strahlenbehandelte Froschschenkel unter Kennzeichnung verkehrsfähig).

Die wesentlichen drei Messverfahren gibt Abb. 14 wieder.

Die Thermolumineszenzmessung beruht darauf, dass die eingestrahlte Energie in mineralischen Verbindungen "gespeichert" und durch Hitze als Lichtstrahlung wieder freigesetzt wird. Trockenlebensmittel (z. B. Gewürze) und staubbehaftete Lebensmittel (z. B. Gemüse, Obst), aber auch Krabben, die im Darm Sand eingelagert haben, können so auf eine Bestrahlung untersucht werden.

Bei den gaschromatographisch-massenspektrometrischen Messverfahren wird ausgenutzt, dass sich typische Bruchstücke aus Fett nur bei Bestrahlung bilden. Insofern lassen sich fettreiche Lebensmittel wie Fleisch, Fleischprodukte, Käse, Eier, Eiprodukte gut auf eine stattgefundene Bestrahlung untersuchen.

Bei der Elektronenspinresonanzmessung werden angeregte Verbindungen ("Radikale") nachgewiesen, die durch Bestrahlung gebildet wurden. Der Nachweis ist möglich bei Lebensmitteln (Gräten von Fischen, Knochen von Fleisch, Schalen und Krusten von Muscheln, Shrimps und Garnelen, Nusschalen, Trockenfrüchten) und auch in Verpackungsmaterialien (Polypropylen, Polystyrol, Kartonagen).

Zusatzstoffe

Zusatzstoffe im Sinne des Lebensmittel- und Bedarfsgegenstandegesetzes (LMBG) sind Stoffe, die dazu bestimmt sind, Lebensmitteln zur Beeinflussung ihrer Beschaffenheit oder zur Erzielung bestimmter Eigenschaften oder Wirkungen zugesetzt zu werden (z. B. Geschmacksverstärker, Farbstoffe, Feuch-

haltungsmittel, Konservierungsstoffe, Süßstoffe).

Die Anwendung eines Zusatzstoffes muss gesundheitlich unbedenklich und technisch notwendig sein. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn der Zusatzstoff den Nährwert erhalten soll, aus verarbeitungstechnischen Gründen erforderlich ist oder die Haltbarkeit eines Lebensmittels verlängert.

Ein Zusatzstoff darf nicht verwendet werden, wenn der Verbraucher dadurch über die wahre Qualität eines Lebensmittels getäuscht werden könnte. Von dieser Gruppe der weitgehend nahrungsfremden Stoffe, die den Lebensmitteln absichtlich zugesetzt werden, geht entgegen der landläufigen Meinung das geringste Risiko für die menschliche Gesundheit aus; denn für alle Zusatzstoffe gilt, dass man sie nur dann Lebensmitteln zusetzen darf, wenn sie ausdrücklich dafür zugelassen worden sind (Verbotsprinzip). Außerdem müssen diese Zusatzstoffe bestimmte Reinheitsanforderungen erfüllen und dürfen nur bis zu bestimmten Höchstmengen zugesetzt werden.

Eng an dieses Verbotprinzip ist die Kennzeichnung des Zusatzstoffes geknüpft, die bei Fertigpackungen im Wege der Aufzählung innerhalb der obligatorischen Zutatenliste geschieht und bei offener Ware bei dieser unmittelbar (Schilder auf oder neben der Ware, Aushang) angebracht sein muss.

Gesundheitlich nachteilige Auswirkungen durch Zusatzstoffe sind nur denkbar, wenn der Hersteller nicht zugelassene Stoffe verarbeitet oder festgelegte Höchstmengen drastisch überschreitet oder eine individuelle Überempfindlichkeit im Einzelfall vorliegt. Negative Feststellungen bei Zusatzstoffen sind:

- Farbstoffe (Färben von Spätzle und Speiseeis), Nitrit oder Phosphat bei Fleischwaren werden unzulässig verwendet
- Bei Konservierungsstoffen oder Nitrit werden die Höchstmengen überschritten

– Die Verwendung von Geschmacksverstärkern, Farbstoffen oder Phosphat wird nicht kenntlich gemacht (der häufigste Fall).

Nachweis gentechnischer Veränderungen

Anwendung der Gentechnik im Lebensmittelbereich

Gentechnische Verfahren werden immer häufiger zur Gewinnung und Verarbeitung von Lebensmitteln angewendet. Neben der Gewinnung von Einzelsubstanzen (z.B. Enzymen und sonstigen Zusatzstoffen) gewinnt insbesondere der Bereich der pflanzlichen Produkte stark an Bedeutung. In den Ländern USA, Kanada und Argentinien werden gentechnisch veränderte Nutzpflanzen, wie herbizidresistente Mais-, Raps-, Sojapflanzen, insektenresistenter Mais, reifungsverzögerte Tomaten, bereits großflächig angebaut und vermarktet. In der EU bestehen mittlerweile Vermarktungszulassungen für Produkte aus gentechnisch veränderten Sojabohnen der Firma Monsanto (Roundup Ready™ Soja), Produkte aus fünf verschiedenen Maissorten (u.a. aus dem insektenresistenten Mais der Firma Novartis ("Bt-Mais")) und Öle aus mehreren Rapsorten. Die Verbraucherschaft steht diesen Entwicklungen skeptisch gegenüber. In der Diskussion hat sich gezeigt, dass die rechtzeitige und sachliche Information über die neuen Produkte entscheidend für deren Akzeptanz ist.

Kennzeichnungspflicht und Nachweis

Seit Mai 1997 ist eine europäische Regelung, die "Verordnung über neuartige Lebensmittel und Lebensmittelzutaten (Novel-Foods-VO)", in Kraft. Novel Foods, dazu zählen insbesondere gentechnisch veränderte Lebensmittel, müssen vor ihrer erstmaligen Vermarktung einer einheitlichen Sicherheitsprüfung unterzogen werden; die Produkte werden dabei toxikologisch und ernährungsmedizinisch bewertet.

Gentechnisch veränderte Lebensmittel sind immer dann zu kennzeichnen, wenn sie sich mit geeigneten Nachweisverfahren von herkömmlichen Lebensmitteln unterscheiden lassen. Die Nachweismethoden beruhen zumeist auf der Analyse der gentechnisch eingefügten Erbinformation DNS (Desoxyribonukleinsäure; englisch DNA) und sind auch bei verarbeiteten (z.B. erhitzten) Produkten noch anwendbar. Molekularbiologische Verfahren, die nach der DNS-Isolierung aus dem Lebensmittel als wesentlichen Bestandteil die sogenannte Polymerasekettenreaktion (PCR) enthalten, haben sich zum Nachweis "gentechnisch hergestellter" Lebensmittel bewährt. Mit Hilfe des PCR-Verfahrens kann man DNS-Sequenzen, die für die jeweilige gentechnische Veränderung charakteristisch sind, vervielfältigen und elektrophoretisch nachweisen. Zur Absicherung der Ergebnisse werden darüber hinaus die DNS-Hybridisierungstechnik sowie die Restriktionsfragment-Analyse eingesetzt. Auf diese Weise lässt sich in Lebensmittel eingeschleustes neues Erbgut auch dann noch feststellen, wenn nur noch eine geringe Menge intakter DNS oder - wie bei verarbeiteten Lebensmitteln häufig - eine weitgehend degradierte DNS vorhanden ist.

Erzeugnisse, bei denen der Nachweis der gentechnisch eingefügten DNS noch möglich ist, sind beispielsweise aus insektenresistentem Mais hergestelltes Mehl, Maisgrieß (Polenta), Cornflakes, Maisgluten und kaltgepresstes Maiskeimöl bzw. aus gentechnisch veränderten Sojabohnen hergestellte Verarbeitungsprodukte, wie z.B. Sojamehl, Sojaproteinisolate, Sojadrinks, Sojasprossen und Tofu.

Allerdings hat die Novel-Foods-VO keine konkreten Vorschriften zur Kennzeichnung. Dagegen gibt die 1998 verabschiedete europäische VO zur Kennzeichnung von Produkten aus gentechnisch verändertem Mais und Soja (VO (EG) 1139/98) erstmals den konkreten Wortlaut für die Angabe des verwendeten Verfahrens vor.

Die Worte für die Kennzeichnung sollen "aus genetisch veränderten Sojabohnen (Mais) hergestellt" lauten, und zwar bei abgepackten Lebensmitteln im Zutatenverzeichnis, bei "loser" Abgabe (z.B. in Bäckereien) durch eine entsprechende Kenntlichmachung. Eine vor kurzem in Kraft getretene nationale Durchführungsverordnung (Neuartige Lebensmittel- und Lebensmittelzutaten-Verordnung, NLV) hat hierfür Detailregelungen festgelegt.

Untersuchungen im Rahmen der amtlichen Lebensmittelüberwachung

Die CVUA Freiburg überprüfte seit 1995 routinemäßig Lebensmittel auf vorhandene Bestandteile an gentechnisch veränderten Organismen. So erhielten die Prüfer 1999 beim Nachweis von Roundup Ready Soja in Handels- bzw. Herstellerproben mit Soja-haltigen Zutaten bei 15 von 121 (= 12 %) untersuchten Proben positive Befunde (u.a. Nährstoffkonzentrate und Ergänzungsnahrung, Sojaschrot/-mehl, Müsli, Feine Backwaren). Bei insgesamt neun dieser Proben (= 7 %) konnte der Anteil gentechnisch veränderten Sojas auf über 1 % quantifiziert werden. Aber auch bei Erzeugnissen mit Mais (Tortilla Chips, Schokoriegel) und Raps (Raps-Kleehonig) traten erstmals positive Befunde auf.

Bis auf ein Produkt waren die betroffenen, zur Abgabe an den Endverbraucher bestimmten Erzeugnisse noch nicht entsprechend gekennzeichnet.

Schwellenwerte für die Kennzeichnung

In ihren Erwägungsgründen weist die VO (EG) 1139/98 auf die Problematik der zufälligen Kontamination von Lebensmitteln mit genetisch veränderter DNS oder neu eingefügten Proteinen hin. Danach wäre "die Angabe auf dem Etikett infolge dieser Kontamination vermeidbar, wenn ein Schwellenwert für den Nachweis von DNS und Proteinen festgelegt wird". Die EU empfiehlt einen Kennzeichnungs-Schwellenwert in der Höhe von 1 % (Anteil von Bestandteilen

Nachweis gentechnischer Veränderungen, Wasch- und Reinigungsmittel

einer gentechnisch veränderten Pflanzenart im Rohstoff (z.B. Sojamehl)). Im Hinblick auf eine einheitliche Beurteilung von Produkten ist es unabdingbar, solche Schwellenwerte festzulegen.

Notwendigkeit der Quantifizierung

Eng mit der Festsetzung von Schwellenwerten verbunden ist die Frage nach der Verfügbarkeit validierter quantitativer Analysenverfahren. Mittlerweile gelang es, die Untersuchungsmethoden derart weiterzuentwickeln, dass auch Schwellenwerte überprüft werden können.

Dazu hat die CVUA Freiburg semiquantitative bis quantitative, Polymerasekettenreaktion (PCR)-basierende Methoden (z.B. kompetitive PCR oder "real-time"-PCR) entwickelt. Allerdings sind auch im Falle einer Verfügbarkeit quantitativer Methoden bei der Untersuchung von Erzeugnissen, die GVO (Gentechnisch Veränderte Organismen)-Bestandteile nur in Form einer (mengenmäßig zurücktretenden) Zutat enthalten, nicht immer eindeutige Aussagen möglich. Hier lassen sich nur durch eine Untersuchung der Rohstoffe nach einer Beprobung beim Hersteller vor Ort eindeutige Aussagen treffen.

Kennzeichnung "ohne Gentechnik"

Die Novel-Foods-VO erfasst nicht sämtliche möglichen Anwendungen der Gentechnik bei Lebensmitteln, so z.B. nicht das verwendete Futter bei tierischen Lebensmitteln. Manche Verbraucher legen jedoch Wert darauf, dass die Gentechnik in keinem Stadium der Herstellung des Lebensmittels eine Rolle gespielt hat. Der deutsche Gesetzgeber hat reagiert und eine entsprechende Regelung verabschiedet (NLV, s.oben S. 135). Danach soll nur die Kennzeichnung "ohne Gentechnik" verwendet werden. Die Anforderungen gehen über diejenigen der Novel-Foods-VO hinaus. Es dürfen einerseits keine gentechnisch veränderten Organismen enthalten sein und andererseits auch keine daraus hergestellten Lebensmittel oder -zutaten

(einschließlich Lebensmittelzusatzstoffen, Aromen und Extraktionslösungsmitteln) oder technische Hilfsstoffe eingesetzt werden. Auch gentechnisch hergestellte Futtermittel, -zusatzstoffe und Arzneimittel dürfen, bis auf wenige Ausnahmen, nicht verwendet werden. Darüber hinaus muss in jedem Einzelfall sichergestellt sein, dass die Verwendung eines solchen Zeichens keine Irreführung des Verbrauchers darstellt, etwa bei einer Werbung mit Selbstverständlichkeiten. Dies kann z.B. bei Produkten sein, für die es noch keine entsprechenden gentechnisch veränderten Pendanten auf dem Weltmarkt gibt (z.B. Äpfel, Weizen, Roggen).

Wasch- und Reinigungsmittel

Wasch- und Reinigungsmittel können das Befinden des Menschen wie auch die Umwelt erheblich beeinträchtigen. Insofern bestehen hierfür Schutzregelungen sowohl nach dem Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz (als Bedarfsgegenstand) als auch nach dem Wasch- und Reinigungsmittelgesetz (WRMG).

Die Untersuchungen nach dem WRMG obliegen der CVUA Karlsruhe zentral für Baden-Württemberg.

1999 wurden 146 Wasch- und Reinigungsmittelproben erhoben und auf die Einhaltung der Bestimmungen des LMBG und des WRMG untersucht. Die Einhaltung der Phosphathöchstmengen-VO wurde nur noch stichprobenmäßig getestet und die Einhaltung der Tensid-Verordnung überhaupt nicht, da die Erfahrung gezeigt hat, dass die in Deutschland auf dem Markt befindlichen Tenside in der Regel den Anforderungen entsprechen. Alle untersuchten Tenside genügten den Anforderungen der Tensid-Verordnung, wonach Tenside als biologisch abbaubar gelten, wenn nach dem OECD-Screening-Test eine Abbaurate von 80 % erreicht wird. Immer wieder werden noch Produkte auf den Markt gebracht, bei denen die Anmelde Nummer beim Umweltbundesamt nach § 7 WRMG nicht auf dem Etikett angegeben ist oder bei

denen in der Inhaltsstoffangabe wichtige Inhaltsstoffe, z.B. Konservierungsstoffe, nicht genannt sind.

Die Produkte wurden ferner auf die Einhaltung der beim Umweltbundesamt hinterlegten Rahmenrezepturen überprüft. Auch hier fallen immer wieder Abweichungen auf zwischen der Deklaration der Inhaltsstoffe, der tatsächlichen Zusammensetzung und der Meldung beim Umweltbundesamt.

Einige Wasch- und Reinigungsmittel, die nichtionische Tenside enthielten, wurden auf die Einhaltung der Bestimmungen der freiwilligen Vereinbarung über den Verzicht auf Alkylphenoethoxylate (APEO) überprüft. Diese konnten in keiner der Proben nachgewiesen werden. Ebenso wurde die freiwillige Vereinbarung über den Verzicht von Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) in ausgewählten Proben untersucht. Die Untersuchungen ergaben keinen Hinweis auf den Einsatz dieses Komplexbildners in den Proben.

Zusätzlich wurden die Hersteller über die EG-Kennzeichnungs-Empfehlung für Wasch- und Reinigungsmittel informiert. Diese Empfehlung regelt die Kennzeichnung der Wasch- und Reinigungsmittel konkreter und strenger als das WRMG.

Den Herstellern wurde empfohlen, ihre Produkte, sofern nicht bereits geschehen, entsprechend der EG-Empfehlung kennzeichnen zu lassen.

Trinkwasser

Als wichtigstes Lebensmittel bedarf das Trinkwasser des besonderen Schutzes und einer intensiven Überwachung und Beobachtung. Diese Aufgaben unterstützt insbesondere die im stetigen Ausbau befindliche Trinkwasserdatenbank Baden-Württemberg. Ihr vorgeschaltet ist eine Grundwasserdatenbank. Die Festlegung amtlicher Entnahmestellen, die für das von den Wasserversorgungseinrichtungen abgegebene Trinkwasser weitgehend repräsentativ sind, ist nahezu abgeschlossen. Zur aktuellen und

möglichst umfänglichen Erfassung der Untersuchungsergebnisse wäre es dringend erforderlich, auch die chemischen Untersuchungsergebnisse der von den Wasserversorgungsunternehmen veranlassten Eigenuntersuchungen sowie die von den Gesundheitsämtern auferlegten Vorsorgeuntersuchungen möglichst vollständig für die Trinkwasserdatenbank zur Verfügung zu haben.

Zum Schutz des Verbrauchers nennt die Trinkwasser-Verordnung (10) u.a. auch Grenzwerte für verschiedene Verunreinigungsparameter. Die dieser Verordnung zugrundeliegende EG-Richtlinie über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch gibt darüber hinaus weitere Richtzahlen für einzelne Stoffe an. Aus dem Gesamtumfang der Untersuchungen sind nachstehende Feststellungen besonders zu nennen:

- Zu niedrige pH-Werte (unter pH 6,5) und aggressive Wässer (pH-Werte um mehr als 0,2 pH-Einheiten unter dem pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung), zum Teil trotz Aufbereitung
- überhöhte Nitrat- und Pflanzenschutzmittelgehalte bei landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten und in der Nähe von Bahngleisen
- falsch eingestellte oder nicht ausreichend gewartete Aufbereitungsanlagen bei Hausinstallationen (insbesondere Enthärtungs- und Entsäuerungsanlagen)
- Verunreinigung des Wassers nach Installationsarbeiten am Netz
- Instandsetzung bei Hochbehältern durch ungenügendes Nachspülen.

Neben anderen Faktoren bestimmt die Anwendung von Dünge- und Pflanzenbehandlungsmitteln in der Landwirtschaft die Trinkwasserqualität. Inzwischen ist die Düngung an den Bedarf angepasst. Die *Nitratgehalte* liegen bei 97 % der öffentlichen Wasserversorgungen unter dem Grenzwert von 50 mg/l. Überhöhte Gehalte finden sich in Gebieten mit intensiven Sonderkulturen (Mais-, Obst-, Spargel- und Weinanbau). Hier wird

versucht, durch Verbundsysteme und Sanierungsmaßnahmen abzuwehren.

Langfristig ist weiterhin eine gezielte Stickstoffdüngung erforderlich, um Belastungen auf Dauer niedrig zu halten (Abb. 15). Die Maßnahmen und Empfehlungen zur Stickstoffdüngung und Begrünung haben in Wasserschutzgebieten zu einem Rückgang der Bodennitratwerte geführt. Dies kann sich naturgemäß erst mit zeitlicher Verzögerung im Grundwasser widerspiegeln.

Nach dem Vorsorgeprinzip hat die EG-Kommission Grenzwerte für die Gehalte

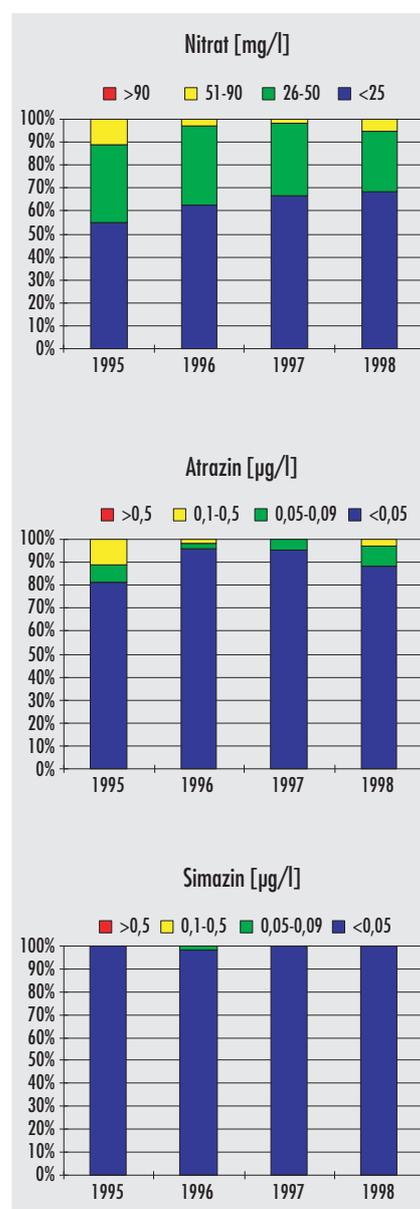


Abb. 15 Nitrat, Atrazin und Simazin in Trinkwasser aus öffentlichen Wasserversorgungen (Quellen: CVUAs/CUÄ Baden-Württemberg)

an Pflanzenschutzmitteln im Trinkwasser extrem tief angesetzt, um eine Belastung dieses Lebensmittels schon in den Anfängen abzuwehren. Seit dem 1.10.1989 darf ein Liter Trinkwasser nicht mehr als 0,0001 mg (= 0,1 µg) eines oder insgesamt 0,0005 mg (= 0,5 µg) mehrerer Pflanzenschutzmittel enthalten. Das sind so geringe Spuren, dass sie nur mit den empfindlichsten modernsten Analyseverfahren gerade noch sicher erfasst werden können.

Die im Zusammenhang mit dem Aufbau der Trinkwasserdatenbank schon lange vor dem Inkrafttreten dieser Pflanzenschutz-Grenzwerte durchgeführten Untersuchungen ergaben, dass Spuren von Unkrautbekämpfungsmitteln, hauptsächlich *Atrazin* und *Simazin*, die insbesondere von früher erlaubten Pflanzenschutzmittel-Anwendungen auf Gleisanlagen sowie aus dem Mais- und Sonderkulturanbau stammen, im Trinkwasser nachweisbar sind (Abb. 15).

Auch hier zeichnet sich unter Einbeziehung der eingeleiteten Sanierungen eine Besserung ab, vor allem nachdem die Anwendung von Atrazin seit 1991 verboten ist. Da gegebenenfalls immer mehr Trinkwasserversorgungen vom Problem der Pflanzenschutzmittel betroffen sein können, ist der vorbeugende Schutz des Grundwassers in Einzugsbereichen von Trinkwassergewinnungsanlagen weiter zu verfolgen. Es gilt, die Möglichkeiten des Pflanzenschutzgesetzes (12) frühzeitig und umfassend auszuschöpfen. Dazu gehören insbesondere die Ausweisung noch fehlender und die Erweiterung bestehender Wasserschutzgebiete, das Anwendungsverbot bestimmter Wirkstoffe (nach dem Beispiel des Atrazins) und die Weiterentwicklung der Methoden des integrierten Pflanzenschutzes.

Anhang

Quellen- und Literaturhinweise

- (1) Gesetz zur Ausführung des Lebensmittel- und Bedarfsgegenstände-gesetzes vom 9.7.1991 (GBl S. 473) i.d.F. vom 17.6.1997 (GBl S.278)
- (2) Gemeinsamer Erlass des Ministeriums für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung, des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt und des Innenministeriums für die Lebensmittelüberwachung (GABl 28 S. 57 (1980), Fortgeltung: GABl 38, S. 1031 (1990))
- (3) Vorschriften für die Einheitliche Durchführung des Lebensmittelge-setzes i.d.F. vom 20.8.1968 (GBl S. 406)
- (4) Mykotoxin-Höchstmengen-Verord-nung vom 2.6.1999 (BGBl I S. 1248)
- (5) Diätverordnung vom 25.8.1988 (BGBl I S. 1713) i.d.F. vom 21.11.1996 (BGBl I S. 1812)
- (6) Richtwerte für Schadstoffe in Lebens-mitteln des BgVV (BGesundhBl 19(5) S. 193 (1996))
- (7) Verordnung über Höchstmengen an Schadstoffen in Lebensmitteln vom 23.3.1988 (BGBl I S. 422) i.d.F. vom 3.3.1997 (BGBl I S. 430)
- (8) Verordnung über Höchstmengen an bestimmten Lösungsmitteln in Lebensmitteln vom 25.7.1989 (BGBl I S. 1568)
- (9) Verordnung (EG) Nr. 199/97 der Kommission zur Festsetzung der zulässigen Höchstgehalte von Konta-minanten in Lebensmitteln vom 31.1.97
- (10) Trinkwasserverordnung vom 5.12.1990 (BGBl I S. 2612) i.d.F. vom 26.2.1993 (BGBl I S. 278, 286)
- (11) Verordnung des Umweltministeri-ums über Schutzbestimmungen in Wasser- und Quellenschutzgebieten und die Gewährung von Ausgleichs-leistungen (SchALVO) (GBl S. 742 (1987)) i.d.F. vom 15.8.1997 (GBl S. 388)
- (12) Gesetz zum Schutz der Kulturpflan-zen (Pflanzenschutzgesetz) vom 15.9.1986 (BGBl I S. 1505) i.d.F. vom 25.11.1993 (BGBl I S. 1917)
- (13) Lebensmittelüberwachung und Umweltschutz. Jahresberichte der Chemischen und Veterinäruntersu-chungsämter Baden-Württembergs (erhältlich unter deren Adressen)

Informationsmöglichkeiten

Veröffentlichungen des MLR Baden-Württemberg (einschließlich Gemeinsa-mem Jahresbericht der Untersuchungs-einrichtungen): www.mlr.baden-wuerttemberg.de, Auswahl: Pressestelle, Presse-archiv, Verbraucherschutz

Berichte des Bundesgesundheitsamtes: www.bgvv.de.fb/presse.

Chemikalieninformationssystem: www.bgvv.de/fbs/chem/index.htm

Europäische Informationen im Lebens-mittelsektor: europa.eu.int/comm/dg24 (hier vorzugsweise Agriculture, Foodstuff and Health)

Einführung

Jede Materie besteht aus Atomen, die sich ihrerseits aus dem Atomkern und den ihn umhüllenden Elektronen zusammensetzen. Die meisten auf der Erde vorkommenden Elemente und ihre Isotope besitzen stabile Atomkerne. Einige Kernarten sind instabil. Sie zerfallen nach gewissen Zeiten. Ihre Kerne wandeln sich dabei in andere Kerne um. Bei diesem Vorgang wird in der Regel energiereiche Strahlung ausgesandt. Wegen dieser Strahlung nennt man instabile Atomkerne auch *Radionuklide*, das heißt Strahlung aussendende Kerne.

Instabile Atomkerne geben bei ihrem Zerfall Strahlung von sich aus ab, sind also radioaktiv. Den Vorgang nennt man *radioaktiven Zerfall*. Die physikalische Größe, mit der die Zerfallsraten – das sind die pro Sekunde zerfallenden Atomkerne – beschrieben werden, heißt *Radioaktivität* oder kurz auch Aktivität. Radioaktivität ist immer eine stoffgebundene Eigenschaft. Sie wurde vor rund 100 Jahren von Henri Becquerel als natürliche Eigenschaft an Uranverbindungen entdeckt und in der Folge durch die Untersuchungsergebnisse vieler Forscher, unter ihnen vor allem Marie Curie und Ernest Rutherford, geklärt. Die Maßeinheit für die Radioaktivität wird zu Ehren von Henri Becquerel mit *Becquerel* bezeichnet. Ein Becquerel, abgekürzt: Bq, entspricht einem Zerfall (einer Umwandlung) eines Atomkernes pro Sekunde.

Der radioaktive Zerfall unterliegt trotz der Spontaneität jeder einzelnen Kernumwandlung im statistischen Mittel festen Gesetzen. Die charakterisierende Größe ist die *Halbwertszeit*, also die Zeit, nach der die Hälfte der ursprünglichen Menge des radioaktiven Materials (d.h. die Hälfte der radioaktiven Atome) durch Zerfall umgewandelt ist. Sie ist unterschiedlich und spezifisch für jedes Radionuklid und reicht von Mikrosekunden bis zu Milliarden von Jahren.

Ein weiteres charakteristisches Merkmal neben der Halbwertszeit ist die freigesetzte

RADIOAKTIVITÄT

Einführung	I – 1
Anlagenbezogene Überwachung	I – 5
Allgemeine Überwachung	I – 11
Anhang	I – 16

Strahlung eines radioaktiven Stoffes. Trifft die beim radioaktiven Zerfall entstandene energiereiche Strahlung auf Materie, so verändert sie deren inneres Gefüge. Es werden zum Beispiel Elektronen abgespalten und umgelagert: die Strahlung wirkt ionisierend. Man nennt sie deshalb ionisierende Strahlung.

Man unterscheidet bei den ionisierenden Strahlen aus Radionukliden als wichtigste Arten:

- Alphastrahlung, ist schwere Teilchenstrahlung aus Heliumkernen (ein Heliumkern besteht aus zwei Protonen und zwei Neutronen);
- Betastrahlung, ist leichte Teilchenstrahlung aus Elektronen oder Positronen;
- Gammastrahlung, ist elektromagnetische Strahlung.

Entsteht die ionisierende elektromagnetische Strahlung nicht beim radioaktiven Zerfall des Atomkerns, sondern in der Elektronenhülle oder künstlich durch Energieeinsatz, nennt man sie Röntgenstrahlung. Sie ist in der Regel energieärmer als Gammastrahlung.

Die Energieabgabe und damit auch das Durchdringungsvermögen bzw. die Schwächung dieser Strahlungen beim Durchgang durch Materie ist sehr unterschiedlich, was auch zu ihrer Erkennung herangezogen wird. Alphastrahlung, als schwere Teilchenstrahlung, ionisiert die durchdrungene Materie auf kurzer Wegstrecke sehr dicht, während Betastrahlen und erst recht Gammastrahlen weitaus weniger dicht ionisieren.

Die Teilchenstrahlungen Alpha- und Betastrahlen haben begrenzte Reichweiten. Sie liegen für Alphastrahlen bei ma-

ximal ca. 12 cm in der Luft bzw. maximal ca. 0,15 mm in Gewebe, für Betastrahlen bei maximal ca. 15 m in der Luft bzw. 2 cm in Gewebe. Die Reichweite niedrigstenergetischer Betastrahlung, wie z. B. bei der vom Radionuklid Tritium ausgehenden Strahlung, liegt bei nur ca. 0,6 cm in der Luft bzw. ca. 0,01 mm in Gewebe. Für Gamma- und Röntgenstrahlung gibt es keine exakt begrenzten Reichweiten, sondern nur stark energie-, material- und schichtdickenabhängige Schwächungsfaktoren. Diese Schwächungsfaktoren werden am besten in Form von sogenannten Halbwertschichten angesetzt, also Materialschichtstärken, welche die Intensitäten der Gamma- bzw. Röntgenstrahlen jeweils auf die Hälfte herabsetzen. Die Halbwertschichten für Luft betragen etwa 100 m bei einer Gammastrahlung von 1 MeV (Megaelektronenvolt) bzw. etwa 35 m bei 0,1 MeV. Die entsprechenden Halbwertschichten für Wasser oder Gewebe liegen bei etwa 15 cm bzw. 5 cm (Abb. 1).

Obwohl der Mensch nicht in der Lage ist, ionisierende Strahlen und damit die Radioaktivität unmittelbar wahrzunehmen, erlaubt die moderne Messtechnik den Nachweis solcher Strahlung mit außerordentlich hoher Empfindlichkeit, so dass die radioaktiven Nuklide heute zu den am besten bekannten Stoffen zählen.

Entscheidend für den Menschen und damit auch für den Strahlenschutz ist die biologische Wirkung, die die ionisierende Strahlung im menschlichen Organismus hervorruft. Die Wirkung, die eine aufgenommene Strahlung erzeugt, wird als *Dosis* bezeichnet. Jede der drei Strahlungsarten führt zur Aufnahme von Energie im biologischen Gewebe, die zur

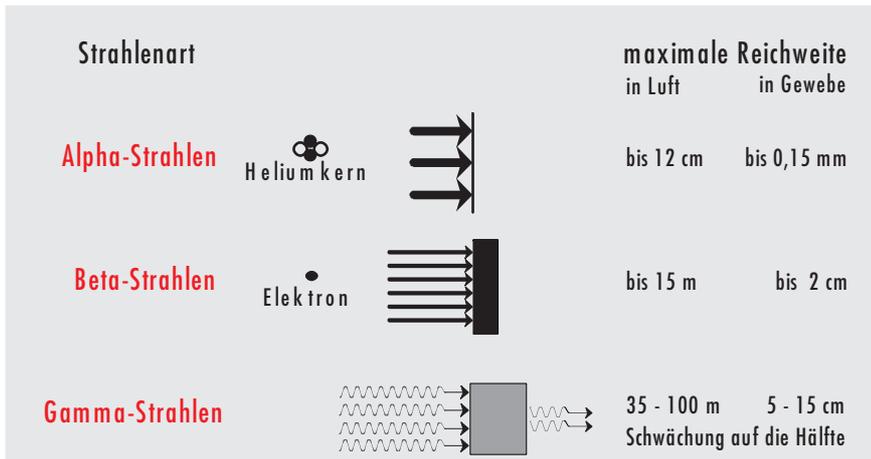


Abb. 1 Strahlenarten und ihre Eigenschaften

Schädigung von Zellen oder Erbgut führen kann. Zur Beschreibung dieser aufgenommenen Energie, bezogen auf die Masse des biologischen Gewebes, dient primär die physikalische Größe Energiedosis (Energie pro Masse) mit der Einheit Gray (Gy). 1 Gray bedeutet den Energieeintrag von 1 Joule/kg.

Die biologische Wirkung einer Strahlenart beruht aber nicht nur auf der absorbierten Energie, sondern vor allem auch auf deren räumlicher Verteilung. Je kleiner der Bereich ist, in dem eine bestimmte Menge Energie wirkt, desto größer ist die Schädigung in diesem Bereich und damit die biologische Wirkung der Strahlung. Dies führte zur Einführung der sogenannten Äquivalentdosis mit der Einheit Sievert. 1 Sievert (Sv) bedeutet ebenfalls 1 Joule/kg, jedoch biologisch bewertet. Die Äquivalentdosis ist gleich

der Energiedosis, multipliziert mit einem Bewertungsfaktor. Dieser Faktor ist unter anderem abhängig von der Strahlenart. Er beträgt – gleichartige Strahlungsverhältnisse vorausgesetzt – für Alphastrahlung 20 und für Beta-, Gamma- und Röntgenstrahlung jeweils eins. Der für Alphastrahlung 20 mal höhere Wert spiegelt die Besonderheit wider, dass Alphastrahlen ihre Energie in sehr viel kleineren Bereichen des Gewebes abgeben als Beta- oder Gammastrahlen. Alphastrahlende Radionuklide sind daher besonders schädlich für das Gewebe, wenn sie einmal in den Körper gelangt sind und dort verbleiben. Hingegen ist äußere Alphastrahlung fast bedeutungslos.

Aus Äquivalentdosen, mit denen einzelne Organe belastet werden, kann rechnerisch über bestimmte Wichtungsfaktoren für Organe bzw. Körperteile auch eine „effektive Äquivalentdosis“ ermittelt wer-

den. Während es über die Auswirkungen von höheren Äquivalentdosen (ab etwa 500 mSv) gesicherte Erkenntnisse gibt, wird über die Wirkungen niedriger Äquivalentdosen noch wissenschaftlich diskutiert. In der Praxis des Strahlenschutzes geht man davon aus, daß auch eine geringe Dosis im Prinzip zu einer Schädigung führen kann. Allerdings ist das Risiko hierfür sicher umso kleiner, je kleiner die Dosis ist.

Obwohl mit der Äquivalentdosis ein Maß für die Wirkung ionisierender Strahlung gegeben ist, spielt noch eine weitere Einflussgröße eine wichtige Rolle, nämlich die Zeit, in der eine Dosis verabreicht wird. Aufgrund von Reparaturmechanismen in den Zellen des menschlichen Körpers fällt die Schädigung umso geringer aus, je größer der Zeitraum ist, in dem man eine bestimmte Dosis erhält, je geringer also die Dosisleistung, d.h. die Dosis je Zeiteinheit, ist.

Von den aus der Umwelt auf den Menschen von außen einwirkenden Strahlenarten durchdringt die Gammastrahlung den menschlichen Körper am stärksten. Die durch äußere Strahlung verursachte Dosis stammt deshalb fast vollständig von dieser Strahlung. Bei der Überwachung der äußeren Strahlung wird daher in der Regel auch nur die Gammadosis ermittelt. Die dabei gewonnenen Werte beschreiben die von der Gammastrahlung an einem bestimmten Ort verursachte Dosis, die Gammaortsdosis. Die pro Zeiteinheit ermittelte Dosis wird als Gammaortsdosisleistung bezeichnet. Diese wird in der Regel in Mikro- oder Nanosievert pro Stunde ($\mu\text{Sv/h}$ oder nSv/h) angegeben.

Natürliche Radioaktivität

Von den auf der Erde vorkommenden natürlichen Radionukliden haben einige Halbwertszeiten in der Größenordnung des Erdalters, wie z. B. Uran-238, Thorium-232, Kalium-40. Dabei sind beispielsweise Uran-238 und Thorium-232 Ausgangsnuklide von Zerfallsreihen, die zahlreiche weitere natürliche Radionu-

Ursache	Folge	Wirkung
Radioaktivität	Strahlung	Dosis
Zahl der pro Sekunde zerfallenden Atomkerne		Wirkung der aufgenommenen Strahlung ("das, was hängen bleibt")
Maßeinheit: Becquerel (Bq)		Energiedosis Maßeinheit: Gray (Gy)
		Äquivalentdosis Maßeinheit: Sievert (Sv)

Abb. 2 Radiologische Zusammenhänge

klide enthalten. Von diesen Radionukli- den gelangen Radon (Radon-222) bzw. Thoron (Radon-220) und ihre Folgepro- dukte auch in die Atmosphäre. Zusätzlich werden durch die Wechselwirkung der aus dem Weltall kommenden kosmischen Strahlung mit der umgebenden Luftschicht radioaktive Nuklide wie Kohlenstoff-14, Beryllium-7 und Tritium ständig neu erzeugt. Da diese Radionu- klide durch die Einwirkung der kosmi- schen Strahlung (auch Höhenstrahlung genannt) entstanden sind, bezeichnet man ihre Herkunft als „kosmogen“.

Durch die Aufnahme solcher Radionukli- de mit der Atemluft oder der Nahrung kommt es neben der äußeren Strahlenbe- lastung auch zu einer merklichen inne- ren Strahlenbelastung des Menschen.

Die wichtigsten natürlichen Radionuklide sind in Tab. 1 aufgeführt. Bis auf die vier kosmogenen Radionuklide sind diese mehr oder weniger verteilt vor allem in den Böden und Gesteinen der Erdkruste und damit auch in den anorganischen Bauma- terialien und Zuschlagstoffen vorhanden.

Künstliche Radioaktivität

Künstlich vom Menschen erzeugte Radio- nuklide sind zu Hunderten bekannt und unterliegen samt ihren Strahlungen den- selben Gesetzmäßigkeiten wie die natür- lich vorkommenden Radionuklide. Prak- tische Bedeutung für die Belastung von Mensch und Umwelt haben jedoch nur einige wenige Nuklide, die entweder große Halbwertszeiten besitzen oder wegen ihres physiologischen Verhaltens stärker radiotoxisch sind. Einige wichtige künstlich erzeugte Radionuklide sind in Tab. 2 zusammengestellt. Ein Teil der natürlich vorkommenden Radionuklide, wie Tritium und Kohlenstoff-14, wird heute auch durch menschliche Tätigkei- ten in größerer Menge künstlich erzeugt (anthropogene Radionuklide).

Kurz nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl standen die kurzlebigen Radio- nuklide, insbesondere das Radionuklid Iod-131, im Mittelpunkt des Interesses

Radionuklid	Art der Strahlung*	Halbwertszeit	Ursprung bzw. Anwendung
Wasserstoff-3 (Tritium)	b	12,3 Jahre	kosmogen
Beryllium-7	g	53 Tage	kosmogen
Kohlenstoff-14	b	5.730 Jahre	kosmogen
Natrium-22	b, g	2,6 Jahre	kosmogen
Kalium-40	b, g	1,27 Milliarden Jahre	Erdkruste
Blei-210	a, b, g	22,3 Jahre	Uran-Reihe, Erdboden
Blei-212	a, b, g	10,6 Stunden	Thorium-Reihe, Erdboden, Luft
Blei-214	a, b, g	26,8 Minuten	Uran-Reihe, Erdboden, Luft
Wismut-214	a, b, g	19,8 Minuten	Uran-Reihe, Erdboden, Luft
Radon-220 (Thoron)	a, b, g	55 Sek.	Thorium-Reihe, Erdboden, Luft
Radon-222 (Radon)	a, b, g	3,82 Tage	Uran-Reihe, Erdboden, Luft
Radium-226	a, b, g	1.600 Jahre	Uran-Reihe, Erdboden
Thorium-232	a, b, g	14 Milliarden Jahre	Erdkruste
Uran-235	a, b, g	0,7 Milliarden Jahre	Erdkruste
Uran-238	a, b, g	4,5 Milliarden Jahre	Erdkruste

* a = Alphastrahlung; b = Betastrahlung; g = Gammastrahlung
Bei der angegebenen Art der Strahlung sind auch die Folgeprodukte des genannten Radionuklids berücksichtigt

Tab. 1 Natürlich vorkommende Radionuklide

Radionuklid	Art der Strahlung*	Halbwertszeit	Ursprung bzw. Anwendung
Wasserstoff-3 (Tritium)	b	12,3 Jahre	Kernwaffenfallout, Leuchtfarben, Kerntechnik
Kohlenstoff-14	b	5.730 Jahre	Kerntechnik, Medizin
Kobalt-60	b, g	5,3 Jahre	Medizin, Kerntechnik
Technetium-99 m	b, g	6,0 Stunden	Medizin
Strontium-90	b	28,5 Jahre	Kernwaffenfallout, Kerntechnik, Medizin
Iod-125	g	60 Tage	Medizin
Iod-131	b, g	8 Tage	Medizin, Kerntechnik
Cäsium-134	b, g	2 Jahre	Kerntechnik
Cäsium-137	b	30 Jahre	Kernwaffenfallout, Tschernobyl, Kerntechnik, Medizin
Promethium-147	b, g	2,6 Jahre	Leuchtfarben
Iridium-192	b, g	74 Tage	Prüftechnik, Medizin
Plutonium-238	a, g	87,7 Jahre	Kerntechnik, Isotopenbatterien
Plutonium-239	a, g	24.110 Jahre	Kerntechnik, Kernwaffentechnik
Americium-241	a, g	433 Jahre	Kerntechnik, Brandmelder, Prüftechnik

* a = Alphastrahlung; b = Betastrahlung; g = Gammastrahlung
Bei der angegebenen Art der Strahlung sind auch die Folgeprodukte des genannten Radionuklids berücksichtigt

Tab. 2 Künstliche Radionuklide

Einführung

von Öffentlichkeit und Fachleuten. In der Folgezeit blieben als einzig bedeutsame „Tschernobyl“-Nuklide die längerlebigen Radionuklide Cäsium-134 und vor allem Cäsium-137 übrig, die fast in jedem am Stoffkreislauf beteiligten Umweltmedium in unterschiedlichen Konzentrationen zu finden sind. Daneben sind auch die Auswirkungen der früheren oberirdischen Kernwaffentestexplosionen aus den 50er Jahren und Anfang der 60er Jahre noch nachweisbar. Hierher stammt ein Teil des heute in der Umwelt vorhandenen Cäsium-137 und die Hauptmenge des vorhandenen Strontium-90. Die Emissionen aus dem Normalbetrieb von Kernkraftwerken sind demgegenüber gering.

Die Bewertung des radiologischen Risikos der friedlichen Kernenergienutzung ist fast ausschließlich von der Bewertung des Störfallrisikos abhängig.

Strahlenquellen in Medizin, Technik und Forschung

Durch gezielte Anreicherung natürlicher Radionuklide, wie z. B. Radium-226, konnten in der Vergangenheit Strahlenquellen hergestellt werden, die sowohl in der Medizin zur Tumorthherapie als auch in der Grundlagenforschung eingesetzt wurden. In letzter Zeit werden zunehmend die natürlichen Substanzen durch gezielt hergestellte künstliche Radionuklide wie Kobalt-60, Strontium-90, Iod-125, Cäsium-137 und Iridium-192 ersetzt.

Aufgrund der unterschiedlichen Nutzeranforderungen in Medizin, Technik und Forschung bezüglich Strahlenart, Strahlenhärte (Strahlenenergie) und Strahlenintensität wurden zunehmend auch Beschleuniger errichtet. Es handelt sich hierbei um Anlagen, die erst bei ihrem Einschalten ionisierende Strahlen erzeugen und insofern keine permanenten Strahlenquellen darstellen.

In Baden-Württemberg gibt es etwa zwei Dutzend Orte, in denen im größeren Stil umschlossene radioaktive Quellen in der Forschung und Technik oder in der Medizin verwendet werden und in denen Anla-

gen zur Erzeugung ionisierender Strahlung arbeiten.

Strahlenexposition

Bedingt durch die kosmische Strahlung sowie durch die überall vorhandenen natürlichen Uran- und Thoriumbestandteile und deren Folgeprodukte in der Erde, den Gesteinen und den vom Menschen genutzten Baumaterialien ergibt sich in Deutschland eine mittlere effektive Dosis durch natürliche Strahlenexposition von ca. 2,4 mSv im Jahr.

Neben der von außen wirkenden Gammastrahlung (kosmische Strahlung, terrestrische Strahlung) tragen besonders die mit der Atemluft und der Nahrung in den Körper gelangenden Radionuklide zur Strahlenexposition bei.

Über die Hälfte des natürlichen Beitrags zur menschlichen Strahlenbelastung ist dabei auf das radioaktive Edelgas Radon zurückzuführen. Dieses bildet sich aus dem Radium und gelangt im wesentlichen aus dem Erdboden und den Baumaterialien in die Luft. Dort entstehen weitere radioaktive Folgeprodukte, die dann über die Atmung in die Lunge gelangen und dort den Hauptanteil der natürlichen Strahlenbelastung mit einer erheblichen Variationsbreite bewirken.

Nach der Entdeckung der Kernspaltung im Jahr 1938 durch Otto Hahn eröffneten sich für die Nutzung radioaktiver Stoffe in Wissenschaft, Medizin und Industrie durch die Gewinnung künstlicher Radionuklide viele Anwendungsbereiche. Neben diesen zivilisationsbedingten Anwendungen der Radioaktivität muss man zusätzlich den Einsatz von Röntgenstrahlen in der Medizin beachten, wenn Aussagen über die zivilisatorische Belastung durch ionisierende Strahlung gemacht werden sollen. Insgesamt beträgt das Mittel dieser zivilisatorischen Strahlenexpositionen zusammen etwa 2,3 mSv im Jahr. Nahezu 100 % kommen dabei aus dem medizinischen Bereich - nicht zuletzt deshalb, weil sich im Durchschnitt jeder Bürger jährlich mehr als

einmal einer Röntgenuntersuchung unterzieht. Die medizinisch bedingte Strahlenexposition verteilt sich allerdings sehr ungleichmäßig über die Bevölkerung.

Alle anderen zivilisationsbedingten Beiträge sind wesentlich kleiner als die regionalen Schwankungen der natürlichen Strahlenexposition. Auch die mittlere Strahlenexposition durch den Reaktorunfall in Tschernobyl ist heute mit weniger als 0,02 mSv im Vergleich mit der natürlichen und der medizinischen Belastung nur sehr gering. Er ist jedoch neben dem Kernwaffen-„Fallout“ der einzige durch Menschen verursachte Beitrag, der in der Umwelt nachzuweisen ist.

Abb. 3 enthält die unterschiedlichen Beiträge zur jährlichen Strahlenexposition in Deutschland. Die dargestellten Werte sind Durchschnittswerte. Sie geben keine Auskunft über die Strahlenbelastung in speziellen Fällen wie z. B. bei einer strahlentherapeutischen Behandlung. Mit ihnen ist es jedoch möglich, die zivilisationsbedingte Strahlenbelastung eines Menschen in normalen Lebensverhältnissen mit seiner natürlichen Strahlenbelastung zu vergleichen.

Überwachung der Radioaktivität

In Erfüllung des Schutzzweckes des Atomgesetzes, „Leben, Gesundheit und Sachgüter vor den Gefahren der Kernenergie und der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlen zu schützen“, und des Schutzzieles des Strahlenschutzvorsorgegesetzes, „zum Schutze der Bevölkerung die Radioaktivität in der Umwelt zu überwachen“, hat Baden-Württemberg ein komplexes System zur Überwachung der Radioaktivität aufgebaut.

Schwerpunkte der Überwachung sind die kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen. Es wird jedoch auch flächendeckend das ganze Land erfasst. Die Daten laufen bei der Landesanstalt für Umweltschutz zusammen, werden dort ausgewertet und ermöglichen einen Gesamtüberblick über die radiologische Situation im Land.

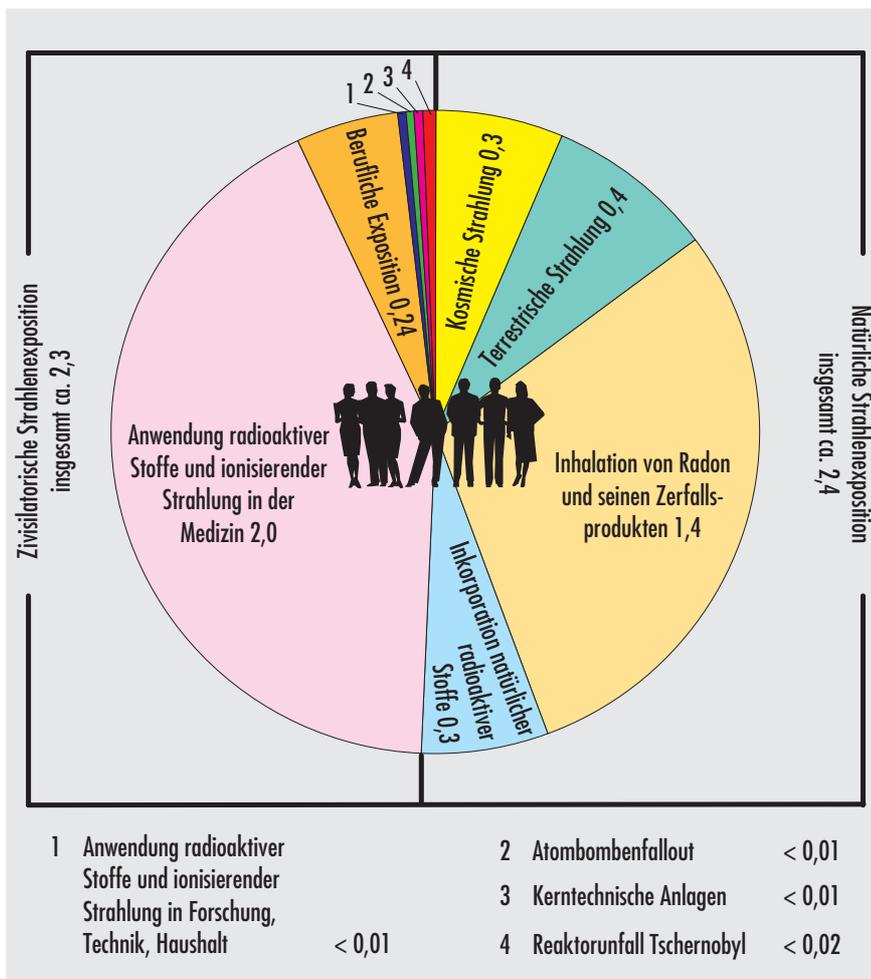


Abb. 3 Mittlere effektive Jahresdosis der Bevölkerung durch ionisierende Strahlung in Deutschland 1998 - in Millisievert (mSv) (Quelle: BMU)

Das Überwachungssystem kontrolliert sowohl die Abgaben der Anlagen (Emissionen) als auch die Einträge in die Umweltbereiche (Immissionen). Es besteht aus folgenden Komponenten:

Anlagenbezogene Überwachung der Radioaktivität nach dem Atomrecht

- Emissionsüberwachung
- Kernreaktorfernüberwachung (Emissionen und Immissionen)
- Umgebungüberwachung (Immissionen)

Allgemeine Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz

- Integriertes Mess- und Informationssystem des Bundes und der Länder (IMIS)
- Radioaktivitätsmessnetze

– Radiologische Forschungsvorhaben

Dabei werden automatisch rund um die Uhr arbeitende Messeinrichtungen betrieben und eine Vielzahl von Einzelproben im Labor untersucht.

Anlagenbezogene Überwachung

Die *allgemeine Überwachung* der Radioaktivität bleibt auf die Immissionsüberwachung beschränkt. Hingegen spielt in der *anlagenbezogenen Überwachung* der Radioaktivität die Emissionserfassung einer Anlage eine entscheidende Rolle, da jede Abgabe (Emission) radioaktiver Stoffe zwangsläufig mit einem Eintrag (Immission) in die Umwelt verbunden ist. Der Zusammenhang zwischen Emission und Immission kann sehr komplex sein. Im Wesentlichen sind die folgenden Vorgänge und Gesichtspunkte für den Ein-

trag in die Umwelt und damit auch die Pfade zum Menschen von Bedeutung:

- Art, Höhe, Menge und Zeitpunkt der Freisetzung,
- Verteilung und Verfrachtung mit der Luft,
- Transport und Verteilung mit dem Wasser,
- Verhalten und Verbleiben von Radionukliden in der Umwelt,
- Anreicherung in der Nahrungskette und Aufnahme über die Atemluft.

Die Abbildungen 4 bis 12 auf den folgenden Seiten veranschaulichen die Emissionen radioaktiver Stoffe. Dabei sind in die Emissionen des Forschungszentrums Karlsruhe (FZK) die Abgaben aus den inzwischen stillgelegten Anlagen zur Wiederaufarbeitung bestrahlter Kernbrennstoffe (WAK), der Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft (KBG), aus dem Mehrzweckforschungsreaktor (MZFR) und aus der Kompakten Natriumgekühlten Kernreaktoranlage (KNK) einbezogen; enthalten sind ferner die Abgaben aus dem in Betrieb stehenden Europäischen Institut für Transurane (TUI) und aus dem auf dem Gelände befindlichen TÜV-Labor.

Emissionsüberwachung

Die beim Umgang mit radioaktiven Substanzen in vielen Fällen unvermeidlichen Abgaben (Emissionen) radioaktiver Stoffe an die Umwelt werden bei kerntechnischen Anlagen kontrolliert und bilanziert, und zwar für die Abgabepfade Abluft und Abwasser.

Abgaben mit der Abluft

Bei kerntechnischen Anlagen wird grundsätzlich die gesamte Fortluft über den Kamin abgeleitet und überwacht. Die Abgaben radioaktiver Stoffe werden dabei getrennt nach Nuklidgruppen bilanziert. Artverwandte Nuklide fasst man dabei zu Nuklidgruppen zusammen. Die Nuklide einer Nuklidgruppe werden mit dem jeweils gleichen Messverfahren ermittelt.

Anlagenbezogene Überwachung

Folgende Nuklidgruppen und Einzelnuclide werden bei deutschen Kernanlagen überwacht und bilanziert:

Radioaktive Gase

Bei Kernkraftwerken handelt es sich vorwiegend um kurzlebige radioaktive Isotope der Edelgase Xenon und Krypton.

Die aus Abb. 4 ersichtlichen Edelgasemissionen spiegeln sowohl die leistungsabhängige Produktionsrate von Edelgasen als auch die Dichtheit der Brennelementhüllen beim Betrieb von Kernkraftwerken wider. Die Edelgasemissionen des Forschungszentrums Karlsruhe setzten sich vorwiegend aus Xenonisotopen zusammen.

Die Emissionen bei der Wiederaufarbeitungsanlage WAK bestanden hauptsächlich aus dem Nuklid Krypton-85, das in seiner Menge unmittelbar proportional zum durchgesetzten, abgebrannten Brennstoff war. Mit der Einstellung der Wiederaufarbeitung zum Jahresende 1990 gingen die Emissionsraten der Edelgase deutlich zurück.

Auch Anlagen, die derzeit stillgelegt werden, können noch Edelgase abgeben, solange nicht alle Brennelemente entladen und abtransportiert sind.

Die durch diese künstlich erzeugten radioaktiven Edelgase verursachte durchschnittliche effektive Strahlenbelastung ist gering. Sie liegt selbst im Nahfeld eines Kernkraftwerks um etwa drei Größenordnungen unter der Strahlenbelastung, die durch die natürlichen radioaktiven Edelgase Radon (Radon-222) und Thoron (Radon-220) bedingt ist.

Alphastrahlende Aerosole

Beim Normalbetrieb von Kernkraftwerken treten wegen der Dichtheit der Brennstabhüllen erfahrungsgemäß in der Abluft kaum alphastrahlende Radionuklide wie Plutonium oder Americium auf. So liegen hier die meisten Messergebnisse bei oder unterhalb der messtechnisch möglichen Erkennungsgrenze (Abb. 5).

Anders liegen die Verhältnisse beim Forschungszentrums Karlsruhe. Durch den Umgang mit radioaktiven Abfällen und bestrahlten Kernbrennstoffen in offener Form sowie durch die Demontage von Kernanlagen und Kontrollbereichen sind hier mit empfindlichen Messverfahren alphastrahlende Aerosole in der Abluft nachweisbar. Die Anlagen zur Behandlung radioaktiver Reststoffe tragen mit etwa 25-30 % und die Wiederaufarbeitungsanlage mit etwa 70-75 % an der Gesamtemission bei.

Beta-/gammastrahlende Aerosole

Im Gegensatz zu den alphastrahlenden Aerosolen waren bei allen im Betrieb befindlichen kerntechnischen Anlagen beta-/gammastrahlende Radionuklide in der Abluft nachweisbar (Abb. 6). Die Beta-/Gamma-Aerosole können die unterschiedlichsten Spaltprodukte enthalten, wie Cäsium-134 oder Strontium-90. Sie können aber auch durch Aktivierung entstanden sein, wie Kobalt-60. Man spricht deshalb auch von Spalt- und Aktivierungsprodukten. Bei Kernkraftwerken treten sie vorwiegend während der Revision auf. Beim Forschungszentrum Karlsruhe entstehen sie abhängig vom Betrieb der Abfallbehandlungsanlagen sowie bei der Stilllegung von Kontrollbereichen und Anlagen aus der Wiederaufarbeitung. Kurzlebige Aerosole sind in ihren Emissionsraten gegenüber den längerlebigen Aerosolen durchweg vernachlässigbar.

Radioiod

Die menschliche Schilddrüse nimmt das dem Körper über die Atemluft und die Nahrung angebotene Iod fast vollständig auf. Bei Kernkraftwerken ist deshalb dem kurzlebigen flüchtigen Iod-131 (Halbwertszeit 8 Tage) wegen seiner radiologischen Wirksamkeit besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Bei der Wiederaufarbeitung von bestrahltem Kernbrennstoff spielte wegen der langen Abklingzeit Iod-131 radiologisch keine Rolle. Demgegenüber ist hier - auch nach Beendigung

des Betriebs - das langlebige Iod-129 (Halbwertszeit 15,7 Mio Jahre) von Bedeutung. Der Vergleichbarkeit wegen wurden in der Abb. 7 alle Iodisotope berücksichtigt. Bei den Emittenten auf dem Gelände des Forschungszentrums wurden alle Iodisotope mit einem auf Iod-131 bezogenen Umrechnungsfaktor versehen (Iod-131-Äquivalent) und als Iod-131-Emissionswert dargestellt.

Während die Abgaben der Forschungs- und Versuchsanlagen über lange Jahre hinweg gegenüber den Kernkraftwerken dominierten, sind sie in den vergangenen Jahren deutlich zurückgegangen. Dies wird darauf zurückgeführt, dass sie hauptsächlich durch die Wiederaufarbeitungsanlage und die Abfallbehandlung bestimmt worden waren.

In den Emissionen der Kernkraftwerke ist keine Systematik zu erkennen. Teilweise lagen die durch Messung ermittelten Werte bei oder unterhalb der messtechnischen Erkennungsgrenze. Dies deutet auf gute und dichte Brennstabhüllrohre hin. Die Emissionsraten einiger Anlagen schwanken zum Teil um mehr als eine Größenordnung. Dies kann auf Materialverbesserungen und Qualitätskontrollen zur Verbesserung der Brennstabhüllen zurückgeführt werden, die eine Verminderung der Abgabebilanz bewirken.

Tritium (in Form von HTO)

HTO ist ein spezielles Wassermolekül, bei dem ein „normales“, inaktives Wasserstoffatom durch ein überschweres Wasserstoffatom, das radioaktive Tritiumatom, ersetzt ist. Wegen der physikalisch-chemischen Eigenschaften des Wassers und der Strahlungseigenschaften des Tritiums wird dieses Nuklid separat überwacht.

Tritium entsteht bei Kernreaktoren im Brennstoff und im Kühlwasser. Es wird hauptsächlich mit dem Abwasser abgegeben. Die Tritiumabgaben mit der Fortluft unterscheiden sich zwischen den einzelnen Anlagen (Abb. 8) stark. Dies hängt mit der Verschiedenartigkeit der Anlagen zusammen; Siedewasserreaktoren schneiden offenbar günstiger ab als Druckwasserreaktoren.

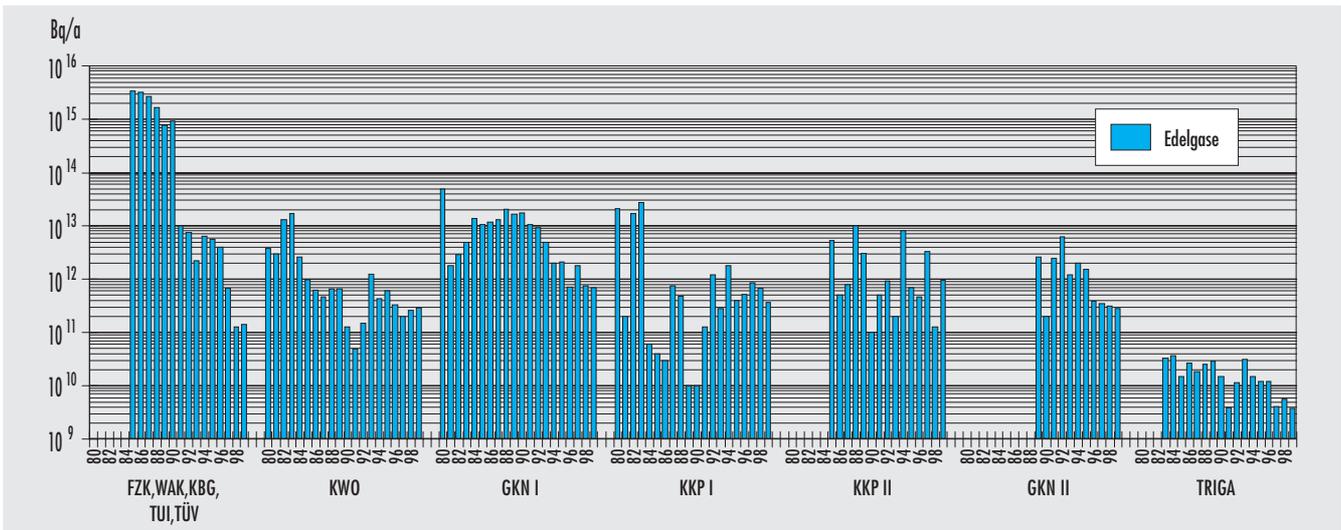


Abb. 4 Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft, Edelgase (Quelle: LfU)

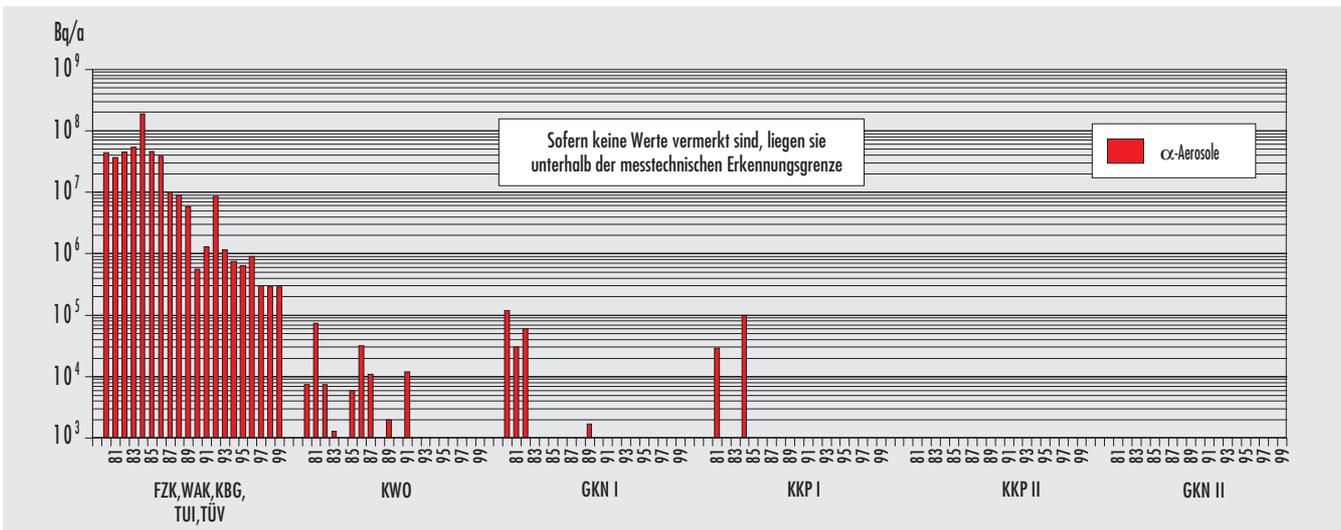


Abb. 5 Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft, α-Aerosole (Quelle: LfU)

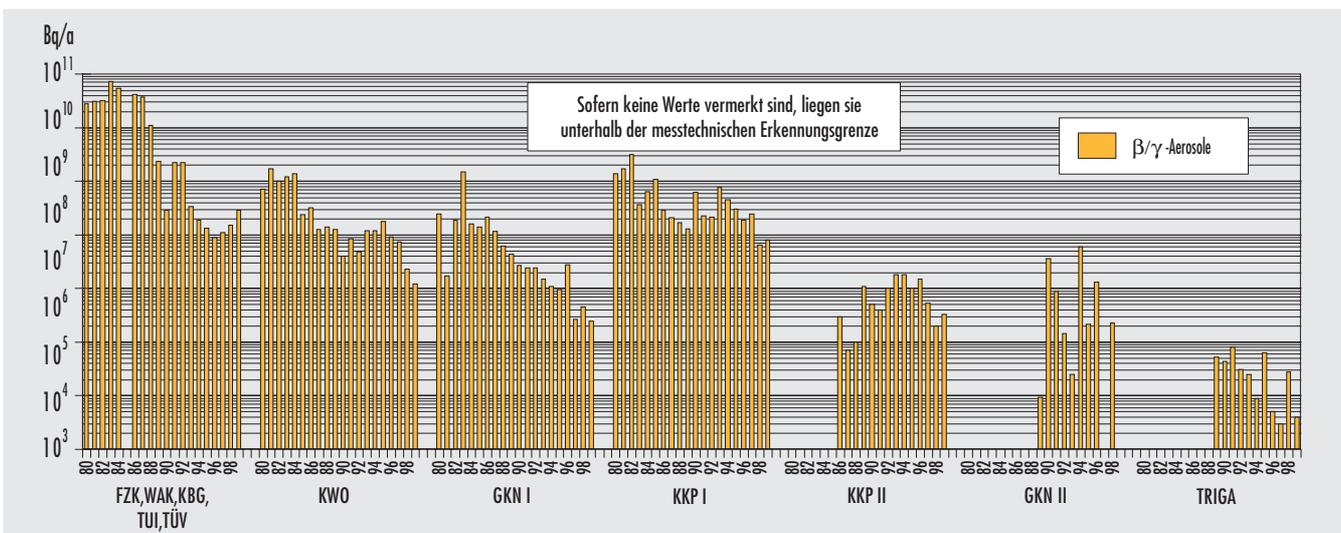


Abb. 6 Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft, β/γ-Aerosole (Quelle: LfU)

FZK = Forschungszentrum Karlsruhe	TÜV = Technischer Überwachungsverein Südwest	GKN I = Kernkraftwerk Neckarwestheim I
WAK = Wiederaufarbeitungsanlage im FZK	KWO = Kernkraftwerk Obrigheim	GKN II = Kernkraftwerk Neckarwestheim II
KBG = Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft im FZK	KKP I = Kernkraftwerk Philippsburg I	TRIGA = Training Research and Isotope Production, Reaktor Heidelberg
TUI = Europäisches Institut für Transurane	KKP II = Kernkraftwerk Philippsburg II	

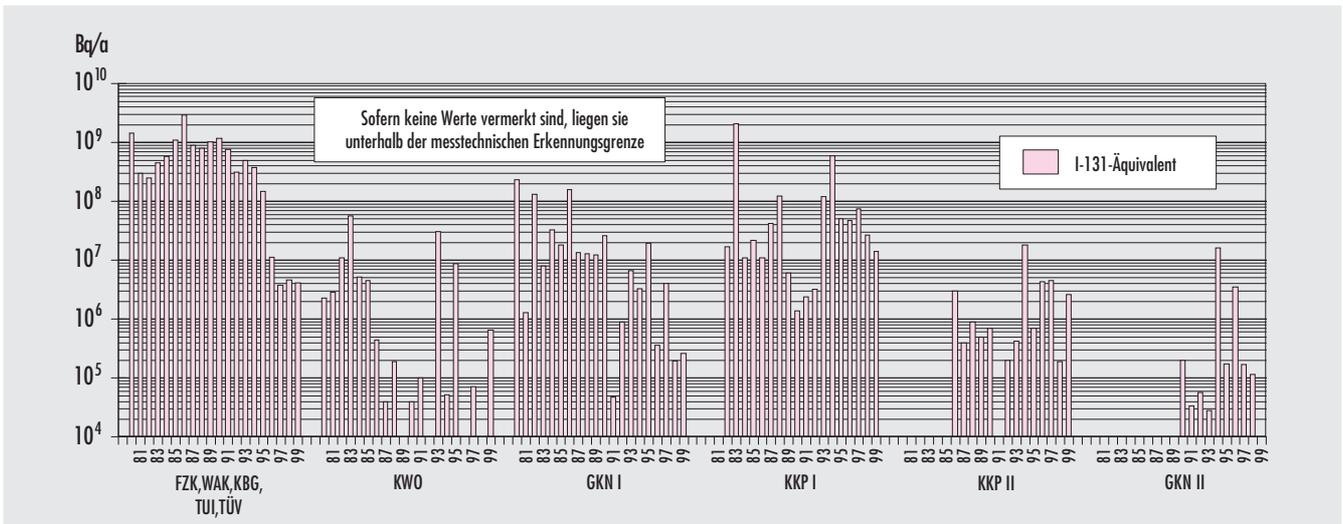


Abb. 7 Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft, I-131-Äquivalent (Quelle: LfU)

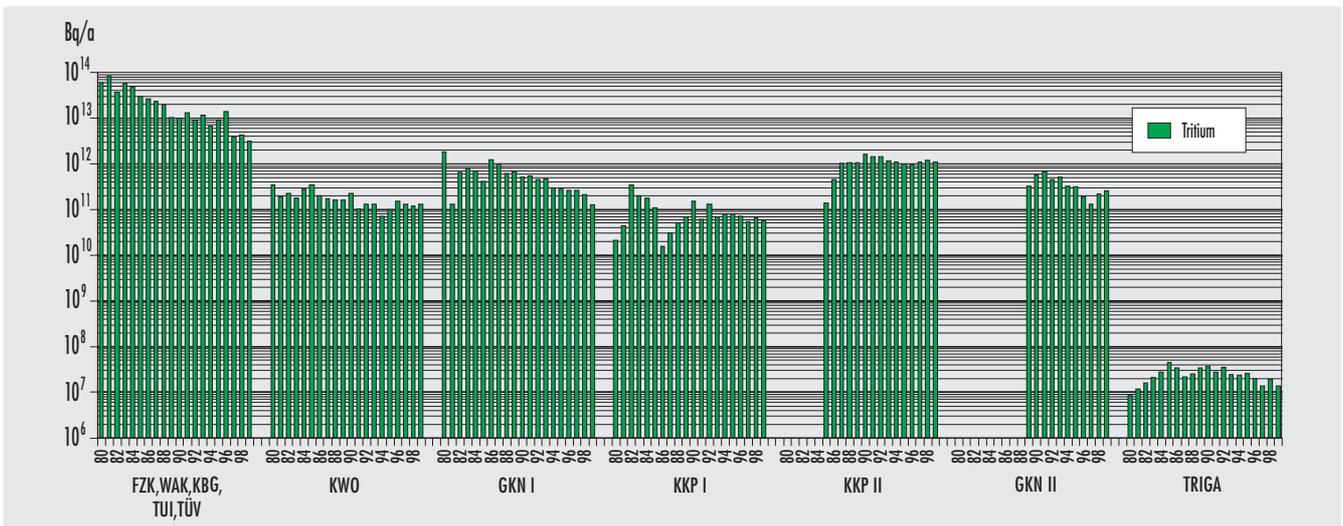


Abb. 8 Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft, Tritium (Quelle: LfU)

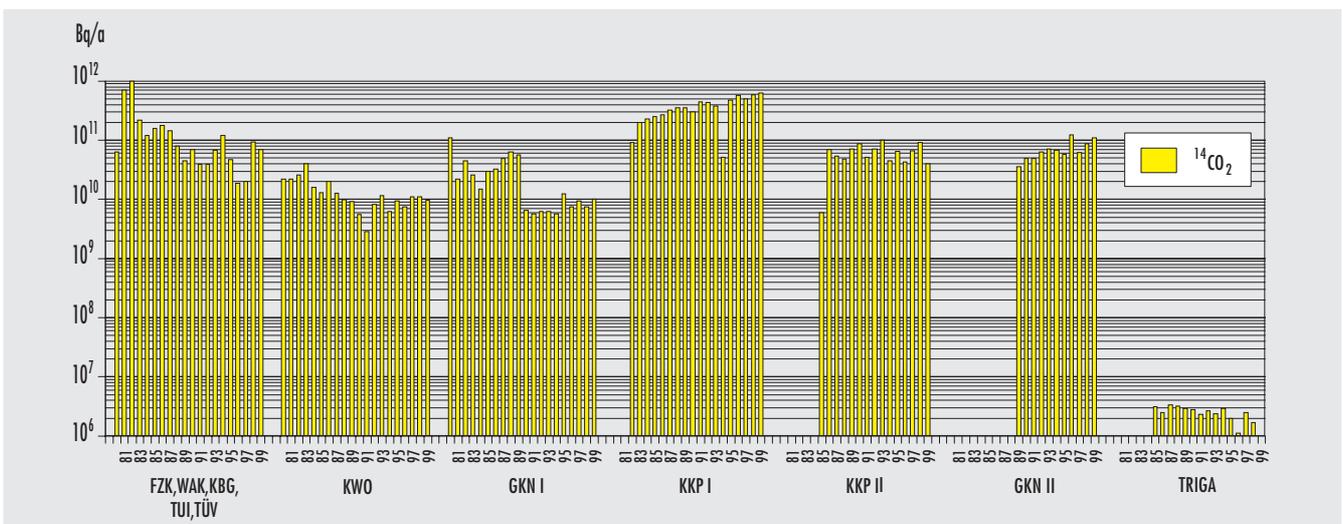


Abb. 9 Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft, Kohlenstoff-14 in Form von Kohlenstoffdioxid (Quelle: LfU)

FZK = Forschungszentrum Karlsruhe
 WAK = Wiederaufarbeitungsanlage im FZK
 KBG = Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft im FZK
 TUI = Europäisches Institut für Transurane

TÜV = Technischer Überwachungsverein Südwest
 KWO = Kernkraftwerk Obrigheim
 KKP I = Kernkraftwerk Philippsburg I
 KKP II = Kernkraftwerk Philippsburg II

GKN I = Kernkraftwerk Neckarwestheim I
 GKN II = Kernkraftwerk Neckarwestheim II
 TRIGA = Training Research and Isotope Production, Reaktor Heidelberg

Ferner spielen die Leistung, die Betriebsfahrweise, das Anlagenverhalten, der Inbetriebnahmezeitpunkt und die Betriebsdauer eine wichtige Rolle.

Die Emissionen der Kernkraftwerke korrelieren in etwa mit den jeweiligen jährlichen Betriebsdauern und erreichen bei vergleichbarer Fahrweise schon nach wenigen Jahren einen Sättigungswert. Die Emissionen bei Anlagen im Bereich des Forschungszentrums Karlsruhe hingegen nahmen wegen der Stilllegung bzw. Außerbetriebnahme von Anlagen und bedeutsamen Tritiumquellen bis Anfang der 90er Jahre ständig ab. Beispielsweise dominierten Mitte der 90er Jahre bei den Tritiumabgaben Anlagen der Abfallbehandlung und der stillgelegte Mehrzweckforschungsreaktor. Demgegenüber wird die verschwindend geringe Tritiumemission beim TRIGA nahezu ausschließlich durch die Verdunstungswassermenge bestimmt.

Kohlenstoff-14

Der bei der Kernenergieerzeugung gebildete und freigesetzte Kohlenstoff-14 in Form von Kohlendioxid ist im wesentlichen proportional der erzeugten Energie (Abb. 9). Ein Teil des erzeugten Kohlenstoff-14 wurde während der Wiederaufarbeitung bestrahlter Kernbrennstoffe auch dort freigesetzt. Heute beherrschen beim Forschungszentrum Karlsruhe die bei der Abfallbehandlung auftretenden Abgaben die Emissionssituation praktisch vollständig. Anders als bei den Tritiumemissionen weist beim Kohlenstoff-14 der Siedewasserreaktor des Kernkraftwerks Philippsburg I höhere Emissionsraten auf als der Druckwasserreaktor des benachbarten Kernkraftwerks Philippsburg II.

Abgaben mit dem Abwasser

Bei kerntechnischen Anlagen wird auch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser überwacht und bilanziert. Entsprechend den vorgeschriebenen Überwachungsmethoden wird nach Ableitungen

von alpha- bzw. beta-/gammastrahlenden Radionukliden und Tritium unterschieden.

Die beta- bzw. gammastrahlenden Radionuklide im Abwasser kommen hauptsächlich aus zwei Quellen. Sie entstehen einerseits bei den Spaltvorgängen im Kernbrennstoff und andererseits durch Neutronenaufnahme (Aktivierung) von vorher nicht aktiven Substanzen innerhalb der Strukturmaterialien. Durch kleinste Leckagen in den Brennelementhüllrohren und durch überwiegend korrosionsbedingten Materialabtrag kommen diese sogenannten Spalt- und Korrosionsprodukte in das Wasser des Primärkreislaufes und von dort in Spuren nach außen.

Alphastrahler

Erhöhte Gehalte von Alphastrahlern im Wasser weisen bei Kernkraftwerken auf Brennabtschäden hin. Die Messergebnisse der vergangenen Jahre zeigen, dass die Emissionsraten von Alphastrahlern in die Vorfluter bei Kernkraftwerken bei niedrigen Werten oder gar unterhalb der messtechnischen Erkennungsgrenzen liegen (Abb. 10).

Beim Forschungszentrum Karlsruhe hält der langfristige Trend zu immer niedrigeren Abgaben von künstlichen Alphastrahlern mit den Abwässern an. Die Gründe liegen hauptsächlich im Rückgang der Kernforschung des Forschungszentrums. Die Abgaberaten sind heute in ihrer Höhe mit denen eines Kernkraftwerks trotz der langjährigen Wiederaufarbeitungstätigkeit vergleichbar. Als bestimmende Nuklide für Alpha-Strahler, die bei der Abwasserabgabe zu bilanzieren sind, werden die Transurane Plutonium-238 bis Plutonium-240 zugrundegelegt.

Beta-/Gammastrahler

Die Erzeugung von beta-/gammastrahlenden Spaltprodukten ist abhängig von der erzeugten Energie. Das Auftreten künstlicher Radionuklide im Abwasser hängt von der Dichtheit der Umhüllung des Brennstoffs und der Leistungsfähigkeit der Wasserreinigungsanlagen ab.

Früher sind bei der Wiederaufarbeitung sowie bei einigen Untersuchungsaufgaben im Forschungszentrum Karlsruhe die Brennstoffumhüllungen entfernt und der abgebrannte Kernbrennstoff mit den darin enthaltenen Spaltprodukten bearbeitet worden. Diese Arbeiten sind seit Jahren eingestellt, was sich auch in den Abgabebilanzen niederschlägt. Auch wurde die Zahl der Kontrollbereiche deutlich verringert.

Beim Forschungszentrum Karlsruhe werden auch die Abgaben von Kohlenstoff-14 und Plutonium-241 bilanziert. Dies sind weder Spalt- noch Korrosionsprodukte. Beispielsweise betragen 1995 ihre Ableitungen mit dem Wasser 73 MBq bei Kohlenstoff und 33 MBq bei Plutonium.

Die Abgaberaten der Kernkraftwerke schwankten über die Jahre stark, so dass eine allgemeine Tendenz nicht feststellbar ist. Die Kernkraftwerke sind mit dem Forschungszentrum Karlsruhe nicht vergleichbar (Abb. 11).

Tritium

Aus Abb. 12 ist erkennbar, daß die Druckwasserreaktoren jeweils mehr Tritium abgeben als der Siedewasserreaktor Philippsburg I. Auch gingen die Abgaben des Forschungszentrums in Einklang mit der Stilllegung von Tritium erzeugenden Anlagen in der Tendenz zurück. Die geringere Emission des Kernkraftwerks Obrigheim im Jahr 1991 wurde durch eine längere, gerichtsverfügte Stillstandsphase bewirkt. Tritium ist - langfristig betrachtet - im Abwasserpfad das am häufigsten nachgewiesene künstliche Radionuklid.

Immissionsüberwachung

Die Emissionen kerntechnischer Anlagen werden sehr zuverlässig erfasst und kontrolliert. Dennoch findet eine umfangreiche Immissionsüberwachung statt, die es erlaubt, Radioaktivitätsgehalte in den für den Menschen wichtigsten Umweltmedien festzustellen und die Strahlenbelastung abzuschätzen.

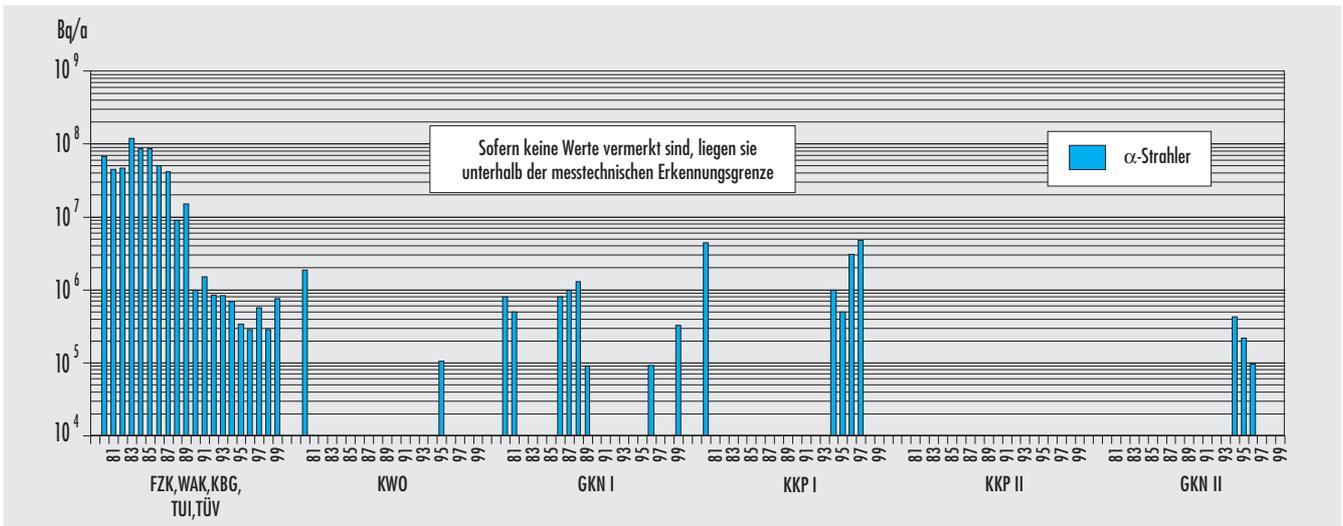


Abb. 10 Emissionen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser, α -Strahler (Quelle: LfU)

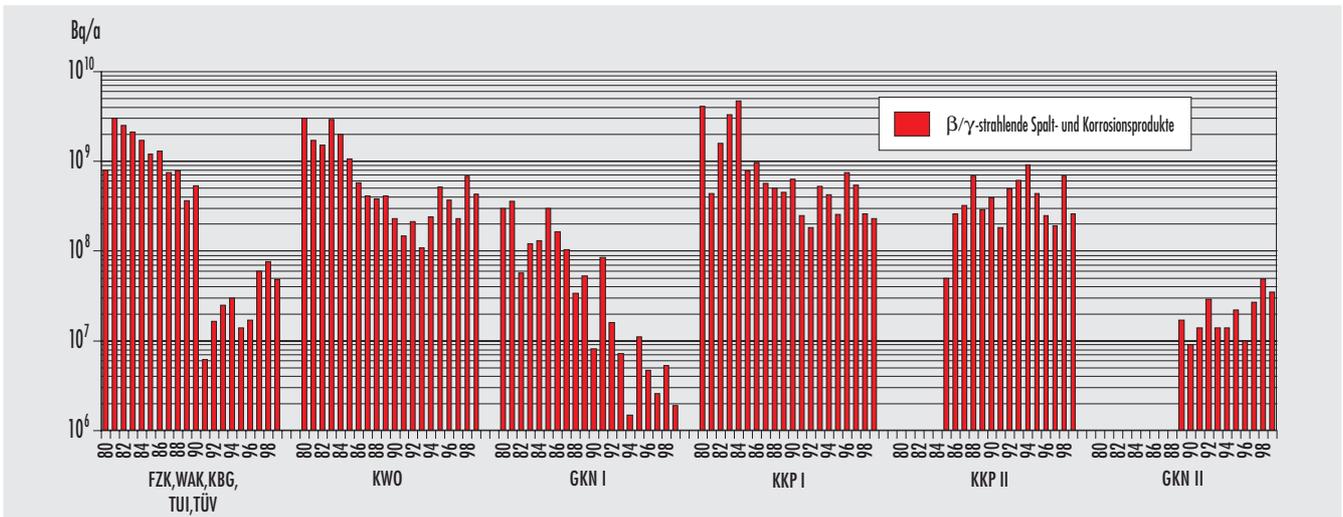


Abb. 11 Emissionen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser, β/γ -strahlende Spalt- und Korrosionsprodukte (Quelle: LfU)

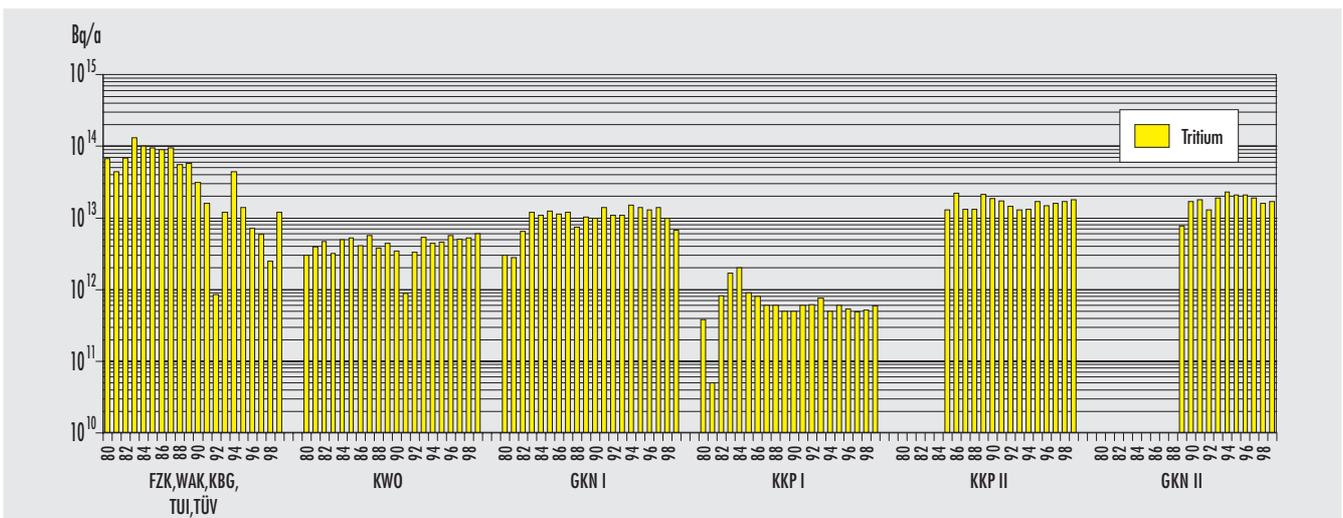


Abb. 12 Emissionen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser, Tritium (Quelle: LfU)

FZK = Forschungszentrum Karlsruhe
 WAK = Wiederaufarbeitungsanlage im FZK
 KBG = Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft im FZK
 TUI = Europäisches Institut für Transurane

TÜV = Technischer Überwachungsverein Südwest
 KWO = Kernkraftwerk Obrigheim
 KKP I = Kernkraftwerk Philippsburg I
 KKP II = Kernkraftwerk Philippsburg II

GKN I = Kernkraftwerk Neckarwestheim I
 GKN II = Kernkraftwerk Neckarwestheim II
 TRIGA = Training Research and Isotope Production, Reaktor Heidelberg

Die Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen untergliedert sich in die radiologische Umgebungsüberwachung und in das Kernreaktorfernüberwachungssystem (KFÜ) mit seinen 113 Immissionsmessstationen. Dieses System ermittelt rund um die Uhr vollautomatisch aktuelle Dosisleistungsmesswerte und leitet sie an die Landesanstalt für Umweltschutz weiter. Die radiologische Umgebungsüberwachung umfasst das Ausmessen einer Vielzahl von Einzelproben aus der Umgebung kerntechnischer Anlagen und das Training für eventuell erforderliche Störfallmessungen. Aus der näheren Umgebung einer kerntechnischen Anlage werden Luftproben auf Aerosole hin untersucht sowie Nahrungsmittel, Milch, Grundwasser, Niederschläge und Oberflächenwässer auf ihren Radioaktivitätsgehalt überwacht. Außerdem werden Böden, Bewuchs und Sedimente überprüft. Die hierbei gewonnenen Messwerte müssen zu den entsprechenden Messwerten der allgemeinen Überwachung der Umweltradioaktivität in Beziehung gesetzt werden, um unzulässige Einwirkungen einer kerntechnischen Anlage auf die Umgebung feststellen zu können.

Allgemeine Überwachung

Integriertes Mess- und Informationssystem (IMIS)

Um die radioaktiven Auswirkungen von Kernwaffentests feststellen zu können, war in der Bundesrepublik Deutschland schon vor mehr als 30 Jahren ein Überwachungssystem für Radioaktivität aufgebaut worden. Dieses Messsystem erwies sich allerdings anlässlich des Unfalls in Tschernobyl mit seinen großräumigen und vielfältigen Auswirkungen als nicht ausreichend. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit schuf deshalb auf der Basis des 1986 erlassenen Strahlenschutzvorsorgegesetzes in Zusammenarbeit mit den Ländern das sogenannte Integrierte

Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS). Danach werden die Messaufgaben wie folgt aufgeteilt:

Dem Bund obliegt die großräumige Ermittlung

- der Gammaortsdosisleistung (ODL),
- der Radioaktivität in Luft und Niederschlägen,
- der Radioaktivität in Bundeswasserstraßen und in Nord- und Ostsee.

Die Länder ermitteln die Radioaktivität insbesondere

- in Lebensmitteln, Tabakerzeugnissen und Bedarfsgegenständen sowie Arzneimitteln und deren Ausgangsstoffen,
- in Futtermitteln,
- im Trinkwasser, Grundwasser und in oberirdischen Gewässern außer Bundeswasserstraßen,
- in Abwässern, im Klärschlamm, in Reststoffen und Abfällen,
- im Boden und in Pflanzen (beispielsweise Gras, Laub),
- in Düngemitteln.

Auf der Grundlage dieser Aufgabenzuweisung stellte Baden-Württemberg ein umfangreiches Messprogramm auf. Dieses gewährleistet entsprechende Untersuchungen über das ganze Land und Jahr verteilt. Eine große Zahl von weiteren Messungen führt das Land in Eigeninitiative durch, um eine bestmögliche Übersicht über die Radioaktivitätsgehalte aller Umweltmedien zu erhalten.

Radioaktivitätsmessnetze

Der Bund misst mit dem ODL-Messnetz des Bundesamtes für Strahlenschutz deutschlandweit an ca. 2.000 Orten recht engmaschig die Gammaortsdosisleistung (Gamma-ODL). Etwa 200 dieser Orte liegen in Baden-Württemberg.

Die luftgetragene Radioaktivität erfasst der Bund großräumiger. Er ermittelt im Rahmen des IMIS mit dem Messnetz des Deutschen Wetterdienstes an 39 Stellen die Aktivitätskonzentration der Luft

nuklidspezifisch. Vier dieser Stationen stehen in Baden-Württemberg (in Stuttgart, Ulm, Freiburg und Konstanz).

Ferner erfasst der Bund zusätzlich mit dem Messnetz des Umweltbundesamtes an 11 Stellen, davon mit einer Messstation in Baden-Württemberg (in Mannheim), die Gesamtbeta- und Iod-131-Konzentration in der Luft.

Da die Bedürfnisse des Landes von den Messnetzen des Bundes nicht ausreichend befriedigt werden konnten, hat Baden-Württemberg nach dem Unfall von Tschernobyl zur Überwachung der Radioaktivität und als Frühwarnsystem ein eigenes flächendeckendes Radioaktivitätsmessnetz aufgebaut. Es gliedert sich in Komponenten für Radioaerosol- und für Strahlenpegelmessungen. Diese Komponenten sind technisch und räumlich voneinander unabhängig und haben getrennte Messaufgaben.

Das Radioaerosolmessnetz überwacht mit fünf vorzugsweise über die Randzonen des Landes verteilten Messstationen ständig die Luft auf Radioiod und radioaktive Aerosole. Hierfür steht auch eine mobile Messstation zur Verfügung. Hierzu wird in den Messstationen kontinuierlich Außenluft über Filter gesaugt. Auf den Glasfaser-Feinfiltern schlagen sich die in der Luft enthaltenen Partikel nieder. In nachgeschalteten Kohlefiltern wird zudem elementares Iod adsorbiert. Die so festgehaltenen Stoffe werden automatisch auf die Art und die Menge der darin enthaltenen Radionuklide gamma-spektrometrisch untersucht.

Das Strahlenpegelmessnetz misst an über 30 Stellen im Land kontinuierlich die Ortsdosisleistung und den Beta-/Gamma-Strahlenpegel (Impulsrate) mit Hilfe von Zählrohren. Des Weiteren werden in den Messstationen Luftfilter bestaubt und Regenwasser gesammelt. Anschließend erfolgt die Auswertung im Labor der Landesanstalt für Umweltschutz.

Abb. 13 gibt einen Überblick über die landesweite Verteilung der Stationen des Radioaerosol- und Strahlenpegelmessnet-

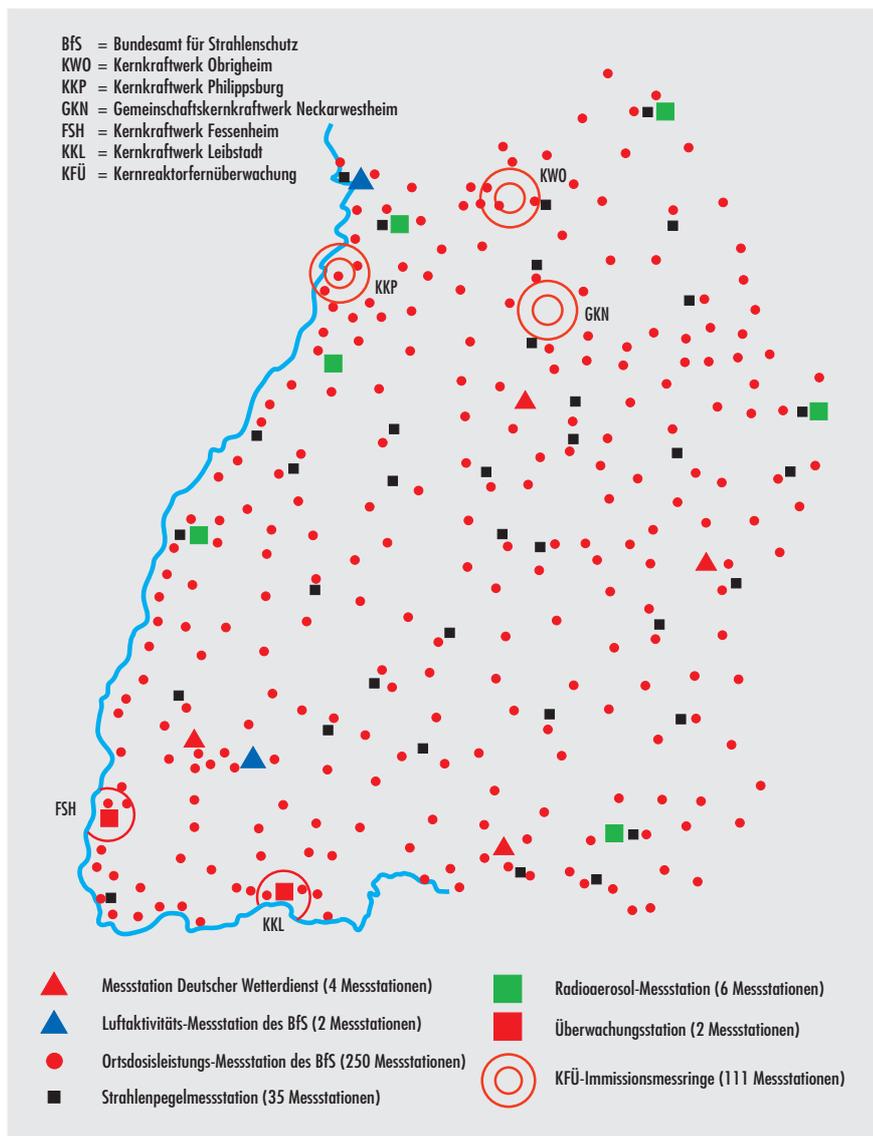


Abb. 13 Radioaktivitätsmessnetze in Baden-Württemberg (Quellen: BFS, LfU; Stand 8/2000)

zes, des Kernreaktorfernüberwachungssystems des Landes und der weiteren vorn beschriebenen Messsysteme.

Radioaktivität in Umweltmedien

Luft

Ein erwachsener Mensch atmet stündlich etwa 12 Liter Luft pro Kilogramm seines Körpergewichts ein. Mit dieser Luft gelangen nicht nur der lebensnotwendige Sauerstoff in die Lungen, sondern auch alle Schadstoffe, die der Luft beigemischt sind. Neben dem Zigarettenrauch wirkt eine Vielzahl von Gasen und Aerosolen (feste Schwebstoffe) aus Haushalt, Verkehr und Industrie auf die Lungen ein.

Unter den Gasen und Aerosolen in unserer Atemluft befinden sich stets auch solche, die radioaktiv sind. Vor allem sind es die natürlich vorkommenden radioaktiven Isotope des Edelgases *Radon*, nämlich Radon-222 (kurz: Radon) und Radon-220 (Thoron), und insbesondere ihre radioaktiven Folgeprodukte, die zu einer Strahlenbelastung der Lungen führen. Radon ist wie alle Edelgase chemisch inaktiv. Es verbreitet sich durch Diffusion in Bodenkapillaren, Gesteinspalten und Hohlräumen. Auf diesen Wegen gelangt ein Teil des Gases an die Oberfläche und vermischt sich mit der freien Luft. Hier kann es über weite Entfernungen transportiert werden.

Die bodennahe Luft enthält aufgrund der geologischen Verhältnisse im Land deutliche Radonkonzentrationen. In Baden-Württemberg liegen die mittleren Radonkonzentrationen im Freien bei 23 Bq/m^3 und erreichen an einigen wenigen Orten mit höheren Radiumkonzentrationen des Bodens bis zu 40 Bq/m^3 . Innerhalb von Gebäuden herrschen vor allem in Kellern höhere Konzentrationen. Erhöhte Radonkonzentrationen können sich aber auch in anderen Innenbereichen ergeben, wenn einzelne Bau- und Zuschlagstoffe mit teilweise hohen Radiumgehalten verwendet werden. Die Untersuchung der Luft im Inneren von über 900 Häusern ergab einen Mittelwert von rund 40 Bq/m^3 Radon-222; dieser ist damit etwa doppelt so hoch wie im Freien. Die daraus resultierende mittlere effektive Äquivalentdosis beträgt ca. 1,4 Millisievert im Jahr.

In Baden-Württemberg traten künstliche Radionuklide an den Messstellen des Deutschen Wetterdienstes kaum mehr auf (Erkennungsgrenze von etwa $5 \mu\text{Bq/m}^3$ für Cäsium-137), auch an den Radioaerosolmessstationen des Landes wurde Cäsium-137 nur in wenigen Einzelfällen in der Luft gefunden. Diese geringen Luftaktivitäten resultieren weitgehend aus einem erneuten Eintrag von bereits zu einem früheren Zeitpunkt auf dem Boden abgelagertem Cäsium in die Atmosphäre durch Staubaufwirbelungen insbesondere in Trockenzeiten. Die Konzentrationen liegen heute um den Faktor 100.000 niedriger als in den ersten Tagen nach dem Unfall von Tschernobyl.

In der Luft kommen an künstlichen Radionukliden außerdem noch die Edelgase Krypton-85 und Xenon-133 vor, die aus der technischen Nutzung der Kernenergie resultieren. Vor allem bei der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente werden diese Spaltprodukte aus dem Brennstoff freigesetzt. Das langlebige Krypton-85 (Halbwertszeit 10,8 Jahre) kann sich dabei global verteilen und in der Atmosphäre anreichern, das kurzlebige Xenon-133 (Halbwertszeit 5,3 Tage) bleibt dagegen regional begrenzt. Die

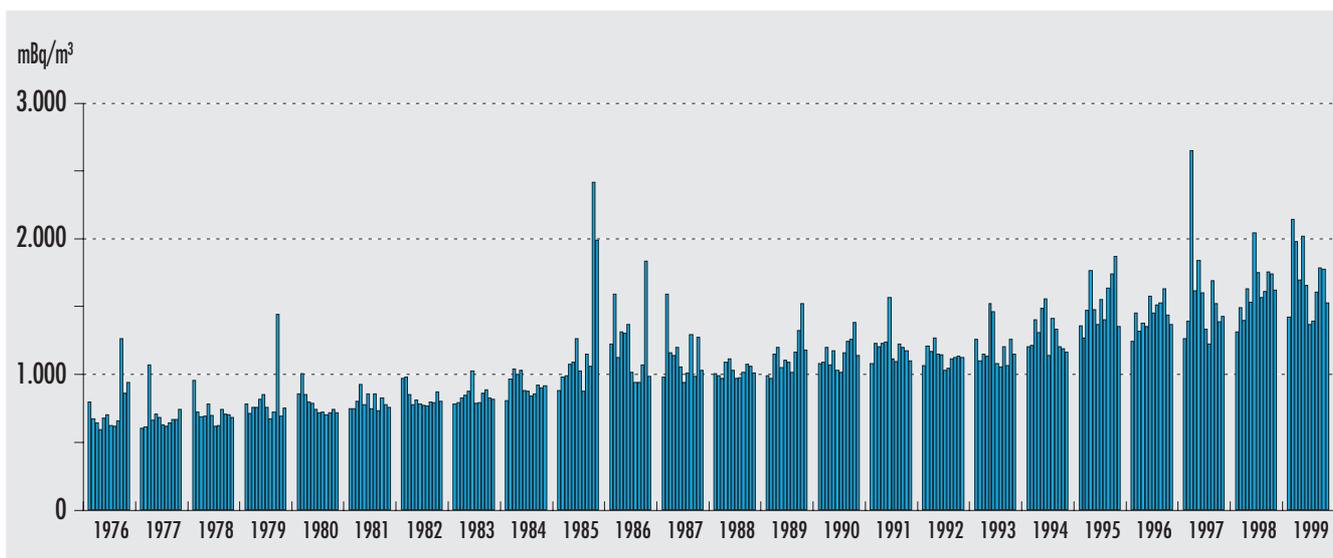


Abb. 14 Krypton-85 in der Luft bei Freiburg, Monatsmittelwerte der Aktivitätskonzentration (Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz)

gemessenen Aktivitätskonzentrationen von Xenon-133 von etwa 10 mBq/m³ haben sich seit 1980 nicht verändert. Das langfristig gemessene Jahresmittel der Krypton-85-Aktivität erhöhte sich dagegen in den vergangenen 30 Jahren in unseren Breitengraden von 0,6 auf 1,5 Bq/m³ (Abb. 14). Dies entspricht dem globalen Trend und zeigt, dass die Freisetzungsrates für Krypton-85 größer ist als seine radioaktive Zerfallsrate. Die Stagnation Anfang der 90er Jahre ist möglicherweise auf einen Rückgang der militärischen Wiederaufarbeitung zurückzuführen. Der erneute Anstieg der Krypton-85-Aktivität, der auch an anderen europäischen Messstationen registriert wurde, kann zumindest teilweise durch die erhöhten Emissionen aus der Wiederaufarbeitungsanlage in La Hague erklärt werden. Die kurzzeitigen Schwankungen, die ein Vielfaches des durchschnittlichen jährlichen Anstiegs ausmachen können, rühren von europäischen Quellen (insbesondere von den Wiederaufarbeitungsanlagen in La Hague, Frankreich, und Sellafield, Großbritannien, sowie früher auch in Karlsruhe) her.

Radiologisch stellen weder Krypton-85 noch Xenon-133 in den beobachteten Aktivitätskonzentrationen ein Problem dar.

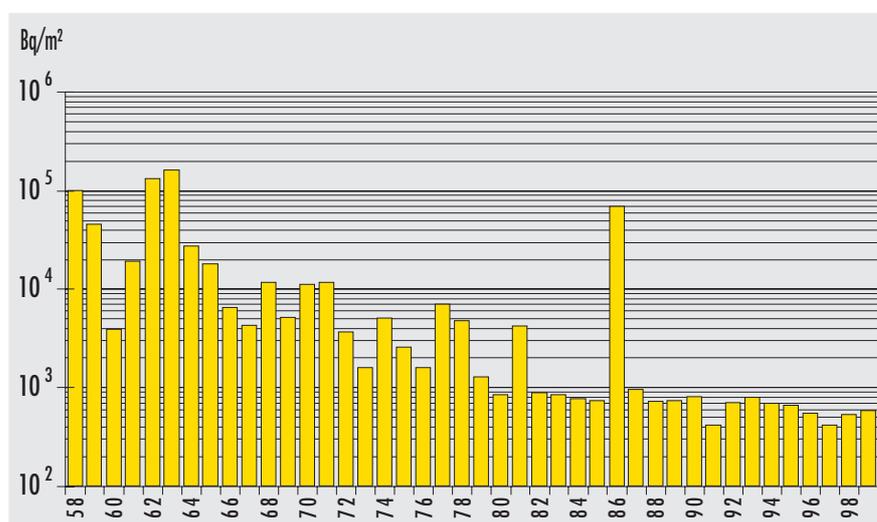


Abb. 15 Mit Niederschlägen abgelagerte Gesamt-Beta-Aktivität; Jahreseinträge in Stuttgart (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

Niederschlag

Die Entwicklung des Eintrags von Radionukliden in den Boden zeigt Abb. 15. Hier ist für Stuttgart die dem Boden zugeführte langlebige Aktivität durch alle Beta-Strahler (ausgenommen Tritium) in Becquerel pro Quadratmeter dargestellt. Damit werden fast alle künstlichen Radionuklide außer den Alpha-Strahlern wie z.B. Plutonium erfasst. Die höchsten Werte waren Anfang der 60er Jahre mit 16.000 Bq/m² Folge der oberirdischen Kernwaffenexplosionen. Das Ereignis von Tschernobyl brachte kurzzeitig ebenfalls hohe Werte hervor. Mittlerweile ist der Wert im Jahr 1997 mit 42 Bq/m² auf den niedrigsten Stand seit Beginn der Messungen im Jahr 1958 abgesunken.

Lediglich im Jahr 1991, mit ungewöhnlich geringen Niederschlägen in einem sehr trockenen Sommer, war der Wert noch kleiner.

Wasser

Wasser sichert die Lebensgrundlagen von Menschen, Tieren und Pflanzen. Es löst Salze, transportiert Nährstoffe und stabilisiert das Erdklima. Damit ist das Wasser eines der wichtigsten Umweltmedien. Deshalb gilt ihm auch ein besonderes Augenmerk hinsichtlich seines Gehaltes an radioaktiven Stoffen.

Eine wichtige Rolle spielt hierbei das in allen Wasserproben enthaltene *Tritium*. Sein Gehalt in oberflächennahen Wäs-

Allgemeine Überwachung

sern, die nicht durch aktuelle anthropogene Tätigkeit beeinflusst sind, liegt bei etwa 2 bis 5 Bq/l. Ohne menschliches Zutun läge dieser Wert bei deutlich unter 1 Bq/l.

Die beobachteten erhöhten Tritiumwerte in der Umwelt sind nach wie vor überwiegend eine Folge der oberirdischen Kernwaffenversuche der frühen 60er Jahre. Durch radioaktiven Zerfall (Halbwertszeit etwa 12 Jahre), zunehmende Auswaschung aus der Atmosphäre und Verdünnung mit dem vorhandenen Wasser ist die Tritiumbelastung in der Umwelt deutlich zurückgegangen.

Bei den oberirdischen Fließgewässern konnten mit wenigen Ausnahmen (Strontium-90 mit einer typischen Aktivität von ungefähr 0,005 Bq/l in Quartalsproben) im Wasser selbst keine gelösten künstlichen Radionuklide nachgewiesen werden. Allerdings transportieren Bäche und Flüsse auch mehr oder weniger feine Schwebstoffe, an denen radioaktive Stoffe angelagert werden können und die über Sedimentationsprozesse auf dem Gewässerboden als Sediment abgelagert werden.

In den untersuchten Trink- und Grundwässern konnten neben gelegentlichen

Spuren von Strontium-90 von maximal 0,007 Bq/l keine künstlichen gammastrahlenden radioaktiven Inhaltsstoffe nachgewiesen werden. Diese Konzentrationen liegen durchweg unterhalb des Gehalts an natürlichen Radionukliden. Das Trinkwasser in Deutschland weist Radium-226-Konzentrationen zwischen 0,002 und 0,1 Bq/l und Kalium-40-Konzentrationen um 0,2 Bq/l auf. Die entsprechenden Werte liegen beim Grundwasser sowohl für Radium-226 als auch Kalium-40 zwischen 0,004 und 0,4 Bq/l.

Boden

Der Boden gehört neben dem Wasser und der Luft zu den natürlichen Lebensgrundlagen. Er ist Bestandteil der ursprünglichen Landschaft und dient gleichzeitig der Landwirtschaft als Grundlage der Nahrungsmittelproduktion. Nahezu alle radioaktiven Stoffe, die heute bei den Untersuchungen von Pflanzen, Tieren und Menschen gefunden werden, waren zuvor in unseren Böden vorhanden. Überwiegend sind dies die bekannten natürlichen radioaktiven Stoffe.

Von den künstlichen Radionukliden, die heute noch nachgewiesen werden können, stammen der überwiegende Teil des Strontium-90 und ein Teil des Cäsium-137 aus dem Kernwaffen-Fallout. Insgesamt sind hierdurch seitdem im Mittel 5.000 Bq/m² Cäsium-137 und 3.000 Bq/m² Strontium-90 in die Böden Baden-Württembergs gelangt. Das übrige Cäsium-137 und das gesamte Cäsium-134 sind dagegen auf den Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahr 1986 zurückzuführen.

Nahrungsmittel

Die Gesamtnahrung der Menschen setzt sich aus den unterschiedlichsten Lebensmitteln zusammen. Diese werden im Rahmen der allgemeinen Überwachung der Radioaktivität auf ihre Gehalte an radioaktiven Stoffen untersucht. Hierfür wird eine Vielzahl an unterschiedlichen Nahrungsmitteln gemessen. In der Mehr-

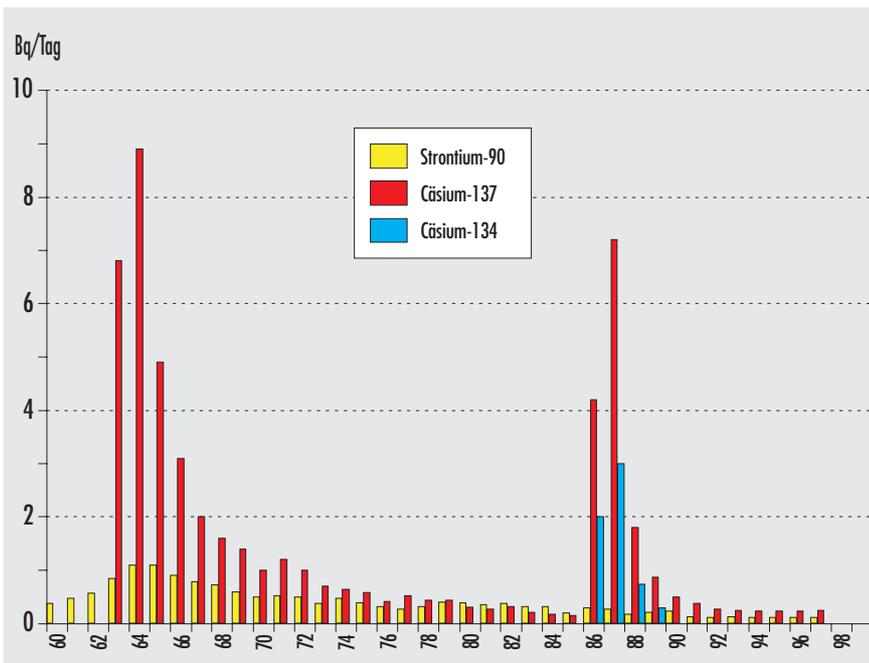


Abb. 16 Zufuhr künstlicher Radionuklide mit der Gesamtnahrung in der Bundesrepublik Deutschland (Jahresmittelwerte) (Quelle: Bundesforschungsanstalt für Ernährung)

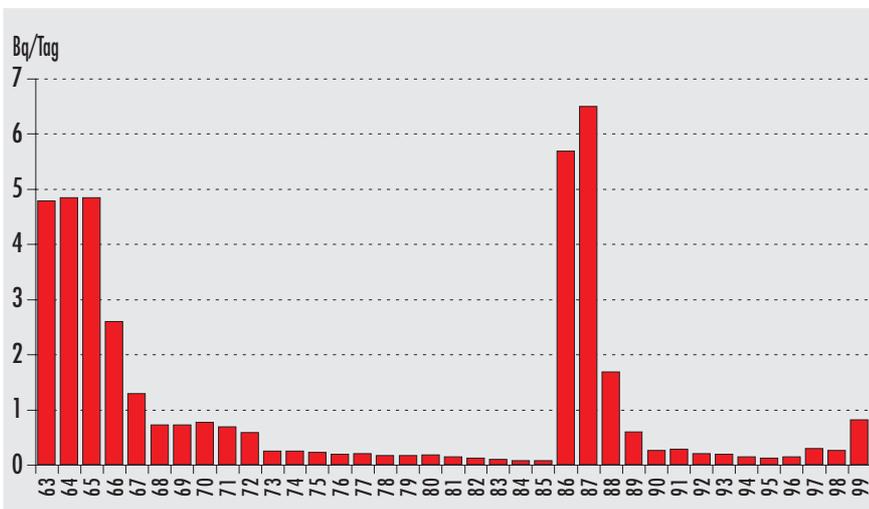


Abb. 17 Zufuhr von Cäsium-137 mit der Gesamtnahrung für Stuttgart (Quelle: CVUA Stuttgart)

Anhang

Erläuterungen von Begriffen

Aerosol

Feste oder flüssige Schwebeteilchen in Luft.

Aktivierung

Vorgang, durch den ein Material beim Beschuss mit Neutronen, Protonen oder anderen Teilchen durch Kernumwandlungen radioaktiv wird.

Aktivierungsprodukte

Radionuklide, die durch Aktivierung entstehen.

Aktivität

Quantitatives Maß für die Radioaktivität; auch: Zerfallsrate, Zahl der je Sekunde zerfallenden bzw. sich umwandelnden Atomkerne eines radioaktiven Stoffes. Einheit ist das Becquerel (Bq). Die alte Einheit war das Curie (Ci). Die Umrechnung ist $1 \text{ Ci} = 37 \times 10^9 \text{ Bq}$.

Alphastrahler

Radionuklide hoher Massenzahl, deren Atomkerne beim Zerfall Alphastrahlen (identisch mit dem Heliumatomkern mit Massenzahl 4) emittieren.

Äquivalentdosis

Im Strahlenschutz benutzte Größe für die biologisch bewertete Dosis; Produkt aus Energiedosis und Bewertungsfaktor; Einheit ist das Sievert (Sv).

Äquivalentdosis, effektive

Körpergemittelte und organengewichtete Äquivalentdosis, die die jeweilige Strahlenempfindlichkeit der einzelnen Organe berücksichtigt. Einheit ist das Sievert (Sv).

Becquerel

Einheit der (Radio-)Aktivität eines Radionuklids; 1 Becquerel bedeutet, dass im statistischen Mittel 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. Einheitenzeichen ist Bq.

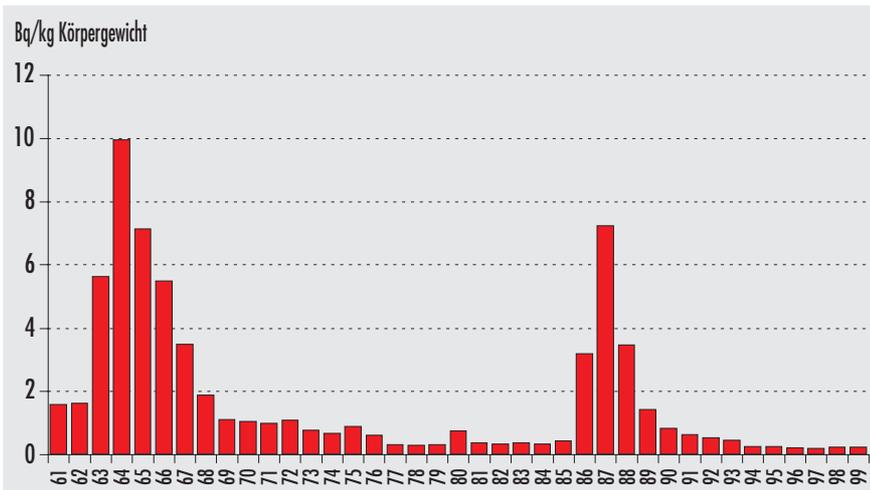


Abb. 18 Cäsium-137-Aktivität im menschlichen Körper für den Raum Karlsruhe (Quelle: FZK)

zahl der Proben ist kein Cäsium-137 mehr nachweisbar. So wurden 1996 und 1997 z.B. 239 Einzelproben von 30 Gemüsesorten untersucht, wobei lediglich in 6 % der Proben Cäsium gefunden wurde (bei Kopfsalat maximal 1,7 Bq/kg Frischmasse). Wegen der aufwendigeren Untersuchungsmethoden werden einige Proben auch auf Strontium-90 untersucht. Aufgrund der sehr niedrigen Nachweisgrenze dieser Methode sind in den Proben geringe Spuren von Strontium nachweisbar, die in der Regel deutlich unter 0,3 Bq/kg FM (Frischmasse) liegen. Insgesamt zeigt sich: Die Belastung mit künstlichen Radionukliden ist so gering, dass in der überwiegenden Zahl unserer landwirtschaftlichen Produkte die künstlichen Radionuklide mit den üblichen Routinemessungen nicht mehr nachweisbar sind.

Den Verlauf der Cäsium-137-Konzentration in der Gesamtnahrung seit den 60er Jahren zeigen Abb. 16 für die Bundesrepublik Deutschland und Abb. 17 beispielhaft für Stuttgart. Sehr deutlich sind dabei die Erhöhungen durch den Kernwaffen-Fallout in den 60er Jahren und durch den Unfall in Tschernobyl zu sehen. Es ist außerdem erkenntlich, daß durch Tschernobyl die Strontium-Kontamination nur sehr geringfügig erhöht wurde. Der Gehalt an Cäsium-137 in unserer Nahrung ist seit 1986 stark

zurückgegangen, hat aber noch nicht wieder das Niveau von 1985 erreicht.

Menschlicher Körper

Die in den Umweltmedien, der Atemluft, dem Trinkwasser und in der Nahrung befindlichen Radionuklide bewirken, dass auch der menschliche Körper eine gewisse Radioaktivität aufweist. Entsprechende, seit 1961 in Karlsruhe durchgeführte Messungen zeigen für Cäsium-137 wiederum den typischen, durch die beiden wesentlichen radiologisch bedeutsamen Ereignisse (oberirdische Kernwaffentests und Reaktorunfall in Tschernobyl) bedingten Verlauf (Abb. 18). Ein Vergleich der beiden Maxima zeigt, dass die durch das Kernwaffen-Cäsium-137 verursachte Körperaktivität im Karlsruher Raum etwa 1,5 mal so groß war wie die durch das Tschernobyl-Cäsium-137 verursachte. Auch hier ist darauf hinzuweisen, dass die durch Kalium-40 bedingte Aktivität des menschlichen Körpers durchgehend sehr viel höher, nämlich bei etwa 50 bis 70 Bq/kg Körpergewicht, liegt.

Anhang

Betastrahler

Radionuklide, deren Atomkerne bei Umwandlung eines Kernbausteins negativ oder positiv geladene Elektronen emittieren.

Bewertungsfaktor

Faktor für die Beurteilung der biologischen Wirkung einer bestimmten Energiedosis von Strahlung. Er setzt sich zusammen aus dem Qualitätsfaktor für die Strahlenart und einem Faktor, der die räumliche und zeitliche Verteilung der Strahlung berücksichtigt.

Brutprozess

Vorgang zur Umwandlung von nichtspaltbarem Material in spaltbares Material.

Deposition

Ablagerung, Einlagerung; im weiteren Sinne Eintrag in eine oberflächennahe Schicht.

Dosis

Maß für die Wirkung absorbiertes ionisierender Strahlung.

Dosisleistung

Quotient aus der Dosis und dem zugrundegelegten Zeitraum (in der Regel: je Stunde).

Effektivdosis

Kurzbezeichnung für effektive Äquivalentdosis.

Elektronvolt

In der Atom- und Kernphysik gebräuchliche Energieeinheit. Sie ist die von einem Elektron beim Durchlaufen einer Spannungsdifferenz von 1 Volt gewonnene kinetische Energie und entspricht $0,16 \times 10^{-18}$ Joule. Einheitenzeichen ist eV. Abgeleitete größere Einheiten sind das Kiloelektronvolt (10^3 eV = 1 keV) und das Megaelektronvolt (10^6 eV = 1 MeV).

Emission

Abgabe, Ausstoß, Freisetzung von Stoffen in die Atmosphäre oder ein Gewässer; hier auch Aussendung von ionisierenden Strahlen.

Physikalische Größe	Einheiten		Gebräuchliche Untereinheiten und Bezug zu alten Einheiten
	Bezeichnung	Kurzzeichen	
Aktivität	Becquerel	Bq	$1 \text{ Bq} = \frac{1}{37 \times 10^9} \text{ Ci (Curie)}$
Energiedosis	Gray	Gy	$1 \mu\text{Gy} = 100 \mu\text{rad}$ $1 \text{ mGy} = 100 \text{ mrad}$
Energiedosisleistung	Gray pro Stunde Gray je Jahr	Gy/h Gy/a	$1 \mu\text{Gy/h} = 100 \mu\text{rad/h}$ $1 \text{ mGy/a} = 100 \text{ mrad/a}$
Äquivalentdosis	Sievert	Sv	$1 \mu\text{Sv} = 100 \mu\text{rem}$ $1 \text{ mSv} = 100 \text{ mrem}$
Äquivalentdosisleistung	Sievert pro Stunde Sievert je Jahr	Sv/h Sv/a	$1 \mu\text{Sv/h} = 100 \mu\text{rem/h}$ $1 \text{ mSv/a} = 100 \text{ mrem/a}$

Tab. 3 Radiologische Größen und Maßeinheiten

	Multiplikationsfaktor		Vorsatz	Vorsatzzeichen
10^{-18}	0,000 000 000 000 000 001	Trillionstel	Atto	a
10^{-15}	0,000 000 000 000 001	Billiardstel	Femto	f
10^{-12}	0,000 000 000 001	Billionstel	Pico	p
10^{-9}	0,000 000 001	Milliardstel	Nano	n
10^{-6}	0,000 001	Millionstel	Mikro	μ
10^{-3}	0,001	Tausendstel	Milli	m
10^3	1 000	Tausendfach	Kilo	k
10^6	1 000 000	Millionenfach	Mega	M
10^9	1 000 000 000	Milliardenfach	Giga	G
10^{12}	1 000 000 000 000	Billionenfach	Tera	T
10^{15}	1 000 000 000 000 000	Billiardenfach	Peta	P
10^{18}	1 000 000 000 000 000 000	Trillionenfach	Exa	E

Da die Werte der Messgrößen sich über viele Größenordnungen erstrecken können, werden anstelle der Faktoren für Teile oder Vielfache eindeutige Vorsatzzeichen an den Einheiten(-zeichen) angebracht

Tab. 4 Vorsatzzeichen für Einheiten

Energiedosis

Durch ionisierende Strahlung auf eine Masseneinheit der bestrahlten Materie übertragene Energie. Der Einheitenname ist das Gray (Gy).

Erkennungsgrenze

Wert, oberhalb dessen ein Messeffekt mit hoher Wahrscheinlichkeit einem realen Betrag der untersuchten Größe entspricht.

Fallout

Ablagerung von kleinsten radioaktiven Teilchen aus der Atmosphäre, die z. B. aus Kernwaffenversuchen entstanden sind.

FM

Abkürzung für Feuchtmasse; Frischmasse bei Lebensmitteln.

Gammastrahlung

Hochenergetische elektromagnetische Strahlung von deutlich quantenhafter Natur, die bei einer radioaktiven Kernumwandlung auftreten kann und aus dem Atomkern stammt.

Gammastrahlung

Gesamtheit aller emittierten und als Linien nachgewiesenen Gammaenergien. Eine mit aufwendigen Mess- und Aus-

wertemethoden gewonnene Analyse der Energieverteilung eines Gammastrahlungsfelds. Aus den Lagen und Höhen der Gammalinien (als „Fingerabdrücken“) kann man, unter Berücksichtigung mehrerer Randbedingungen, auf die Arten und Mengen der vorliegenden gammaemittierenden Radionuklide schließen.

Gray

Einheitenname der Energiedosis. Einheitenzeichen ist Gy. 1 Gray entspricht 1 Joule/Kilogramm. Die alte Einheit war 1 rad = 0,01 Gy.

Halbwertszeit

Zeitspanne, nach der die Hälfte der Atome einer ursprünglichen Menge eines radioaktiven Stoffes zerfallen ist bzw. sich umgewandelt hat.

Immission

lokale Einwirkung von Luftfremdstoffen, z. B. Radionukliden u.a., auf Mensch, Tier und Vegetation; auch Einfall von ionisierenden Strahlen.

Ingestion

Nahrungsaufnahme, hier: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung.

Inhalation

Einatmung von Gasen, hier: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft.

Inkorporation

Aufnahme in den Körper, hier: Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den menschlichen Körper.

Ionisation

Abspaltung oder Aufnahme von Elektronen bei Atomen oder Molekülen, die dadurch in Ionen umgewandelt werden.

Ionisierende Strahlung

Strahlung, die direkt oder indirekt ionisiert, z.B. Alpha-, Beta-, Gamma, Neutronenstrahlung.

Isotope

Atomarten eines Elementes mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedenen Massenzahlen (Anzahl der Neutronen und Protonen).

Kontamination

Hier: Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen.

Korrosionsprodukte

Hier: durch Aktivierung radioaktiv gewordene Inhaltsstoffe in Kreisläufen von kerntechnischen Anlagen.

Nachweisgrenze

Gibt an, ob ein Messverfahren bestimmten Anforderungen genügt und für den vorgesehenen Messzweck geeignet ist.

Nuklid

Durch Protonenzahl und Neutronenzahl charakterisierte Atomart.

Nulleffekt

Auch Nullrate; Anzahl der Impulse je Zeiteinheit, die in einem Strahlungsdetektor durch andere Ursachen als die zu messende Strahlung ausgelöst werden. Zur Erzielung niedriger Nachweisgrenzen ist der Nulleffekt als statistisches Rauschen so gering wie möglich zu halten.

Ortsdosis

An einem bestimmten Ort gemessene Äquivalentdosis für Weichteilgewebe.

Parameter

Veränderbare Einflussgröße.

Radioaktive Stoffe

Stoffe, die aus Radionukliden bestehen oder solche enthalten (Kernbrennstoffe und sonstige Stoffe, die ionisierende Strahlen aussenden).

Radioaktivität

Eigenschaft instabiler Nuklide, sich ohne erkennbare äußere Einwirkung spontan umzuwandeln und dabei ionisierende Strahlen auszusenden.

Radionuklide

Instabile Nuklide, die sich unter Emission von Strahlung in andere Nuklide umwandeln (zerfallen).

Radionuklide, künstliche

Nichtnatürliche, durch menschliche Tätigkeit geschaffene Radionuklide.

Radionuklide, natürliche

Nicht durch menschliche Tätigkeit geschaffene, in der Natur vorhandene Radionuklide.

Röntgenstrahlung

Wie Gammastrahlung elektromagnetischer Natur; stammt aber aus der Atomhülle oder kommt durch Abbremsung von beschleunigten Elektronen zustande.

Sievert

Einheitenname der Äquivalent- bzw. Effektivdosis; Einheitenzeichen ist Sv. Die alte Einheit war 1 rem = 0,01 Sv.

Spaltprodukte

Radionuklide, die bei der Spaltung oder beim nachfolgenden radioaktiven Zerfall der durch Spaltung unmittelbar entstandenen Nuklide von Atomkernen entstehen.

Strahlenexposition

Einwirkung ionisierender Strahlen.

Strahlenexposition, natürliche

die durch natürlich vorkommende Radionuklide und Strahlenfelder verursachte Einwirkung auf den Menschen.

TM

Abkürzung für Trockenmasse.

Quellen- und Literaturhinweise

Jahresbericht der Umgebungsüberwachung: Alle Messergebnisse aus der Überwachung der baden-württembergischen Umgebung kerntechnischer Anlagen auf Radioaktivität werden regelmäßig in Jahresberichten veröffentlicht. Sie sind somit allgemein zugänglich.

Radioaktivität in Baden-Württemberg. Jahresbericht 1996-1997.

Hrsg. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 1998

Umweltpolitik. Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 1998. Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Deutscher Bundestag, 14. Wahlperiode. Drucksache 14/2358 vom 29.11.1999

Informationsmöglichkeiten

Im Videotext des Fernsehprogramms des Südwestrundfunks werden auf Tafel 196 aktuelle mit der Kernreaktorfernüberwachung ermittelte Messwerte der Ortsdosisleistung bekanntgegeben. Tafel 198 enthält ergänzende Informationen zur Radioaktivitätsüberwachung.

Jahresbericht, Strahlenpegelmesswerte der KFÜ und des -messnetzes sowie weitere Hinweise zum Strahlenschutz finden sich unter:

<http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de>

Bundesamt für Strahlenschutz:

<http://www.bfs.de>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:

<http://www.bmu.de>

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg:

<http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de>

Lärm als Belastung

Von menschlicher Tätigkeit verursachter Lärm führt, anders als viele andere Einwirkungen, primär nicht zu Belastungen der natürlichen Umwelt, die dann auf den Menschen zurückwirken, sondern beeinträchtigt die Lebensqualität des Menschen unmittelbar. Lärm wird subjektiv als störend, vielerorts sogar als erheblich belästigend empfunden. Lärm kann aber auch objektiv erfasst und hinsichtlich seiner negativen Auswirkungen bewertet werden.

Eine repräsentative Befragung von 3.000 erwachsenen Personen hat im Sommer 1999 ergeben, dass die Bevölkerung in Baden-Württemberg Lärm als wichtigstes Umweltproblem betrachtet. 57 % aller Befragten fühlen sich in ihrem Wohnbereich durch Lärm gestört oder belästigt, 6,6 % der Befragten bezeichnen das Ausmaß der Belästigung als stark oder äußerst stark. Nach Lärmarten und Belästigungsgrad unterschieden ergab sich ein differenziertes Bild (Abb. 1).

Als lästigste Schallquelle wird der *Straßenverkehr* genannt. Dabei liefern im Vergleich die Personenkraftwagen den größten Lärmbeitrag. Etliche Wohngebiete sind jedoch auch maßgeblich vom *Schwerlastverkehr* betroffen. In der Folge der lästigsten Lärmarten steht der *Flugverkehr* (je nach Region zivile Düsen- oder Militärflugzeuge) auf dem zweiten Rang. An dritter Stelle der Verursacher folgt der *Lärm von Nachbarn*, vor dem *Gewerbe- und Industrielärm* (hierbei steht das verarbeitende Gewerbe im Vordergrund). Nahezu gleich auffällig ist der *Schieneverkehr*, hier insbesondere der Güterverkehr. Bei den *Sport- und Freizeitanlagen* schließlich werden Sportanlagen häufiger genannt als Freizeitanlagen.

Diese Daten können mit den seit Jahren vom Umweltbundesamt erhobenen Belästigungswerten aus befragungsmethodischen Gründen nur bedingt verglichen werden. Jedoch steht fest, dass Straßen-, Flug- und Schienenverkehrs-

LÄRM

Lärm als Belastung	J – 1
Straßenverkehrslärm	J – 2
Fluglärm	J – 6
Schieneverkehrslärm	J – 10
Industrie- und Gewerbelärm	J – 11
Lärm in den Bereichen Wohnen und Schlafen	J – 11
Lärminderungsplanung	J – 12
Anhang	J – 14

lärm im deutschen Durchschnitt deutlich stärker als belästigend empfunden wird als in Baden-Württemberg.

Die ausgeprägtesten Störungen durch Lärm treten im *Außenbereich* auf, also z. B. auf dem Balkon, der Terrasse und im Garten der Befragten. An zweiter Stelle stehen Störungen der Ruhe und Kommunikation im *Innenbereich*, gefolgt von *Schlafstörungen*. Personen mit starker Lärmbelastung sind meistens mit ihrer Wohnsituation unzufrieden. Umgekehrt fühlen sich die mit ihrer Wohnsituation Zufriedenen meist nicht so stark durch Lärm gestört.

Ergebnis der Befragung war unter anderem, dass das Ausmaß der subjektiv empfundenen Lärmbelastung mit dem Vertrauen in die für den Lärm Verantwortlichen zusammenhängt. Bei gleicher Geräuscheinwirkung gilt: Je ausgeprägter

das Vertrauen in das Bemühen der Verantwortlichen, die Lärmsituation zu verbessern, um so weniger lästig wirkt der Lärm. Daraus folgt: Vertrauensbildende Maßnahmen tragen das Potential in sich, unabhängig von der objektiv erreichten Verbesserung einer Lärmsituation zur Verringerung der subjektiv empfundenen Lärmbelastung beizutragen.

Lärm ist nicht lediglich eine Quelle von Belästigungen und Ärger. Er ist zudem die Ursache für negative *gesundheitsliche Wirkungen* (Abb. 2). Zu nennen sind Störungen des allgemeinen seelischen und körperlichen Wohlbefindens, Beeinträchtigungen der Konzentration und des Lernens sowie Schlafstörungen. Darüber hinaus löst Lärm eine Vielzahl psychologischer, psychosomatischer und herzkreislaufbedingter Erkrankungen aus oder beeinflusst sie negativ. Bei jahrelan-

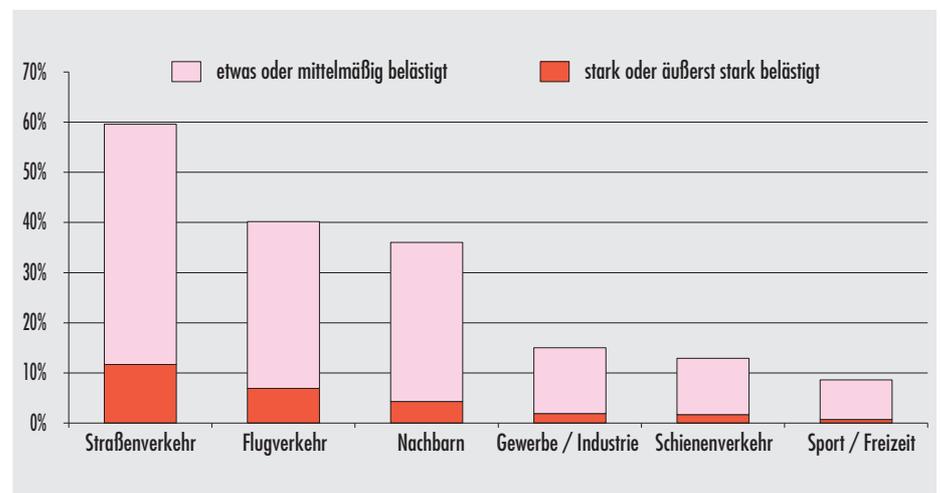


Abb. 1 Subjektive Belästigung der Bevölkerung von Baden-Württemberg durch verschiedene Lärmarten (Quelle: LfU, Stand 1999)

Lärm als Belastung, Straßenverkehrslärm

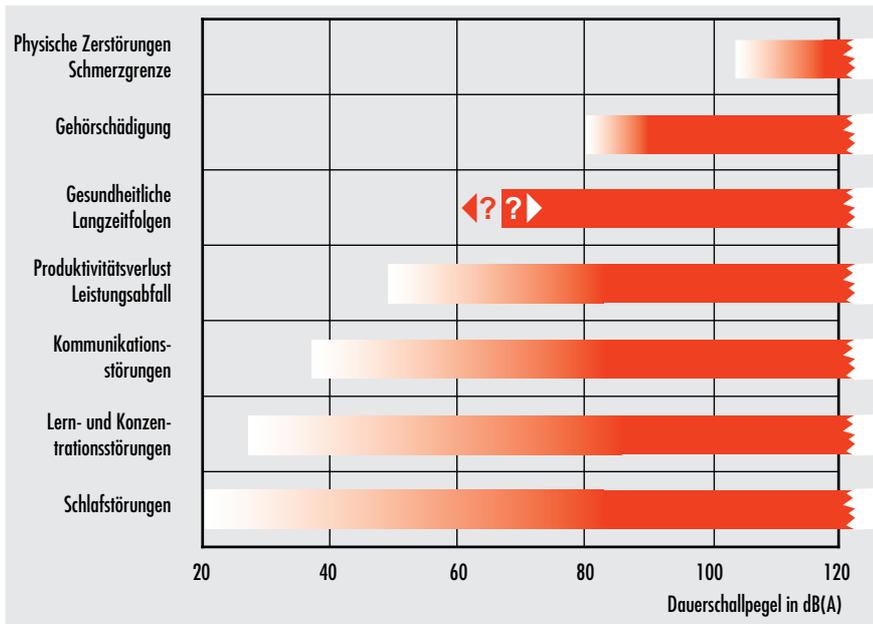


Abb. 2 Wichtige Lärmwirkungen (vereinfacht). Werte u.a. nach VDI 2719 und UVV Lärm

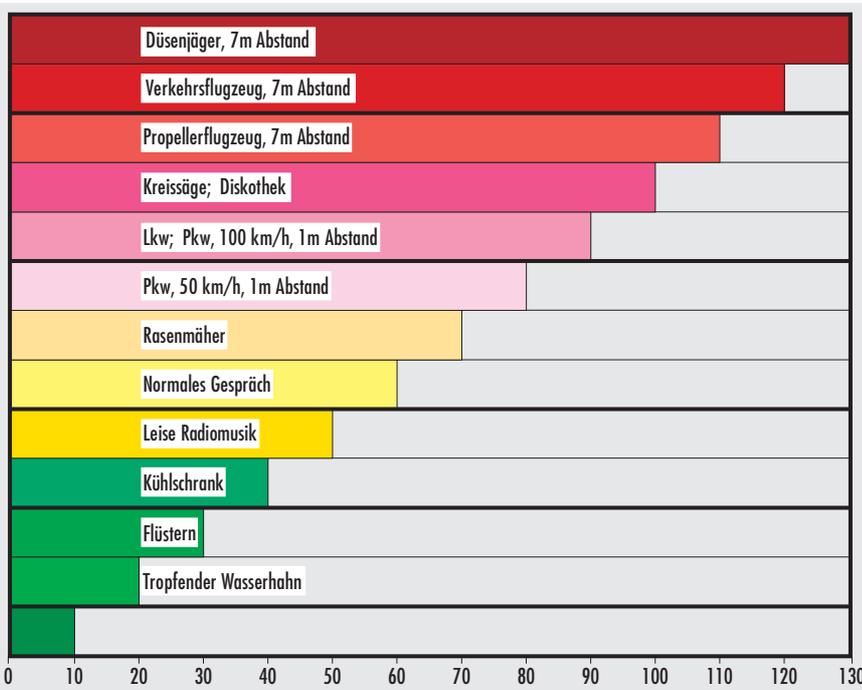


Abb 3 Schallpegel von typischen Geräuschen in dB(A)

ger Lärmbelastung können dauerhafte Schäden am menschlichen Organismus auftreten; so steigt z.B. das Herzinfarktrisiko bei einer Dauerbelastung von mehr als 65 dB(A) nachweislich an. Etwa 15,6 % der Bevölkerung der alten Bundesländer sind 1997 tagsüber Lärmpegeln von mehr als 65 dB(A) ausgesetzt.

Für die objektive Erfassung von Lärmbelastungen ist als grundlegende Messgröße der *Schallpegel in Dezibel - dB(A)* - eingeführt, der dem menschlichen

Hörempfinden angepasst ist. Er gibt die Hörempfindung in vielen Fällen in ausreichender Näherung wieder und gestattet objektive Vergleiche unterschiedlicher Lärmbelastungen. Eine Änderung des Schallpegels um 1 dB(A) entspricht - bei unmittelbarer Aufeinanderfolge - dem vom Menschen gerade noch wahrnehmbaren Schallpegelunterschied zweier Geräusche. Zwei gleich laute Schallquellen verursachen 3 dB(A) mehr Lärm als eine von beiden allein; diese

Schallpegeldifferenz ist deutlich wahrnehmbar. Bei einem breitbandigen Geräusch empfindet man die Zu- bzw. Abnahme um 10 dB(A) als eine Verdoppelung bzw. Halbierung des (subjektiven) Lautstärkeindrucks. Beispiele für die Höhe von Schallpegeln typischer Geräusche gibt Abb. 3.

Neben dem Schallpegel eines Geräusches wirkt sich auch die Dauer der Einwirkung aus. Um Geräusche mit schwankenden Schallpegeln und unterschiedlicher Dauer miteinander vergleichen zu können, hat man den Mittelungspegel als zeitliches Mittel über die Pegelschwankungen eingeführt. Für den Mittelungspegel gilt, dass eine Schallpegelerhöhung um 3 dB(A) einer Verdoppelung der Einwirkungsdauer gleichwertig ist. Außer mit dem Mittelungspegel wird auch mit dem Beurteilungspegel gearbeitet. Dieser ist der Mittelungspegel für festliegende Beurteilungszeiträume, meist 16 Stunden am Tag (6 bis 22 Uhr) oder 8 Stunden in der Nacht (22 bis 6 Uhr), z. T. auch die lauteste volle Stunde der Nacht. Der Beurteilungspegel wird zum Vergleich einer Belastung mit Immissionsrichtwerten für Lärm herangezogen.

Straßenverkehrslärm

Belastung

Etwa 60 % der Bevölkerung von Baden-Württemberg fühlen sich durch Straßenverkehrslärm belästigt, rund 12 % stark oder äußerst stark. Die in den Vorjahren steigende Tendenz flacht ein wenig ab, weil die stetige Zunahme der Fahrzeugzahlen und der Fahrleistungen teilweise durch leisere Fahrzeuge ausgeglichen wird. Nachts sinkt die Lärmbelastung durch Straßenverkehr im Allgemeinen zwar um etwa 10 dB(A) ab, doch bleibt sie für viele Menschen ein Problem: Etwa 31 % der Bevölkerung sind nachts mit Pegeln von über 50 dB(A) belastet (Abb. 4). Bei solchen Pegeln ist mit Schlafstörungen zu rechnen.

Die Aufteilung der straßenverkehrsbedingten Lärmbelastung auf die Bürger

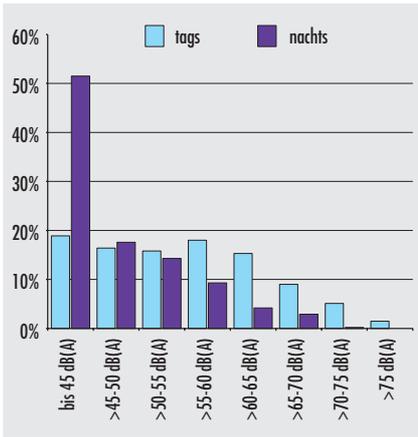


Abb. 4 Geräuschbelastung durch Straßenverkehr im Wohnbereich (Baden-Württemberg) (Quelle: UBA, 1995)

nach Gemeindegrößen macht deutlich, dass in mittleren und in Großstädten der Anteil der durch Straßenverkehr Belästigten um einiges größer ist als in Gemeinden mit weniger als 20.000 Einwohnern. Nur bei den sehr hohen Belastungen, über 70 dB(A) tagsüber und über 60 dB(A) nachts, sind die Anteile der Betroffenen etwa gleich. Ein Ergebnis der repräsentativen Umfrage vom Sommer 1999 ist: In den Großstädten fühlen sich 66 % der Bevölkerung durch Straßenverkehr belästigt, etwa 17 % stark oder äußerst stark. In mittleren Städten mit 20.000 bis 100.000 Einwohnern lauten diese Zahlen 62 % bzw. 12 %, in kleineren Orten mit weniger als 20.000 Einwohnern 57 % bzw. 10 % (Abb. 5).

Die Schallbelastung durch den Straßenverkehr hat zur Folge, dass bereits über 60 % der Landesfläche einem höheren Pegel als 40 dB(A) ausgesetzt sind. Rund 23 % weisen bereits mehr als 50 dB(A) auf, bei ca. 5 % sind es sogar mehr als 60 dB(A) (Abb. 6). Eine besondere Rolle spielen dabei die *Autobahnen*, die mit ca. 1000 km Länge knapp 4 % des gesamten überregionalen Streckennetzes ausmachen: Im Pegelbereich von 50 bis 60 dB(A) machen sie einen Anteil von etwa 20 % aus, im Pegelbereich von mehr als 60 dB(A) sogar 36 %. Da bei hohen Geschwindigkeiten die Reifengeräusche überwiegen, wirken sich gerade bei der Lärmbelastung durch Autobahnen geräuschärmere Motoren kaum aus.

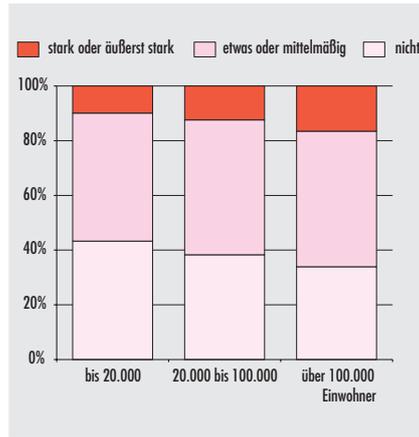


Abb. 5 Subjektiv empfundene Belästigung durch Straßenverkehr im Wohnbereich (Baden-Württemberg) (Quelle: LfU; Stand 1999)

Grenzwerte

Für die Kfz-Lärmemissionen gelten bestimmte Grenzwerte, die EU-weit gültig und im Laufe der Zeit verschärft worden sind (Abb. 7). So wurden die 1970 festgelegten zulässigen Grenzwerte der Schallpegel stufenweise abgesenkt, und zwar bei Lkw und Bussen (> 150 kW) von 92 dB(A) auf 80 dB(A), bei Bussen (<150 kW) von 89 auf 78 dB(A), bei Pkw von 84 auf 74 dB(A). Die derzeit geltenden Grenzwerte sind seit 1.10.1995 für neu entwickelte Kfz und seit 1.10.1996 für alle neuen Kfz - auch aus älterer Entwicklung - maßgebend.

Bei den *Kraftfahrzeugen* sind die zulässigen Grenzwerte nicht in gleichem Umfang verschärft worden. Seit 1993 gilt der

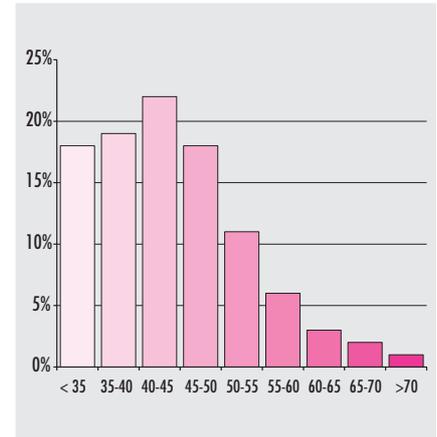


Abb. 6 Prozentuale Einteilung der Landesfläche Baden-Württembergs nach Lärmpegeln (Quelle: LfU; Stand 1994)

Grenzwert für neu entwickelte Kraftfahrzeuge bis 80 cm³ mit 75 dB(A), bis 175 cm³ mit 77 dB(A) und Motorräder mit mehr als 175 cm³ mit 80 dB(A). Damit haben größere Kraftfahrzeuge den selben Grenzwert wie die stärksten Lkw und die großen Busse. Mit Wirkung von Juni 1999 traten neue Grenzwerte in Kraft. Mittels EG-Richtlinie wurde für neu entwickelte Kleinkraftfahrzeuge bis 25 km/h Höchstgeschwindigkeit der Grenzwert auf 66 dB(A) und über 25 km/h auf 71 dB(A) festgelegt.

In Deutschland bekommen nur solche *Kraftfahrzeuge* eine behördliche Betriebslaubnis, deren Lärmemissionen (in 7,5 m seitlichem Abstand bei Vollgasbeschleunigung) die Grenzwerte einhalten. Die zuletzt erfolgte Herabset-

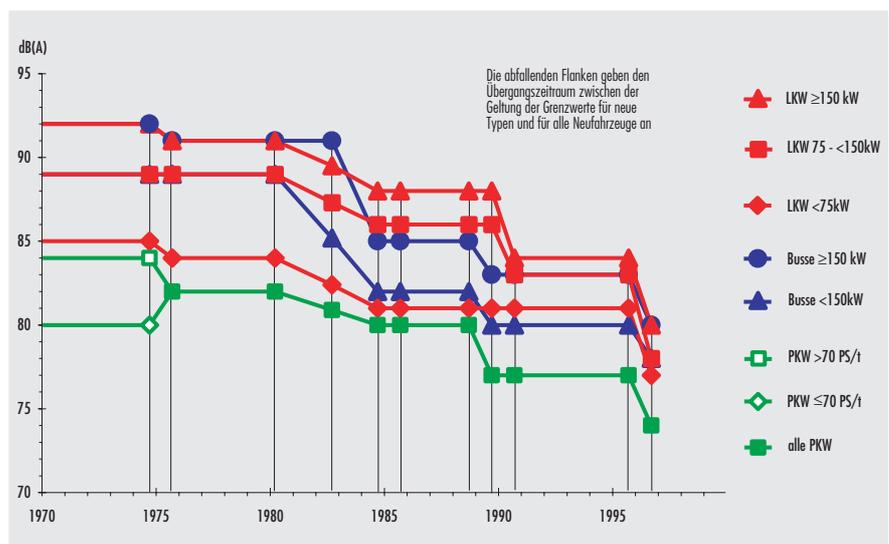


Abb. 7 Zeitliche Entwicklung der Geräuschemissionsgrenzwerte in dB(A) nach StVZO für ausgewählte Fahrzeugkategorien (Stand 2000)

Straßenverkehrslärm

zung der Grenzwerte wird erst im Laufe der Jahre eine Verbesserung innerhalb der Ortschaften bringen. So wurden die Grenzwerte für Kleintransporter und Kleinbusse zwar um 2 dB(A) verschärft; jedoch ist im innerörtlichen Verteilerverkehr immer noch eine beträchtliche Zahl relativ alter Transportfahrzeuge im Einsatz.

Abb. 8 zeigt die Typprüfwerte als prozentuale Aufteilung aller registrierten 5203 Typen bei Pkw für 1999. Den geltenden Grenzwert von 74 dB(A) für neu zugelassene Pkw hielten 92 % aller im Verkehr befindlichen Pkw-Typen ein. Den Fortschritt in diesem Bereich zeigt Tab. 1. Ein deutlicher Erfolg fortschreitender Lärminderungstechnik ist auch bei den schweren Lkw (Leistungsklasse 150 kW) zu verzeichnen (Abb. 9). Den seit 1.10.1995 geltenden Grenzwert von 80 dB(A) für neu entwickelte Lkw halten 69 % der registrierten Lkw-Typen (Leistungsklasse 150 kW) ein. Sie dürfen nach der Straßenverkehrsordnung eine Plakette führen, die sie als geräuscharm ausweist.

Bei diesen Ergebnissen ist aber zu beachten, dass die tatsächlichen Lärmemissionen im praktischen Fahrbetrieb stark von der Fahrweise abhängen. Das Fahrverhalten - niedrig- oder hoctouriges Fahren - kann Unterschiede in den Emissionen von über 10 dB(A) mit sich bringen, d.h. eine Verdoppelung oder Halbierung der subjektiv empfundenen Lärmbelästigung.

Allgemein gültige Grenzwerte für vom Straßenverkehr verursachte Lärmimis-

Jahr	Pkw		Lkw 150 kW	
	Grenzwert seit 9/89 77 dB(A)	Grenzwert seit 10/95 74 dB(A)	Grenzwert seit 9/89 84 dB(A)	Grenzwert seit 10/95 80 dB(A)
1987	78 %	27 %	12 %	0 %
1989	91 %	33 %	8 %	0 %
1991	97 %	37 %	84 %	14 %
1993	100 %	42 %	100 %	37 %
1996	100 %	81 %	100 %	55 %
1999	100 %	92 %	99 %	69 %

Tab. 1 Entwicklung der Einhalterate der geltenden Lärmemissionsgrenzwerte (Quellen: UBA, Kraftfahrt-Bundesamt)

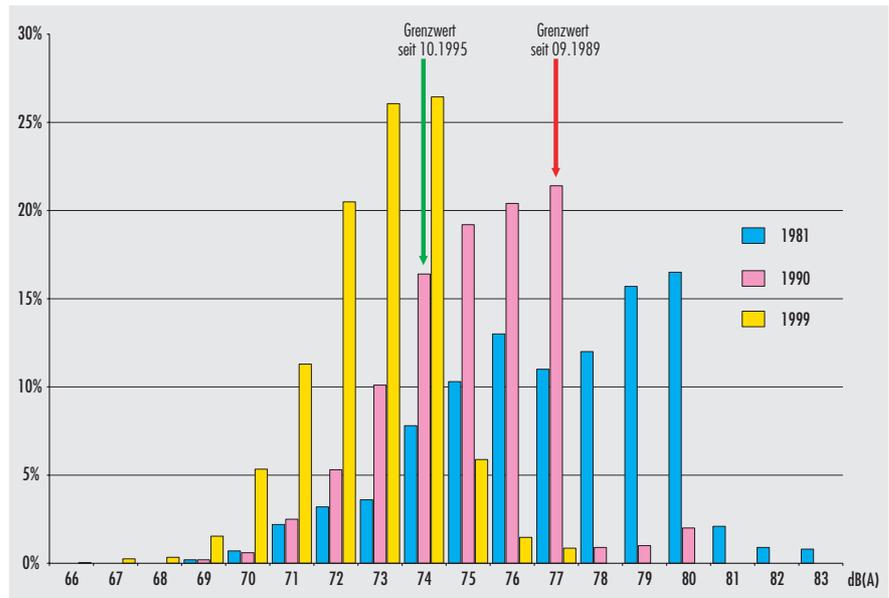


Abb. 8 Verteilung der Geräuschemissionen aller Pkw-Typen (Quellen: UBA, Kraftfahrt-Bundesamt; Stand 9/1999)

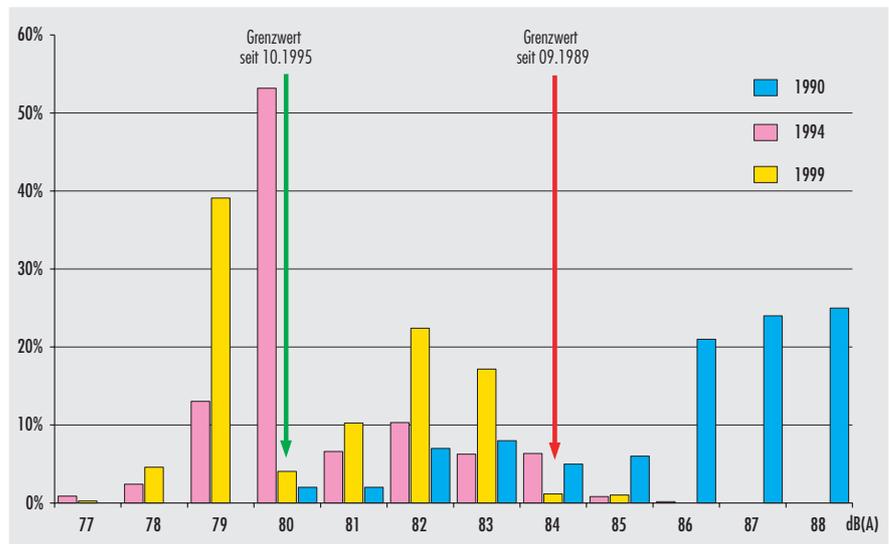


Abb. 9 Entwicklung der Fahrgeräushtypprüfwerte von Lkw 150 kW (Quellen: UBA, Kraftfahrt-Bundesamt; Stand 9/1999)

sionen gibt es nicht. Seit 21.6.1990 ist jedoch die Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) in Kraft; sie schreibt bei neuen Verkehrsstrecken und solchen, die im Zuge von Umbau- oder Ausbaumaßnahmen wesentlich geändert werden, verbindliche Lärmimmissionsgrenzwerte vor (Tab. 2, linker Teil). Demnach ist durch planerische oder technische Maßnahmen am Verkehrsweg sicherzustellen, dass die in der Verordnung festgesetzten Grenzwerte nicht überschritten werden. Soweit dies mit angemessenem Aufwand nicht realisierbar ist, hat der Anlieger im Allgemeinen Anspruch auf Entschädigung für von ihm

selbst durchzuführende Schutzmaßnahmen (z.B. Schallschutzfenster).

Die Verordnung gilt für Bundes-, Landes- und Gemeindestraßen. Da die Verordnung nur für Neubau und wesentliche Änderung von Verkehrswegen gilt, gibt es bei Überschreitung dieser Grenzwerte an bestehenden Straßen bisher keine Rechtsgrundlage, die eine Lärmsanierung für solche Verkehrswege vorschreibt. Seit 1978 ist auf Grund haushaltsrechtlicher Regelung Lärmsanierung an bestehenden Bundesfernstraßen möglich. Voraussetzung war bis Ende 1985, dass der Beurteilungspegel einen Immissionsgrenzwert

	Immissionsgrenzwerte nach 16. BImSchV		Sanierungspegel für bestehende- Bundesfernstraßen in dB(A)	
	in dB(A)		in dB(A)	
	tags	nachts	tags	nachts
Krankenhäuser, Schulen, Heime	57	47	70	60
Reine und allgemeine Wohngebiete	59	49	70	60
Kern-, Dorf- und Mischgebiete	64	54	72	62
Gewerbegebiete	69	59	75	65

Tab. 2 Immissionsgrenzwerte für den Bau oder die wesentliche Änderung von Straßen- oder Schienenwegen bzw. Sanierungspegel für bestehende Bundesstraßen, Stand 1999 (Quelle: 16. BImSchV)

von 75 dB(A) am Tage oder von 65 dB(A) in der Nacht überschritt. Für Wohn- und Mischgebiete gelten seit 1986 deutlich herabgesetzte Immissionsgrenzwerte für die Lärmsanierung an Bundesfernstraßen (Tab. 2, rechter Teil).

Maßnahmen

Bei den Maßnahmen zum Schutz vor Straßenverkehrslärm wird zwischen aktiven und passiven Maßnahmen unterschieden.

Zu den möglichen Lärmschutzmaßnahmen gehören:

- Lärminderung an den Fahrzeugen (Motor, Auspuff, Reifen usw.)
- Lärmindernder Belag
- Geschwindigkeitsbeschränkungen
- Fahrverbote
- den Lärm berücksichtigende Trassenführung
- Lärmschutzwälle und -wände
- Einschnitt- oder Troglagen
- Teil- oder Vollabdeckungen (Tunnel)
- Lärmschutzfenster (passiv)
- Verstärkungen von Haustüren und Dächern (passiv)

Bei höheren Geschwindigkeiten dominieren die Reifen-/Fahrbahn-Geräusche gegenüber den Antriebsgeräuschen. Für einen lärmarmen und kraftstoffsparenden *Reifen* wurde 1997 erstmals das Umweltzeichen "Blauer Engel" vergeben. Der Minister für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg setzte sich Mitte

1999 bei der Reifenindustrie für die Entwicklung und Kennzeichnung weiterer lärmarmen Reifen ein. Nach einer Untersuchung im Auftrag des Umweltbundesamtes hielten Ende 1999 von 14 getesteten Reifenherstellern 9 einzelne Reifentypen den Umweltkriterien für den "Blauen Engel" stand. Die Hersteller dieser Reifen können daher das Umweltzeichen beantragen.

Für verkehrsrechtliche Maßnahmen zum Lärmschutz, also auch für *Geschwindigkeitsbeschränkungen*, gelten die "Vorläufigen Richtlinien für straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor Lärm" (Lärmschutz-Richtlinien-StV) vom 6.11.1981. Danach kommen Maßnahmen in Betracht, wenn der vom Straßenverkehr herrührende

Mittelungspegel die Sanierungspegel (Tab. 2, rechter Teil; allerdings gelten für Kern-, Dorf- und Mischgebiete dieselben Werte wie für Gewerbegebiete) überschreitet. Der Mittelungspegel soll unter den Sanierungspegel abgesenkt, mindestens jedoch eine Pegelminderung von 3 dB(A) bewirkt werden. Da wirksame Geschwindigkeitsbeschränkungen die Geräusche der einzelnen Fahrzeuge bei der Vorbeifahrt besonders stark vermindern, werden solche Maßnahmen subjektiv positiver bewertet, als es im Mittelungspegel zum Ausdruck kommt.

In Baden-Württemberg wurden als *aktive Lärmschutzmaßnahmen* bis 1999 über 37 km Lärmschutzwälle, fast 10 km Steilwände und gut 123 km Lärmschutzwände an Bundesfernstraßen errichtet (Abb. 10). Insgesamt gesehen nehmen die Anstrengungen für den Lärmschutz tendenziell zu. Dennoch sind im Land erst 3 % des Gesamtnetzes von Bundesfernstraßen (= etwa 5500 km) mit Lärmschutzwällen oder -wänden ausgestattet. Flächendeckende Daten für aktive Lärmschutzmaßnahmen an Landes- und Gemeindestraßen liegen nicht vor.

Passive Lärmschutzmaßnahmen in Form von Lärmschutzfenstern werden ebenfalls nur bei Bundesfernstraßen statistisch erfasst. Hier wurden bis 1999 ca.

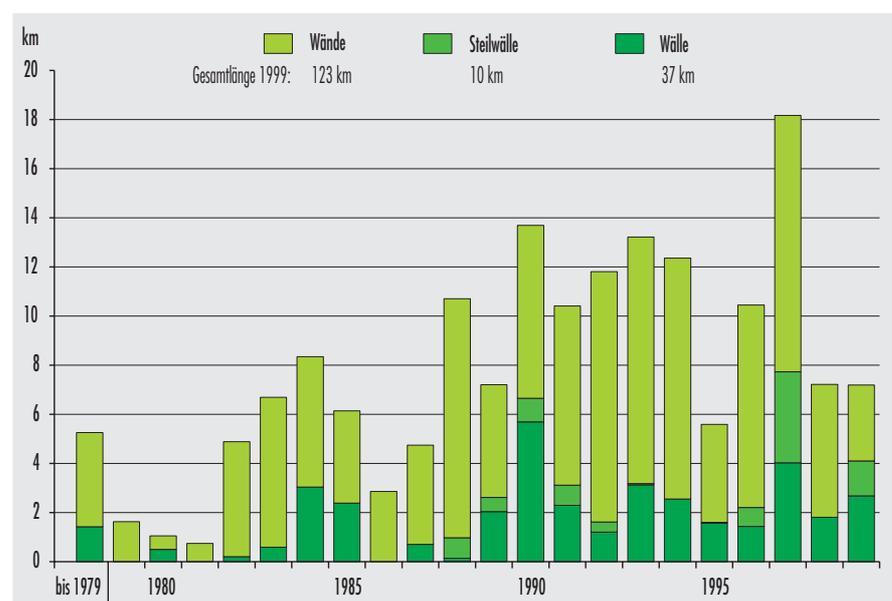


Abb. 10 Neu errichtete Lärmschutzwände und -wälle an Bundesfernstraßen in Baden-Württemberg (Quelle: Bundesministerium für Verkehr)

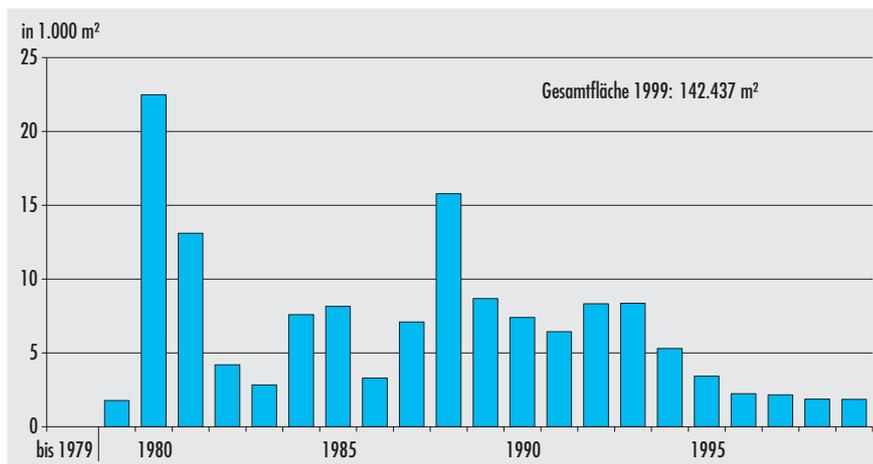


Abb. 11 Neu eingebaute Lärmschutzfenster an Bundesfernstraßen in Baden-Württemberg
(Quelle: Bundesministerium für Verkehr)

142.400 m² Lärmschutzfenster eingesetzt (Abb. 11). Die Investitionen für diese Lärmschutzmaßnahmen des Bundes beliefen sich bis 1999 auf 469 Mio. DM für Vorsorge und 150 Mio. DM für Sanierung (vgl. Kapitel M Umweltökonomie).

Ein Vergleich mit anderen Bundesländern beim Lärmschutz an Bundesfernstraßen macht deutlich, dass Baden-Württemberg mehr Gewicht auf passiven Lärmschutz legt: Das Land besitzt bezogen auf die Straßenlänge fast doppelt so viele Lärmschutzfenster an Bundesfernstraßen wie die anderen Länder.

Fluglärm

Mit dem Flughafen Stuttgart und den Regionalflughäfen Friedrichshafen und Karlsruhe/Baden-Baden besitzt Baden-Württemberg drei Verkehrsflughäfen mit überregionaler Bedeutung.

Daneben gibt es weit über 100 zusätzliche zivil genutzte Flugplätze. Diese, recht gleichmäßig im Lande verteilt, teilen sich auf in

- 50 Verkehrs- bzw. Sonderlandeplätze (benutzt von kleineren Motorflugzeugen unter 5,7 t, Motorseglern, Segelflugzeugen, Hubschraubern und Ultraleichtflugzeugen, in wenigen Fällen auch von Flugzeugen über 5,7 t Startgewicht),

- 63 Segelflugplätze (benutzt von Motorseglern, Segelflugzeugen, in geringem Maße auch von Motorflugzeugen unter 2 t und Ultraleichtflugzeugen).

Hinzu kommen noch mehrere - oft bei Krankenhäusern gelegene - zivil genutzte Hubschrauberlandeplätze und einzelne Landeplätze für Ultraleichtflugzeuge.

In erster Linie bestimmen die Lärmemissionen der einzelnen Flugzeuge und der Abstand zum Flugplatz und zur Flugroute die Höhe der Lärmeinwirkungen in der Nachbarschaft von Flugplätzen. Der Grad der Belästigung hängt zudem von Dauer und Häufigkeit bzw. vom Zeitpunkt des Auftretens der Fluggeräusche ab. Die Umfrage vom Sommer 1999 über die Lärmbelästigung der Bevölkerung ergab zum Fluglärm 40 % Belästigte. 7 % der Einwohner fühlen sich stark oder äußerst stark belästigt.

Zur aktiven Begrenzung des Fluglärms wurden die Lärmgrenzwerte für Kleinflugzeuge in den deutschen "Lärmschutzanforderungen für Luftfahrzeuge" (LSL) gegenüber den von der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) empfohlenen Richtwerten zusätzlich um 4 dB(A) abgesenkt. Damit hat Deutschland neben der Schweiz die strengsten Lärmschutzanforderungen für neu in den Verkehr kommende Flugzeuge. Die Geräuschemissionen eines großen Anteils älterer Kleinflugzeuge sind aber noch relativ hoch.

Als besonders belästigend wird oft das Fliegen von Platzrunden (Platzrundflüge) in der Umgebung von Flugplätzen empfunden. Dies ist im Gegensatz zu einem Streckenflug mit lang andauernden, scheinbar nicht enden wollenden Einzelfluggeräuschen verbunden. Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes werden in Baden-Württemberg bei über der Hälfte aller nicht gewerblichen Motorflüge lediglich Platzrunden geflogen.

Nach der Landeplatz-Lärmschutz-Verordnung vom 5.1.1999 sind für Landeplätze mit mindestens 15.000 Flugbewegungen pro Jahr Starts und Landungen von propellergetriebenen Flugzeugen und Motorseglern bis zu 9.000 kg ohne erhöhte Schallschutzanforderungen zu folgenden Zeiten untersagt:

- montags bis freitags vor 7.00 Uhr, zwischen 13.00 und 15.00 Uhr und nach Sonnenuntergang,
- samstags, sonntags und an Feiertagen vor 9.00 Uhr und nach 13.00 Uhr.

Lärmgeminderte Motorflugzeuge sind von diesen Betriebsbeschränkungen ausgenommen. Dieser Benutzervorteil ist ein wirksamer Anreiz für lärmmindernde Umrüstungen lauter Propellerflugzeuge. Nach der Landeplatz-Lärmschutz-VO können die Landesbehörden weitere Einschränkungen auf Landeplätzen anordnen.

An einigen Flugplätzen sind die Lärmprobleme zum Teil auch Folge von zu geringen Abständen zwischen Wohnbebauung und Flugplatz oder Flugwegen. An einigen wenigen Landeplätzen ist die Zahl der Flugbewegungen begrenzt. In Friedrichshafen und Söllingen dürfen nur Flugzeuge landen, welche die strengen Lärmvorschriften gemäß ICAO (International Civil Aviation Organization), Annex 16, Kapitel III, erfüllen. In Lahr besteht eine Tonnagebegrenzung bis regulär 14 t, ausnahmsweise bis 20 t. In Söllingen haben die alten Fluglärmschutzbereiche, die für den militärisch genutzten Flugplatz galten, weiterhin

Bestandskraft. In Friedrichshafen wurden Ende 1999 drei Fluglärmmessstellen eingerichtet.

Der Flugverkehr auf den Zivilflugplätzen und Segelfluggeländen (ohne Flughafen Stuttgart) stieg von etwa 500.000 Starts 1983 auf über 600.000 Starts 1989 und 1990 (Abb. 12). 1998 wurden 99.000 gewerbliche und 517.000 nichtgewerbliche Starts zu verzeichnen. Die Zusammensetzung des zivilen Flugverkehrs (außer Flughafen Stuttgart) für 1983 bis 1998 zeigt Abb. 13.

Die Flugzeugbewegungen (Gesamtverkehr) am *Flughafen Stuttgart* stiegen seit 1978 um rund 33 % von 109.660 auf 145.496 im Jahr 1998 (Abb. 14). Der gewerbliche Flugverkehr am Flughafen Stuttgart gewinnt weiter an Bedeutung, sein Anteil am Gesamtflugaufkommen betrug 78 % im Jahr 1998. Dagegen war der militärische Flugverkehr am Flughafen Stuttgart auffallend rückläufig.

Unter Fluglärmgesichtspunkten ist innerhalb des Gesamtverkehrs der Verkehr mit strahlgetriebenen Flugzeugen von besonderem Gewicht. Abweichend von der Entwicklung des Gesamtverkehrs hat sich die Zahl der Starts und Landungen von Jets seit 1978 von 44.737 auf 93.572 (1998) mehr als verdoppelt. Für geräuschvolle Düsenflugzeuge gibt es besondere zeitliche Flugbeschränkungen. Die Start- und Landegebühren sind lärmabhängig. Aus diesem Grunde waren die Fluggesellschaften gezwungen, auf Maschinen mit weniger geräuschvollen Triebwerken umzustellen. 1996 erfüllten bereits 91,5 % aller am Flughafen Stuttgart eingesetzten Jets die strengeren ICAO-Vorschriften (Abb. 15). Aufgrund einer Änderung der luftrechtlichen Genehmigung sind die lauten Kapitel-II-Flugzeuge seit dem 1.5.1997 vom Flughafen Stuttgart weitgehend ausgeschlossen, so dass 1998 lediglich 0,7 % der Jets nicht den strengen Lärmvorschriften entsprachen.

Acht Dauermessstellen in der Umgebung des Flughafens Stuttgart erfassen die vom

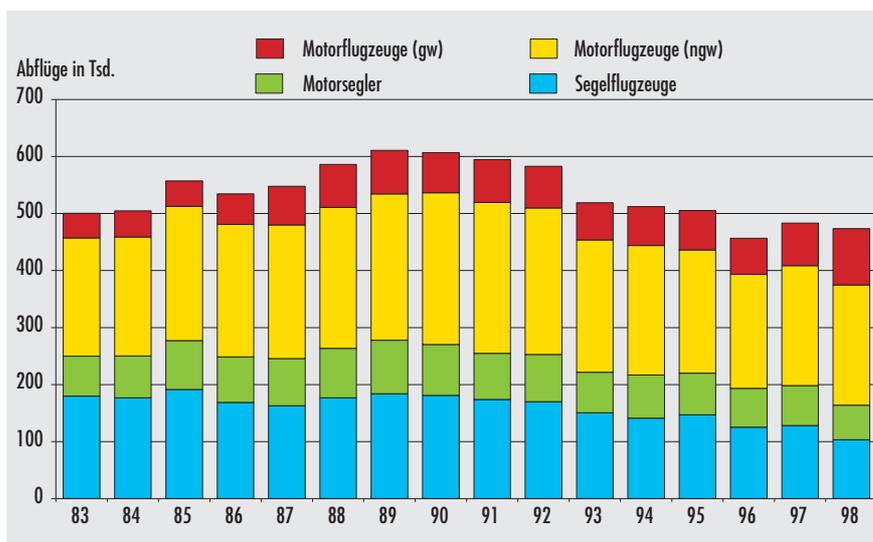


Abb. 12 Entwicklung des Flugverkehrs (Abflüge) auf zivilen Flugplätzen (ohne Flughafen Stuttgart) (Quelle: Statistisches Bundesamt)

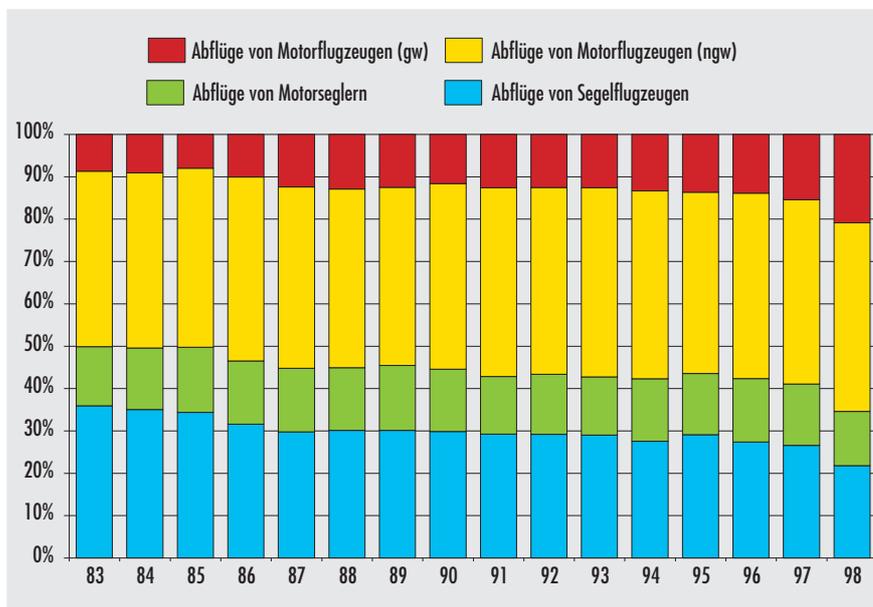


Abb. 13 Flugverkehr (ohne Flughafen Stuttgart) nach Kategorien (Quelle: Statistisches Bundesamt)

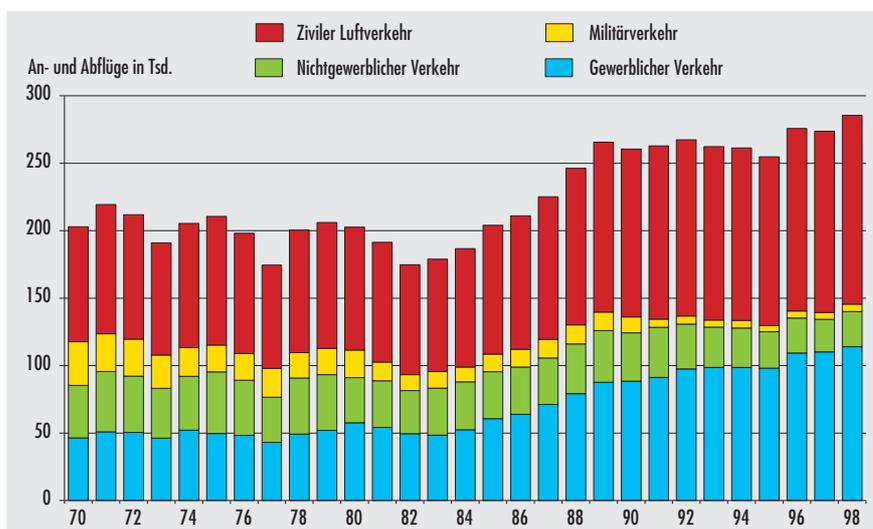


Abb. 14 Flugbewegungen (An- und Abflüge) am Flughafen Stuttgart (Quelle: Fluglärmbeauftragter)

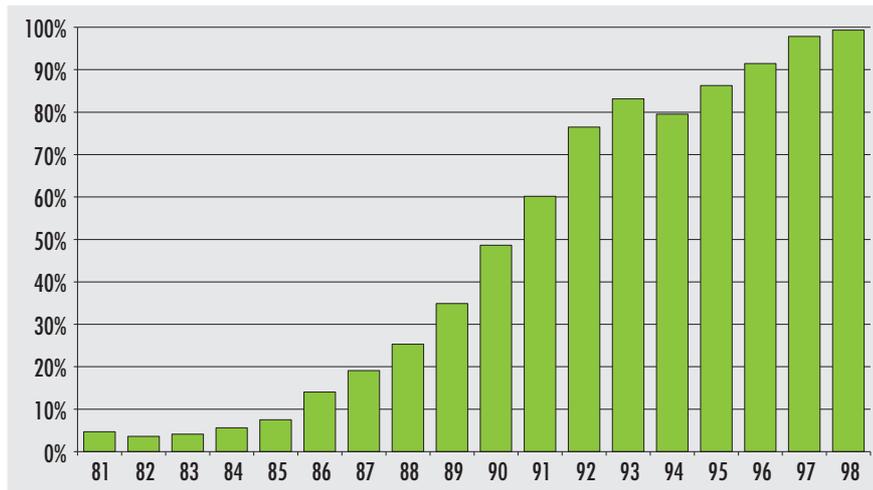


Abb. 15 Prozentualer Anteil der Kapitel III-Jets am Gesamtaufkommen der strahltriebwerkegetriebenen Flugzeuge am Flughafen Stuttgart (Quelle: Fluglärmbeauftragter)

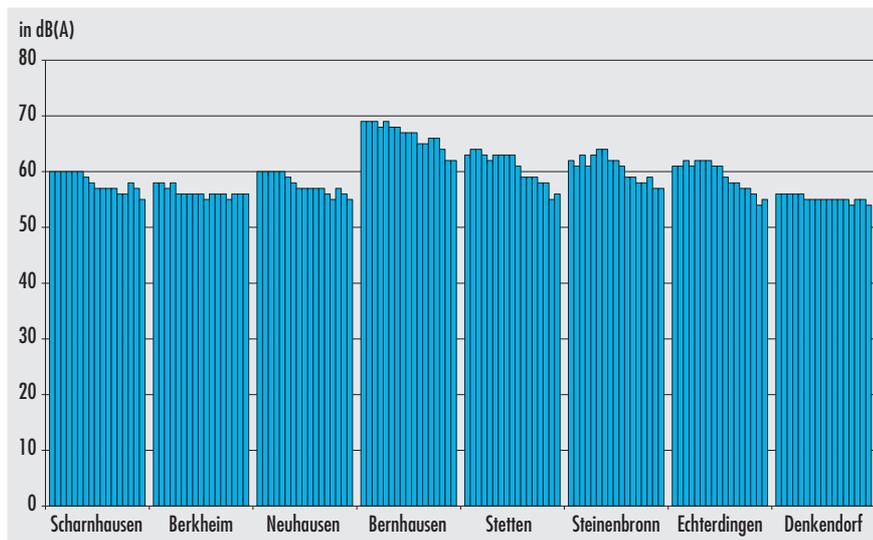


Abb. 16 Jahresmittlungspegel (äquivalente Dauerschallpegel) an den Fluglärmmessstationen des Flughafens Stuttgart 1982-1998 (Quelle: Fluglärmbeauftragter)

Ort	Aufwendungen in TDM
Bernhausen	38.603
Denkendorf	50
Echterdingen	12.600
Esslingen-Berkheim	41
Nellingen	145
Neuhausen	925
Plieningen	12.309
Scharnhäusen	3.503
Sielmingen	11.544
Stetten	441
Gesamtsumme	80.161

Tab. 3 Aufwendungen für Schallschutzfenster in den Nachbargemeinden des Flughafens Stuttgart bis Ende 1999 (Quelle: Flughafen Stuttgart)

Jahr	Neuanträge	Aufwendungen in TDM
Bis Ende 1995	2.630	13.726
1996	924	20.035
1997	565	23.529
1998	364	14.610
1999	260	8.261
2000 (geschätzt)	757	8.840
2001 (geschätzt)	0	11.000

Tab. 4 Jährliche Neuanträge und Aufwendungen für Schallschutzfenster in den Nachbargemeinden des Flughafens Stuttgart (Quelle: Flughafen Stuttgart)

Flugverkehr ausgehenden Geräuscheinwirkungen. Abb. 16 zeigt die zeitliche Entwicklung des äquivalenten Dauerschallpegels nach dem Fluglärmgesetz (Jahresmittlungspegel). An der lautesten Messstelle Bernhausen ist der Jahresmittlungspegel für 1998 gegenüber 1994 um 4 dB(A) gesunken, in Stetten um 3 dB(A) und in Echterdingen um 2 dB(A). An den anderen Messstellen ergaben sich 1998 gegenüber 1994 keine oder geringfügige Verminderungen; an keiner der Messstellen war eine Erhöhung zu verzeichnen.

Zum Schutze der Bevölkerung vor Fluglärm ist im Planfeststellungsverfahren ein umfangreiches Schallschutzprogramm aufgelegt worden. Eigentümer der in den Lärmsanierungs- und Lärmvorsorgegebieten gelegenen Grundstücke bekommen unter bestimmten Voraussetzungen auf Kosten des Flughafens Aufwendungen für bauliche Schallschutzvorrichtungen an Aufenthaltsräumen erstattet. Bis Ende 1999 wurden in diesem Rahmen 4.743 Anträge gestellt und 8.022 Wohneinheiten mit Schallschutzfenstern ausgerüstet. Der Aufwand der Stuttgarter Flughafen GmbH hierfür betrug 80.161 TDM (Tab. 3 und 4). Anträge können noch bis Ende des Jahres 2000, genehmigte Anträge noch bis Ende 2001 abgerechnet werden. Insgesamt wird mit rund 5.500 Anträgen und Aufwendungen in Höhe von etwa 100 Mio. DM für annähernd 10.000 Wohneinheiten gerechnet.

Der Flughafen Zürich-Kloten in der Schweiz hat am Oberrhein Bedeutung für die Lärmbelastung in Baden-Württemberg, da der weitaus größte Teil aller Landeanflüge und einige wenige Abflüge über süddeutschem Gebiet, insbesondere dem Landkreis Waldshut, abgewickelt werden. Hiervon sind u.a., etwa 15 km vom Flughafen entfernt, die Gemeinden Hohentengen und Klettgau betroffen. Eine deutsch-schweizerische Regelung zur Verminderung der Fluggeräusche trat 1984 in Kraft. Die dort vereinbarten Verbesserungen wirkten sich tagsüber jedoch auf die Lärmbelastung in Hohen-

tengen nur kurze Zeit aus; seit 1986 stieg die Belastung durch erhöhtes Flugaufkommen wieder an. Dies zeigt Abb. 17 der LfU, die u.a. in Hohentengen Fluglärm-messungen durchführt (diese Messung musste aus organisatorischen Gründen Anfang 1998 bis Ebde 1999 unterbrochen werden).

Die erwähnte "Regelung für An- und Abflüge zum/vom Flughafen Zürich über deutsches Hoheitsgebiet" wurde mit Schreiben des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen zum 31. Mai 2001 gekündigt. Hintergrund dieses Schrittes ist die übermäßige Nutzung des deutschen Luftraumes, die infolge der innerschweizerischen Planungen zum Ausbau des Flughafens noch weiter zunehmen sollte. An die Stelle der bisherigen Vereinbarung soll ab 1.6.2001 eine Regelung treten, die zu einer spürbaren Entlastung des süddeutschen Raumes und der Einwohner führen soll. Hierüber werden derzeit mit der Schweiz Staatsvertragsverhandlungen geführt.

Nachdem sich ein Großteil der Bevölkerung durch militärische Flüge belästigt fühlte, führten vielfältige Bemühungen militärischer und ziviler Institutionen zu spürbaren Entlastungen. So wurde 1990 die Mindestflughöhe für militärische Jets am Tage auf 300 m angehoben. Der Flugbetrieb im sogenannten Low Flying

Area 7 - ein Gebiet im Nordosten des Landes, in dem zuvor militärische Tiefflüge bis herab auf 75 m über Grund erlaubt waren - wurde ausgesetzt.

Im gesamten Bundesgebiet wurden Standorte fliegerischer Verbände geschlossen. 1996 waren in Baden-Württemberg lediglich an 6 Standorten (an 5 alliierten) militärische Hubschrauberverbände stationiert. Die großen ehemaligen militärischen Jet-Flugplätze - (Hartheim-)Bremgarten, Lahr und (Rheinmünster-)Sölingen - wurden zu Beginn der neunziger Jahre geschlossen und werden heute zivil genutzt.

Die Zahl der im Tiefflug von Alliierten und der Bundeswehr absolvierten Flugstunden verringerte sich von 1990 bis 1995 um etwa 79 %. Der Bestand an Kampfflugzeugen auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland wurde von 1990 bis 1996 um etwa 69 % abgebaut. Nach Angaben des Luftwaffenamtes Köln bewirkten diese Maßnahmen auch in Baden-Württemberg einen starken Rückgang der militärischen Flüge: Die Flugdichte des militärischen Tiefflugbetriebes mit strahlgetriebenen Luftfahrzeugen lag von 1996 bis 1999 im Durchschnitt gleichbleibend bei rund 50 Flügen pro Quadratkilometer im Jahr. Diese Flugdichte liegt statistisch unter dem Bundesdurchschnitt. Rund 7 % aller beim

Luftwaffenamt eingegangenen Beschwerden über militärischen Fluglärm kamen 1996 bis 1999 aus Baden-Württemberg. Sie bezogen sich fast ausschließlich auf Tagtiefflüge. Seit Mitte der 90er Jahre haben sich in Bezug auf militärischen Fluglärm insgesamt keine wesentlichen Veränderungen ergeben.

Schienenverkehrslärm

Nach der repräsentativen Umfrage von Mitte 1999 (siehe Abschnitt "Lärm als Belastung") fühlen sich 13 % der Einwohner in Baden-Württemberg durch den Schienenverkehrslärm belästigt: knapp 2 % stark oder äußerst stark. Dabei konzentrieren sich die Belästigungen - im Unterschied zu allen anderen Lärmquellenarten - eindeutig auf die Nachtzeit.

Die objektive Lärmbelastung der Bevölkerung durch den Schienenverkehr nach Modellrechnungen des Umweltbundesamtes stellt Abb. 18 dar. Demnach sind tagsüber fast 35 % der Bevölkerung mit über 50 dB(A) belastet, nachts sinkt dieser Anteil auf etwa 24 %. Bereits bei solchen Pegeln ist mit Schlafstörungen zu rechnen. Der Schienenverkehr ist daher neben dem Straßenverkehr die zweite wichtige Nachtgeräuschquelle. Da sich die Emissionen des Schienenver-

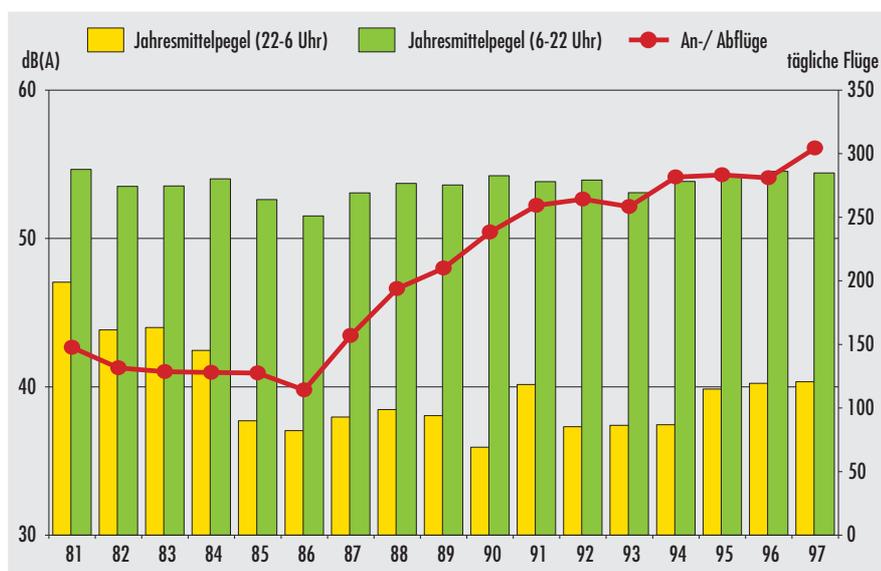


Abb. 17 Jahresmittelpiegel in dB(A) an den Fluglärmmessstationen in Hohentengen und mittlere Anzahl der täglichen Flüge (Quellen: LfU, Flughafen Zürich)

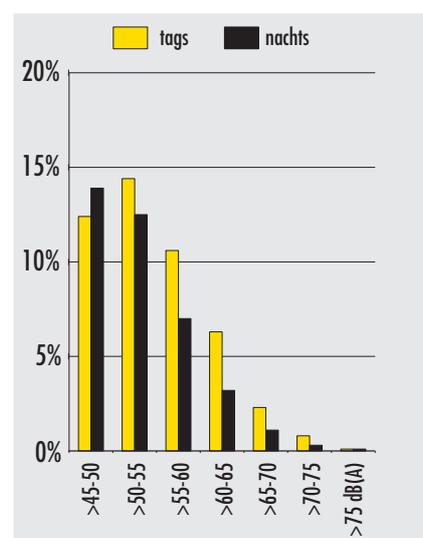


Abb. 18 Geräuschbelastung durch Schienenverkehr im Wohnbereich in Deutschland (Quelle: UBA; Stand 1992)

Schienenverkehrslärm

kehrs, das Verkehrsaufkommen und die Schallschutzmaßnahmen aus der Sicht der Schallimmissionen seit 1992 nur wenig verändert haben, hat diese Modellrechnung noch weitgehend Gültigkeit.

Typische Lärmemissionswerte für die von der Deutschen Bahn AG eingesetzten Zugarten stellt Abb. 19 dar. Messungen haben jedoch auch ergeben, dass der Gleiszustand, insbesondere die Verriffelung der Schienen, Unterschiede in der Geräuschemission von Personenzügen bis zu 10 dB(A) bei sonst gleichen Bedingungen hervorrufen kann. Bei Güterzügen können diese Unterschiede noch mehr als 5 dB(A) betragen. Die Messergebnisse enthält Abb. 21: An der Neubaustrecke Mannheim-Stuttgart hatte sich - ohne Wartungsmaßnahmen an der Schienen-

laufläche - im Laufe eines Jahres die Schallemission um mehr als 4 dB(A) verschlechtert. Nicht immer fallen Veränderungen so drastisch aus, aber der Trend dieses Ergebnisses ist weiterhin aktuell.

Die Deutsche Bahn AG hat im Zuge der Planfeststellungsverfahren für ihre Aus- und Neubaustrecken zugesagt, die Schienenoberfläche mit besonderen Messzügen zu überwachen und, falls erforderlich, zu schleifen. In Kooperation mit dem Umweltbundesamt misst die Landesanstalt für Umweltschutz in einem Langzeitprogramm an verschiedenen Streckenabschnitten der Deutschen Bahn AG und an Straßenbahngleisen in mehreren Städten die Lärmbelastung.

Allgemein verbindliche Emissionsgrenzwerte für Schienenfahrzeuge oder Immis-

sionsgrenzwerte für Lärmbelastungen durch den Schienenverkehr gibt es nicht. Für Neu- und Ausbaustrecken der Deutschen Bahn AG gilt jedoch, wie für den Straßenverkehr, die 1990 in Kraft getretene Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV). Demnach sind beim Bau oder bei der wesentlichen Änderung von Schienenwegen die Immissionsgrenzwerte dieser Verordnung maßgebend (Tab. 2). Bei der Ermittlung des Beurteilungspegels ist jedoch ein Abschlag in Höhe von 5 dB(A) gegenüber Straßenverkehrslärm vorgesehen. Dieser Abschlag wird eingeräumt aufgrund sozialwissenschaftlicher Studien zur Lärmbelastung, nach denen Schienenlärm im Allgemeinen, vor allem aber zur Nachtzeit, weniger störend empfunden wird als Straßenverkehrslärm. Bei der Planung neuer Strecken ist zunächst eine möglichst umweltschonende Linienführung zu wählen. Überschreitet der Beurteilungspegel trotzdem die Grenzwerte der 16. BImSchV, sind zu ihrer Einhaltung aktive und - soweit dies nicht möglich oder nicht verhältnismäßig ist - passive Lärmschutzmaßnahmen vorzusehen.

Im Vorfeld der Verkehrslärmschutzverordnung hat die Bahn auf der 105 km langen Neubaustrecke Mannheim-Stuttgart unter anderem etwa 16 km Lärmschutzwände und etwa 20 km Lärmschutzwälle als aktive Schallschutzmaßnahmen gebaut. Diese haben sich seit Inbetriebnahme der Strecke im Sommer 1991 bewährt. Dagegen führt die Neu- und Ausbaustrecke Karlsruhe-Basel, die sogenannte Rheintalbahn, mitten durch Ortschaften, und an ihr entstehen noch heute, trotz ihrer bekannt hohen Verkehrsdichte, neue Wohnsiedlungen. Hier gestaltet sich die Einhaltung der Anforderungen der Verkehrslärmschutzverordnung zum Teil schwierig. Wegen der oft geringen Abstände zu Wohngebäuden lassen sich manchmal keine akzeptablen Lösungen mit Schallschutzwänden oder -wällen finden, da diese z.T. sehr hoch sein müssten und damit die

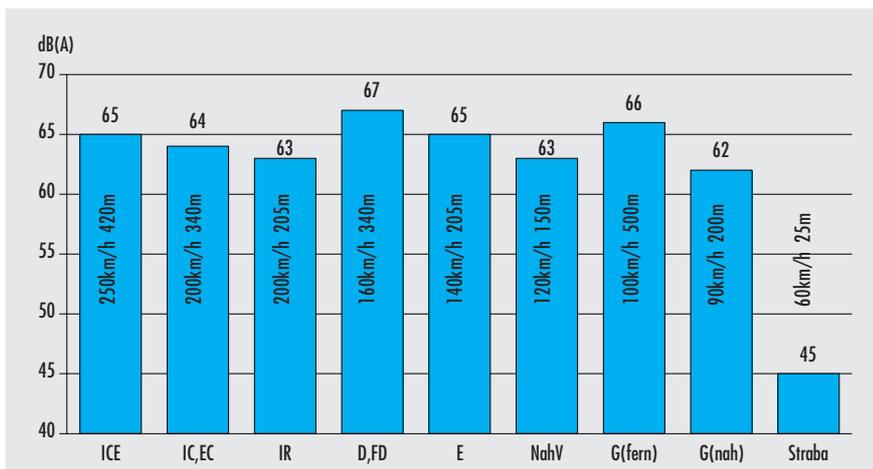


Abb. 19 Mittelpegel (25 m Abstand, 1 Zug pro Stunde) für Zugtypen der DB AG (1990). Die Werte in den Balken beziehen sich auf die Regelgeschwindigkeiten und die Regellänge der Züge (Quelle: UBA, Richtlinie Schall 03 der DB AG)

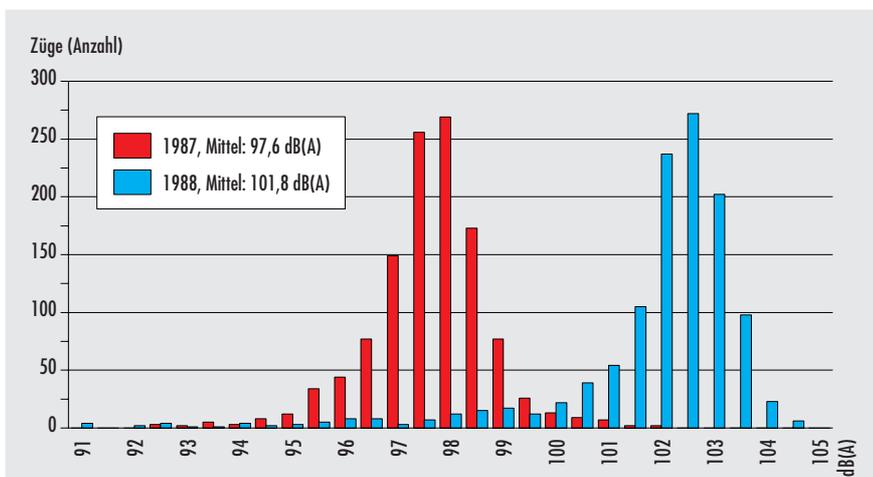


Abb. 20 Anzahl der Züge über dem entsprechenden Geräuschpegel: Veränderung der Geräuschemission eines IC an der Neubaustrecke Mannheim - Stuttgart im Laufe eines Jahres ohne Gleispflege (Quelle: LfU)

Ortschaften optisch völlig zerschneiden würden. Wenn der mit der Verordnung festgeschriebene Schutzanspruch nicht anders zu verwirklichen ist, bleiben als Möglichkeit nur Schallschutzmaßnahmen am Gebäude.

Die gesamte Länge der Schallschutzanlagen (Wände und Wälle) betrug Ende 1993 ca. 47,5 km, die Zahl derartiger Lärmschutzmaßnahmen 90.

Die Lärmbelastung zur Nachtzeit ruft in erster Linie der *Güterzugverkehr* hervor. Aufgrund des Bestrebens, mehr Güterverkehr auf die Schiene zu bringen, rechnet die Deutsche Bahn AG mit weiter steigenden Transportzahlen. Während z.B. auf der Strecke Karlsruhe-Basel insgesamt etwa 40 Güterzüge pro Nacht verkehren, wird nach Fertigstellung der Neu- und Ausbaustrecke für den selben Zeitraum eine Zunahme um mindestens 50 % erwartet.

Die Deutsche Bahn AG sieht sich nicht in der Lage, aus eigenen Mitteln den Lärmschutz bei stark belasteten bestehenden Bahnstrecken zu verbessern. Eine gesetzliche Verpflichtung zu Lärminderungsmaßnahmen besteht nicht. Jedoch hat der Bund 1999 im Rahmen eines Härtefall-Sonderprogramms für die Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen Mittel in Höhe von 100 Mio. DM vorgesehen - ein erster Schritt zur Verbesserung

der Situation. Für Baden-Württemberg fielen 1999 in diesem Zusammenhang Planungskosten in Höhe von 175.000 DM an. Bis 2002 sind für die Sanierung von sechs Abschnitten (Bruchsal, Emmendingen, Karlsruhe-Weiherfeld, Ladenburg, Mannheim-Friedrichsfeld und Schwetzingen) insgesamt 25 Mio. DM veranschlagt. Nach Erhebungen der Deutschen Bahn AG wären, um den Sanierungsgrenzwert von 60 dB(A) nachts einzuhalten, in Baden-Württemberg etwa 160 km Lärmschutzwände (Höhe 2 m über Schiene) und etwa 136.600 m² Lärmschutzfenster an insgesamt 40.000 betroffenen Wohneinheiten erforderlich.

Industrie- und Gewerbelärm

Die subjektiv empfundene Belästigung der Bevölkerung durch Industrie- und Gewerbelärm ist in den vergangenen Jahren in Baden-Württemberg nicht weiter angewachsen: Im Jahr 1999 fühlten sich 15 % der Bevölkerung durch Industrielärm belästigt, davon 2 % stark oder äußerst stark.

Die mit der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) bereits 1968 geschaffenen Immissionsrichtwerte für den Lärm in der Umgebung von Industrie- und Gewerbeanlagen haben verbindlichen Charakter und ebenso wie die zugehörigen Messverfahren auch in

der neuen TA Lärm von 1998 Bestand (Tab. 5). Neu an dieser novellierten Verwaltungsvorschrift ist, dass genehmigungsbedürftige und nicht genehmigungsbedürftige Industrie- und Gewerbeanlagen jetzt weitgehend gleich behandelt werden. Weiter wurden Zuschläge für Tageszeiten mit erhöhter Empfindlichkeit festgelegt; die zulässige Höhe von Geräuschspitzen während der Tages- und der Nachtzeit wurde begrenzt. Für Notsituationen, seltene Ereignisse, tieffrequente Geräusche und Verkehrsgeräusche wurden besondere Regelungen getroffen. Auch der Einfluss meteorologischer Gegebenheiten auf die Schallausbreitung am Standort der Anlage wurde berücksichtigt.

Da die hohe Siedlungsdichte in Deutschland zum Teil geringe Abstände zwischen Industrieanlagen und Wohngebieten erfordert, ist es oft nicht einfach, die Immissionsrichtlinie einzuhalten. Zudem arbeiten etliche, vor allem größere, Anlagen rund um die Uhr. Dann müssen die strengeren Nachtimmissionsrichtwerte eingehalten werden. Aus diesen Gründen bewegt sich der Stand der Lärmbekämpfungstechnik bei stationären Anlagen in Gewerbe und Industrie im allgemeinen auf hohem Niveau.

Auch der innovative Wandel in der technischen Arbeitswelt sowie teilweise das bewusste Bemühen von Industrie und Gewerbe treiben den Stand der Schallschutztechnik voran (vgl. auch Kapitel Umweltökonomie). Der Stand der Lärmbekämpfungstechnik ist für eine große Anzahl von Maschinentypen und Anlagen mittlerweile detailliert beschrieben.

Lärm in den Bereichen Wohnen und Freizeit

Etwa 36 % der Bevölkerung in Baden-Württemberg fühlen sich durch *Lärm von Nachbarn* im Wohnbereich belästigt, etwas mehr als 4 % stark oder äußerst stark. Die Lärmquelle "Nachbar" steht damit in Bezug auf die subjektiv

Einwirkungsbereich	Immissionsrichtwert	
	tags	nachts
1. Immissionsorte außerhalb von Gebäuden:		
in Industriegebieten	70 dB(A)	70 dB(A)
in Gewerbegebieten	65 dB(A)	50 dB(A)
in Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten	60 dB(A)	45 dB(A)
in allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten	55 dB(A)	40 dB(A)
in Kurgebieten, für Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45 dB(A)	35 dB(A)
einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen: maximal zulässige Überschreitung des Immissionsrichtwertes	30 dB(A)	20 dB(A)
2. Immissionsorte innerhalb von Gebäuden:		
betriebsfremde schutzbedürftige Räume nach DIN 4109 unabhängig von der Lage des Gebäudes in einem der unter 1. genannten Gebäude	35 dB(A)	25 dB(A)
einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen: maximal zulässige Überschreitung des Immissionsrichtwertes	10 dB(A)	10 dB(A)

Tab. 5 Immissionsrichtwerte in der Umgebung von stationären Anlagen nach TA Lärm

Lärm in den Bereichen Wohnen und Freizeit, Lärminderungsplanung

empfundene Belästigung an dritter Stelle (Abb. 1).

Die seit 1990 auch in Baden-Württemberg gültige DIN 4109 "Schallschutz im Hochbau" stellt Mindestanforderungen an Bauelemente und Bauausführungen, um vor unzumutbaren Belästigungen durch Schallübertragungen zu schützen. Diese Standardanforderungen sind aus der Sicht des Schallschutzes jedoch meist unbefriedigend. Die Vorschläge für erhöhten Schallschutz im Beiblatt 2 der DIN 4109 ergeben mit einer angehobenen Luftschalldämmung von 1 bis 10 dB(A) in einigen Fällen kaum spürbare Verbesserungen. Eine Möglichkeit, den gewünschten Schallschutz bei *Neubauten* zu ermitteln und vertraglich klar zu regeln, bietet die VDI-Richtlinie 4100 "Schallschutz von Wohnungen - Kriterien für Planung und Beurteilung". Die endgültige Fassung der VDI 4100 ist im September 1994 erschienen.

Infolge von immer mehr Freizeit verursachen immer mehr Menschen Lärm in Zeiten, in denen andere Ruhe zur Erholung suchen. Beim *Sportlärm* führte die Diskussion zu einer Sensibilisierung. Mit Beginn der 90er Jahre ist der Belästigungsgrad durch Sportlärm - wohl durch verstärkte gegenseitige Rücksichtnahme - rückläufig; in Baden-Württemberg betrug 1999 der Anteil der Belästigten etwa 9 %, knapp 1 % fühlte sich stark oder äußerst belästigt.

Lärminderungsplanung

Nach § 47a Bundes-Immissionsschutzgesetz sind die Gemeinden verpflichtet, einen *Lärminderungsplan* zu erstellen, "wenn in Wohngebieten und anderen schutzwürdigen Gebieten nicht nur vorübergehend schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche hervorgehoben werden oder zu erwarten sind und die Beseitigung oder Verminderung ein abgestimmtes Vorgehen gegen verschiedenartige Geräuschquellen erfordert". Der Lärminderungsplan ist somit ein Maßnahmenkatalog. Erster Schritt zum

Lärminderungsplan ist die Feststellung der Lärmsituation unter Berücksichtigung der (Haupt-)Lärmquellen Straßenverkehr, Schienenverkehr, Gewerbe- und Freizeitanlagen. Dazu stellt man die Lärmbelastung, die sich durch einzelne oder das Zusammenwirken mehrerer Lärmquellen ergibt, in sogenannten Schallimmissionsplänen flächendeckend farblich dar. Ziel ist es, Problembereiche aufzuzeigen, für die im Rahmen eines Lärminderungsplans sinnvolle Schutzmaßnahmen zu erarbeiten sind.

Den Lärm sichtbar machen

Schallimmissionspläne werden mit Computerprogrammen berechnet. Für jede Schallquelle müssen die Lage und die Stärke der Schallabstrahlung bekannt sein. Bei Straßen und Schienenwegen sind dazu Art und Zusammensetzung der verkehrenden Fahrzeuge sowie deren Geschwindigkeiten zu erfassen. Bei Gewerbe- und Freizeitanlagen kann man entweder auf bereits ermittelte Lärmdaten vergleichbarer Anlagen zurückgreifen, oder es müssen Messungen stattfinden.

Das zu erfassende Gebiet wird sodann mit einem Gitter überzogen, und für jeden Gitterpunkt wird der einwirkende mittlere Schallpegel berechnet. Dabei berücksichtigt das Rechenmodell alle wesentlichen Einflussfaktoren der Schallausbreitung: die Abnahme der Lautstärke mit zunehmender Entfernung von der Schallquelle, die abschirmende Wirkung von Lärmschutzwänden und Häusern sowie auch den Einfluss von Geländeerhebungen und dicht bewachsenen Flächen. Anschließend werden die Rechenergebnisse in Klassen von jeweils 5 dB(A) Breite sortiert, und jede Pegelklasse erhält eine bestimmte Farbe zugeordnet. So ergeben sich Bilder der Lärmbelastung mit einer farbigen Abstufung in 5-dB(A)-Schritten.

Die Schallimmissionspläne werden für jede Lärmquelle getrennt jeweils für die Zeiträume Tag (6 bis 22 Uhr) und Nacht (22 bis 6 Uhr) berechnet. So lässt sich feststellen, welche Lärmquelle in

welchem Zeitraum am meisten zur Belastung in einem Gebiet beiträgt. Zum Schutz der Bevölkerung hat der Gesetzgeber Grenz- und Richtwerte für die Lärmbelastung festgesetzt, die je nach Art der Lärmquelle unterschiedlich hoch sind. Auch die Art, wie ein Gebiet genutzt wird, bestimmt die Höhe dieser Immissionswerte. So sind die Immissionswerte z.B. für Flächen, die hauptsächlich dem Wohnen dienen, niedriger als für gewerblich genutzte Bereiche. Durch den Vergleich der berechneten Schallpegel mit der Immissionsempfindlichkeit, also den geltenden Grenz- bzw. Richtwerten, lassen sich übermäßig belastete Bereiche schnell erkennen.

Mit den Darstellungen lassen sich die Auswirkungen großräumig geplanter Vorhaben (z. B. Umgehungsstraßen, neue Gewerbeflächen) ebenso überprüfen wie Lärmschutzmaßnahmen im Einzelfall (z. B. Tempobegrenzungen, leise Straßenbeläge, Lärmschutzwände). Deshalb sind Schallimmissionspläne für die städtebauliche Planung ein nützliches Hilfsmittel.

Exemplarische Ergebnisse für Esslingen am Neckar

Die Lärmsituation in Esslingen am Neckar ist durch den Verkehrslärm geprägt. Hauptlärmquellen sind die Bundesstraße B 10 und die Eisenbahnlinien Stuttgart-Plochingen, aber auch Landesstraßen als Verbindungswege zwischen den Gemeinden tragen zu Lärmbelastung bei. Ungünstig wirkt sich die Tallage der Stadt aus. Vor allem Gebiete an den Talhängen sind dadurch oft erhöhter Schallbestrahlung ausgesetzt.

Insgesamt wurden Schallimmissionspläne für die Lärmquellen Straßenverkehr, Schienenverkehr, Gewerbe- und Freizeitanlagen jeweils für den Zeitraum Tag und Nacht berechnet. Abb. 21 stellt die Lärmbelastung durch den Straßenverkehr für den Tag dar, Abb. 22 den Vergleich mit den Grenzwerten. In den roten Bereichen ist dieser Wert überschritten, in den

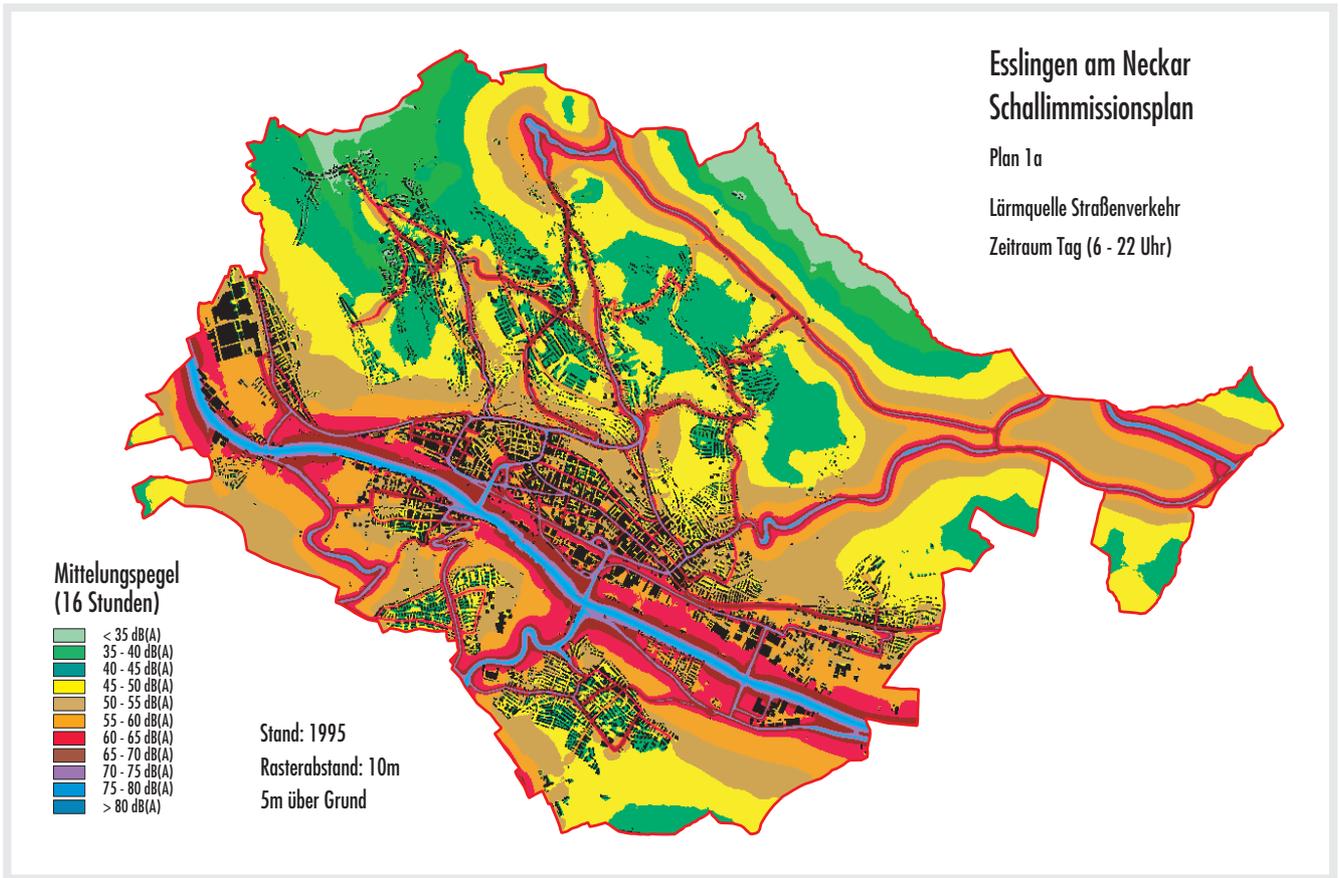


Abb. 21 Lärmbelastung durch den Straßenverkehr (Quelle: LfU)

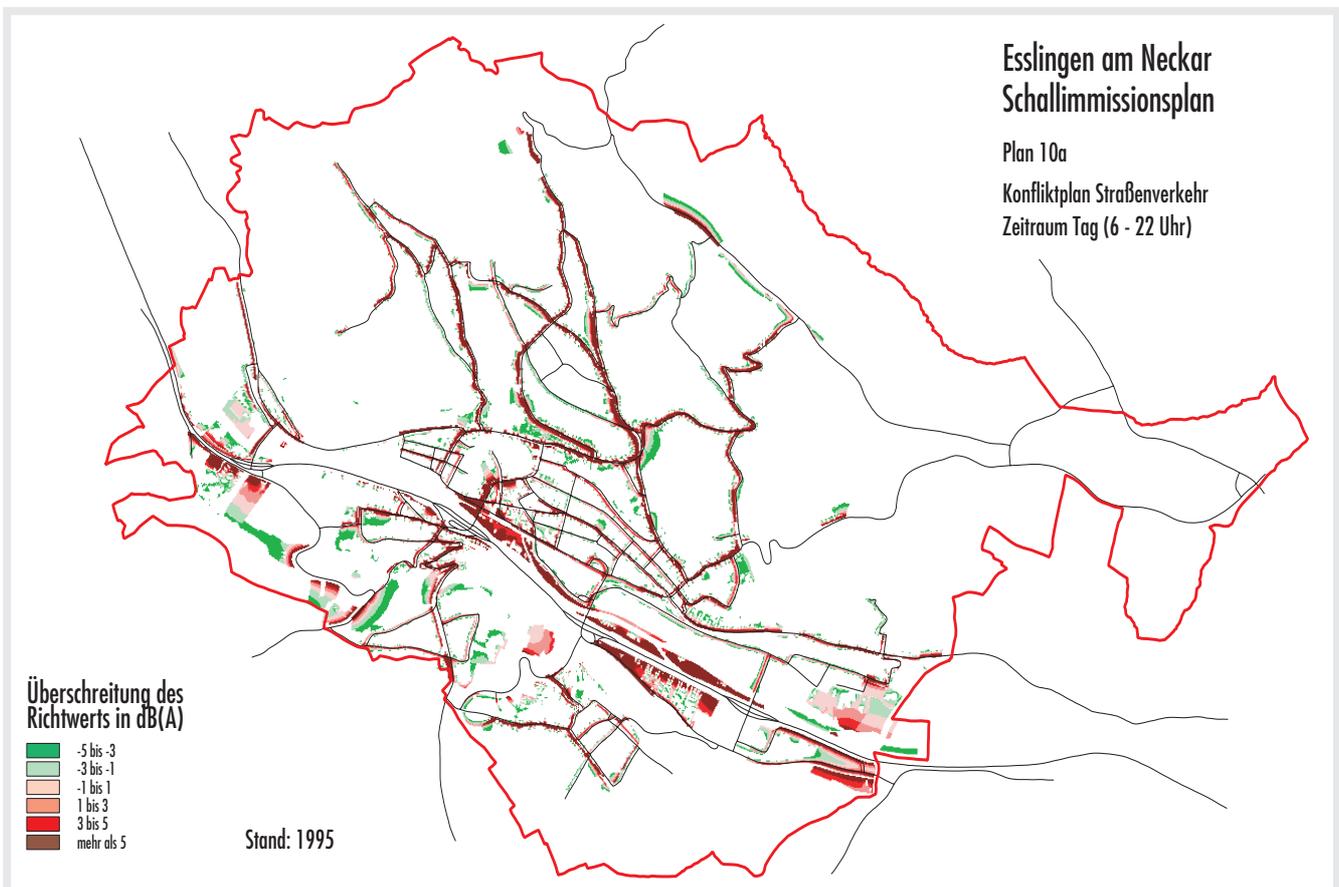


Abb. 22 Vergleich mit den Grenzwerten (Quelle: LfU)

grünen Gebieten knapp unterschritten. Hier kann es bei zusätzlicher Einwirkung anderer Lärmarten zu Lärmbelästigungen kommen, obwohl die quellenspezifischen Grenzwerte eingehalten sind. Bei der Bewertung der Ergebnisse und der Ableitung von Lärminderungsmaßnahmen sind die gesetzlichen Grundlagen zu beachten. So gelten z. B. die Grenzwerte für den Straßenverkehr nur beim Neubau und bei wesentlicher Änderung von Straßen. Für bestehende Straßen gibt es dagegen noch keinen verbindlichen Grenzwert. Um jedoch mögliche Konflikte zu erkennen, ist ein Vergleich der vorhandenen Belastung mit diesen Werten - unabhängig vom rechtlichen Hintergrund - sinnvoll.

Bisher wurden für Biberach an der Riss, Esslingen am Neckar, Heidelberg, Karlsruhe (Stadtteil Durlach), Kehl, Ostfildern, ein Teilgebiet von Remchingen, Schwetzingen, die Landeshauptstadt Stuttgart (Stadtteil Vaihingen) und Unterensingen Schallimmissionspläne fertiggestellt. In Stuttgart und Heidelberg werden darauf aufbauend Lärminderungspläne erarbeitet.

Anhang

Quellen- und Literaturhinweise

Sozialwissenschaftliche Erhebung zur Lärmbelastung der Bevölkerung in Baden-Württemberg. Forschungsprojekt, Oktober 1999. Auftraggeber: Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) Baden-Württemberg, Karlsruhe

Lärmbekämpfung - Ruheschutz. Analysen, Tendenzen, Projekte in Baden-Württemberg. Broschüre in der Reihe LfU-Berichte, 1995. Hrsg.: Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) Baden-Württemberg, Karlsruhe

Lärm und seine dauerhafte Minderung durch kommunale Planung. Planungsleitfaden für Städte und Gemeinden in Baden-Württemberg, 2000. Hrsg.: Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) Baden-Württemberg, Karlsruhe

Lärm auf Baustellen. Faltblatt, Oktober 1995. Hrsg.: Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart

LÄRM - Was können wir dagegen tun? Broschüre, Oktober 1993. Hrsg.: Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart

Zeitschrift für Lärmbekämpfung. Hrsg.: Deutscher Arbeitsring für Lärmbekämpfung e.V., Düsseldorf

Informationsmöglichkeiten

E-mail Lfu33@lfuka.lfu.bwl.de

Internet:

<http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de>

Einführung

Der Wald ist eines der wertvollsten großflächigen Landökosysteme in Europa. Er entfaltet vielfältige Schutz- und Erholungswirkungen und ist Lebensraum für sehr viele wildlebende Pflanzen- und Tierarten. Zugleich liefert er den nachwachsenden und umweltfreundlichen Rohstoff Holz und ist Einkommensquelle und Arbeitsplatz.

Dementsprechend regelt das baden-württembergische Waldgesetz, dass der Wald mit der umfassenden Zielsetzung, auch zukünftigen Generationen seine vielfältigen Wirkungen und Leistungen zu gewährleisten, behandelt werden muss. Dieser umfassende Ansatz wird in der internationalen Diskussion mit "sustainable development" umschrieben.

Die europäischen Forstminister haben 1993 in Helsinki den forstlichen Nachhaltigkeitsbegriff so definiert:

Pflege und Nutzung von Wäldern auf eine Weise, die ihre biologische Vielfalt, Produktivität, Verjüngungsfähigkeit und Vitalität erhält und ihr Potential bewahrt, heute und in Zukunft die ökologischen, ökonomischen und sozialen Funktionen auf lokaler, nationaler und globaler Ebene zu erfüllen, ohne andere Ökosysteme zu beeinträchtigen.

Wieviel Wald gibt es in Baden-Württemberg?

Am 1.1.1999 wies Baden-Württemberg eine Waldfläche von 1.380.733 ha auf, das sind rund 38 % der Fläche des Landes. Baden-Württemberg zählt damit zusammen mit Hessen und Rheinland-Pfalz zu den walddreichsten Bundesländern (Abb. 1).

Der Wald verteilt sich jedoch nicht gleichmäßig über die Landesfläche. Sehr walddreichen Landschaften, wie dem Schwarzwald, Odenwald oder Schwäbisch-Fränkischen Wald, stehen walddarme oder zum Teil sogar waldfreie Gebiete vor allem in den Ballungsräumen Stutt-

WALD

Einführung	K – 1
Waldstruktur	K – 1
Waldflächenentwicklung	K – 2
Forstwirtschaft	K – 2
Nachwachsender Rohstoff Holz	K – 5
Wald im CO ₂ -Haushalt	K – 7
Wald mit besonderen Funktionen	K – 8
Waldschäden	K – 11
Zertifizierung	K – 15
Anhang	K – 15

gart, Karlsruhe, Mannheim - Ludwigshafen, Heidelberg oder in der Rheinebene gegenüber. Die Erhaltung des Waldes mit seinen vielfältigen Wohlfahrtsfunktionen ist gerade in diesen stark umweltbelasteten Räumen eine vordringliche Aufgabe.

Wem gehört der Wald?

Baden-Württemberg ist ein Land des Körperschafts- und Privatwaldes. So nehmen der Körperschaftswald 531.502 ha (38,5 %), der Privatwald 513.243 ha (37,2 %) und der Staatswald 327.708 ha (23,8 %

der Gesamtwaldfläche) ein. Wald im Eigentum des Bundes ist mit 8.280 ha (0,6 %) vertreten (Abb. 2).

Waldstruktur

Baden-Württembergs Wälder sind durch die geologische und klimatische Vielfalt sowie die Kulturgeschichte des Landes geprägt. Im rauen Schwarzwald gedeihen vor allem Nadelbäume, während z.B. das Oberrheinische Tiefland und das Neckarland durch Laubwälder gekennzeichnet

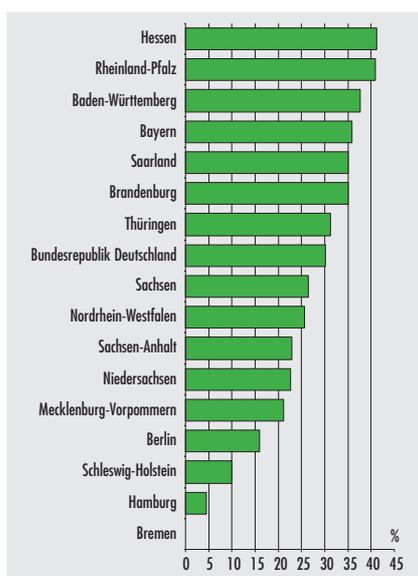


Abb. 1 Bewaldungsprozente der einzelnen Bundesländer (Quelle: MLR/Landesforstverwaltung 1998)

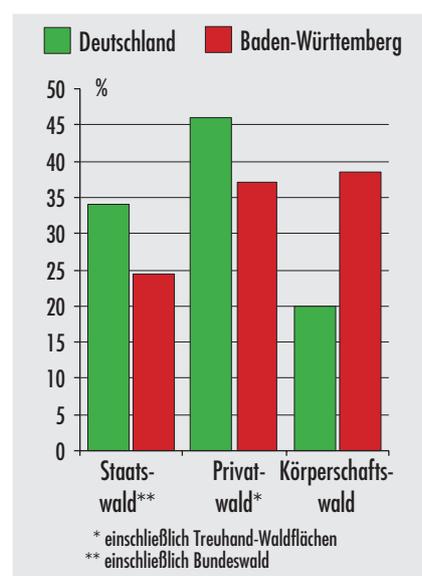


Abb. 2 Waldbesitzartenverteilung in Baden-Württemberg im Vergleich zu Deutschland (alte und neue Bundesländer) (Quelle: MLR/Landesforstverwaltung 1998)

sind. Langfristig sind im öffentlichen Wald aufgrund standortkundlicher und waldbaulicher Erkenntnisse, die mit dem Konzept "Naturnahe Waldwirtschaft" umgesetzt werden sollen, gleiche Anteile von Laub- und Nadelbäumen vorgesehen.

Die Forsteinrichtungsstatistik für den Zeitraum von 1988 bis 1997 weist für die Baumartenzusammensetzung im öffentlichen Wald ein Verhältnis von Nadelbäumen zu Laubbäumen von rund 60:40 aus. Ein Ziel der Waldbewirtschaftung ist es somit, langfristig den Anteil der Nadelbäume - insbesondere der Fichte - zugunsten der Laubbäume zu senken.

Die letzte umfassende Erhebung der Waldstruktur für den Gesamtwald (öffentlicher Wald + Privatwald) fand in Baden-Württemberg im Rahmen der Bundeswaldinventur I von 1987 statt. Die Folgeinventur (Bundeswaldinventur II) im Jahr 2002 soll erstmals abgesicherte Angaben zum Zuwachs enthalten. In der Bundeswaldinventur werden auch Erhebungen zur "Naturnähe" der Wälder durchgeführt (Abb. 3).

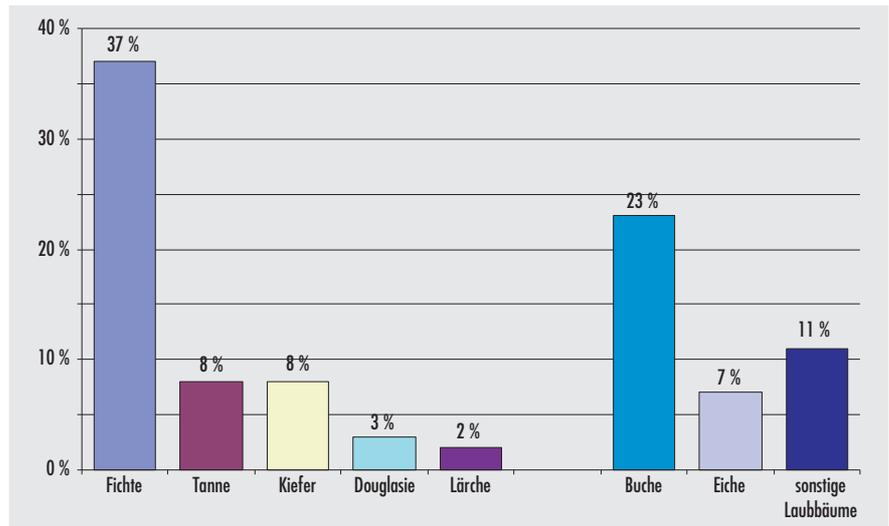


Abb. 3 Prozentuale Flächenanteile der einzelnen Baumarten am gesamten Wald Baden-Württembergs (Quelle: MLR/Landesforstverwaltung 1998)

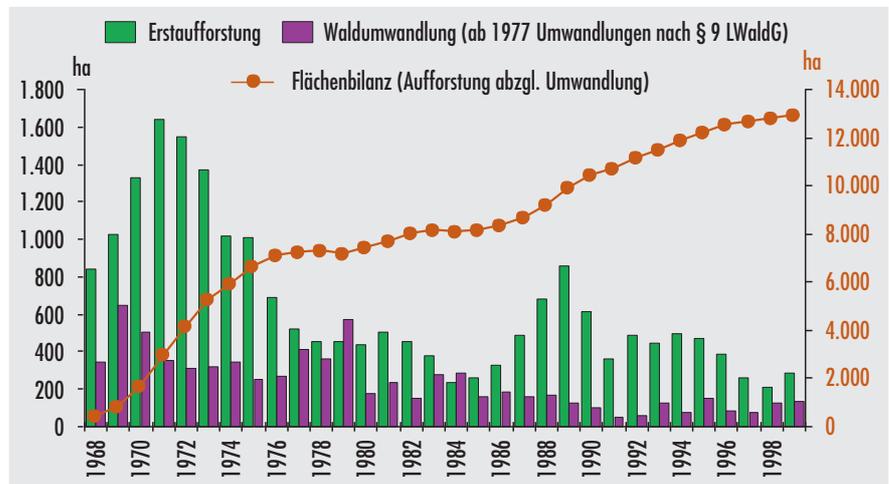


Abb. 4 Entwicklung der Waldfläche in Baden-Württemberg: Erstaufforstungen und Waldumwandlungen (Quelle: MLR/Landesforstverwaltung 1998)

Waldflächenentwicklung

In den vergangenen 20 Jahren wurden in Baden-Württemberg rund 9.000 ha bisher anderweitig genutzter Flächen neu aufgeforstet. Die Aufforstungsflächen liegen weitaus überwiegend im ländlichen Raum. Diesen Waldflächenzugängen standen durch Umwandlung von Wald in eine andere Nutzungsart (z.B. Bebauung) Verluste in einer Größenordnung von rund 3.000 ha gegenüber, wobei die Verdichtungsräume überdurchschnittlich stark betroffen sind. Abb. 4 zeigt die Erstaufforstungen und Waldumwandlungen im Zeitraum von 1968 bis 1998.

Forstwirtschaft

Das Landeswaldgesetz (LWaldG) Baden-Württemberg verpflichtet zur nachhaltigen, pfleglichen, planmäßigen und

sachkundigen Bewirtschaftung des Waldes nach anerkannten forstlichen Grundsätzen. Dabei sind Belange der Umweltvorsorge zu berücksichtigen. Hierzu gehören u.a. die Erhaltung und Pflege der Umwelt, des Naturhaushaltes und der Naturgüter ebenso wie die Berücksichtigung der Vielfalt und natürlichen Eigenart der Landschaft.

Normalerweise findet alle zehn Jahre im öffentlichen Wald eine Inventur statt. Mit dieser Inventur ("Forsteinrichtung") werden die Wirtschaftsführung und die erbrachten Leistungen seit der vorigen Inventur überprüft und auf der Basis dieser Zustandserfassung die Maßnahmen der nächsten 10 Jahre festgelegt. Die Forsteinrichtung sorgt dafür, dass im

öffentlichen Wald das "Konzept Naturnahe Waldwirtschaft" Wirklichkeit wird.

Naturnahe Waldwirtschaft

Im Staats- und Körperschaftswald verfolgt das Land seit den 80er Jahren das "Konzept Naturnahe Waldwirtschaft", das aus den in Baden-Württemberg historisch gewachsenen Formen der Waldwirtschaft entwickelt wurde. Der Wald soll auf der gesamten Fläche seine Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion erfüllen. Das Konzept Naturnahe Waldwirtschaft setzt darauf, natürliche Abläufe und Selbststeuerungsmechanismen möglichst weitgehend auszunutzen. Es strebt den harmonischen Ausgleich unterschiedlicher Ansprüche auf der gesamten Waldfläche an und umfasst umfangrei-

che Maßnahmen zum Aufbau naturnaher Wälder. Maßnahmen in Waldökosystemen beschränken sich auf steuernde Eingriffe. Beratung, Betreuung und finanzielle Förderung werden durch die Organisationsform des "Einheitsforstamtes" rationell geleistet. Dieses Konzept kann auch im Privatwald umgesetzt werden.

Waldwirtschaft auf standörtlicher Grundlage

Naturnahe Waldwirtschaft verlangt zwingend, die Baumartenwahl und Pflegekonzepte an den naturräumlichen Gegebenheiten auszurichten. Denn Klima, Nährstoffversorgung und Wasserversorgung sind wichtige Faktoren, die bestimmen, welche Baumarten wo wachsen. Man nennt sie Standortfaktoren. Die forstliche Standortkartierung erhebt diese Faktoren. Dabei wählt sie zwei Betrachtungsebenen:

1. Betrachtungsebene Regionale Gliederung: Der erste Gliederungsschritt teilt das Land im wesentlichen nach der Geologie und dem Relief in die Großlandschaften der sieben Wuchsgebiete auf: Oberrheinisches Tiefland, Schwarzwald, Odenwald, Baar-Wutach, Neckarland, Schwäbische Alb und Südwestdeutsches Alpenvorland. Vorwiegend klimatische Kriterien bestimmen die weitere Untergliederung in Einzelwuchsbezirke (EWB) bzw. Wuchsbezirksgruppen (Wbgr) (Abb. 5).

Die regionale natürliche Baumartenzusammensetzung für die Wuchsbezirke und Wuchsbezirksgruppen einer Landschaft wird über pollenanalytische, vegetationskundliche und historische Untersuchungen hergeleitet. Sie wird Regionalwald genannt. Der Regionalwald stellt die in den Wuchsbezirken (oder Wbgr oder EWB) vermutete frühere natürliche Vegetation dar, wie sie lange vor Einflussnahme durch den Menschen aussah.

In Landschaften mit Mittelgebirgscharakter ist häufig das regionale Klima so uneinheitlich, dass eine vertikal-zonale

Konzept Naturnahe Waldwirtschaft

Stabilität

Ökologische und physikalische Stabilität der Wälder sind die Grundvoraussetzung für eine nachhaltige Funktionenerfüllung (Bodenschutz-, Wasserschutz-, Erosionsschutz-, Sichtschutz-, Artenschutz-, Erholungsfunktion und Bereitstellung eines ökologisch hervorragenden Rohstoffes u.v.m.).

Naturnähe der Baumarten

Die natürlichen Regionalwaldgesellschaften sollen sich auch in den Wirtschaftswäldern widerspiegeln. Dadurch werden die im Zuge der Evolution an die heimischen Baumarten angepassten Tier- und Pflanzenarten nachhaltig gesichert. Mischungsbaumarten, die sich in das vorhandene Vegetationsmuster verträglich einfügen und sich durch positive Holzeigenschaften auszeichnen, können einzeln oder in Gruppen beigemischt werden.

Mischung und Stufigkeit

Grundsätzlich werden naturnahe Mischbestände angestrebt. Aufgrund der höheren Stabilität bringen gemischte Wälder ökonomische Vorteile mit sich und schützen Boden und Grundwasser. Gleichzeitig trägt jede weitere Baumart mit den an sie gebundenen Spezialisten zur Vergrößerung der Artenvielfalt bei.

Nachwuchs im Wald (Waldverjüngung)

Das Potential der Wälder zur natürlichen Verjüngung wird konsequent ausgenutzt. Zu Kahlschlägen kommt es nur in begründeten Ausnahmefällen. Verfahren zur langfristigen natürlichen Waldverjüngung gewährleisten einen hohen Anteil strukturreicher, wertvoller Altbestände. Sie sichern in der Regel günstige wirtschaftliche Ergebnisse und stehen im Einklang mit der Bereitstellung wertvollen Starkholzes in langen Produktionszeiträumen. Bei der Holzernte werden einzelne Bäume oder Baumgruppen entnommen; zu großflächigen Kahlschlägen kommt es nicht. Dies ahmt das in mitteleuropäischen Urwäldern vermutete einzelweiser Ausfallen der Bäume nach und ist wichtig für den Boden- und Grundwasserschutz. Außerdem bleibt das Waldinnenklima durch diese Vorgehensweise erhalten. Durch die entstehenden Lücken fällt Licht auf den Boden, in dem sich Wald natürlich verjüngt.

Pflege der Wälder

Pflegemaßnahmen fördern die Stabilität des Bestandes (Bestandesstabilität), sichern die Mischung und Stufigkeit und beeinflussen entscheidend die Entwicklung qualitativ hochwertiger Bäume, aus denen dann hochwertige Holzprodukte gefertigt werden können. Die Maßnahmen sind in natürliche Abläufe eingebettet; sie arbeiten ihnen nicht entgegen. Das bedeutet: Beschränkung der Pflege der jungen Bestände auf gelegentliche, steuernde Maßnahmen; Schwerpunktsetzung auf zielgerichtete Förderung der gesunden, zukunftsreichen, qualitativ hochwertigen Bäume (Kriterien Vitalität, Qualität, Abstand).

Wald- und wildgerechte Jagd

Angepasste Wildbestände sind für einen naturnahen Waldbau unabdingbar. Effiziente und wildgerechte Bejagung verhindert waldbaulich nicht tragbare Wildschäden.

Integrierter Waldschutz

Gegen Forstschädlinge geht die Forstverwaltung nach den traditionellen Grundsätzen des integrierten Waldschutzes vor. Waldbauliche, biologische, biotechnische und mechanische Verfahren haben eindeutig Vorrang. Von Pflanzenschutzmitteln wird nur das nötige Mindestmaß eingesetzt.

Pflegliche Waldarbeit

Schäden am Waldboden und an Waldbäumen werden durch geeignete Erntetechniken soweit wie möglich vermieden. Ein wichtiges Prinzip ist der Einsatz bodenschonender Maschinen und eine darauf abgestimmte Feinerschließung der Bestände. Es findet kein flächiges Befahren des Waldbodens statt, sondern die eingesetzten Maschinen bewegen sich auf sogenannten Feinerschließungslinien und Wegen. Ein dauerhaftes Feinerschließungsnetz ist Voraussetzung für waldschonende Holzernte in einem naturnahen Wald.

Aspekte von Naturschutz und Landschaftspflege

Die Waldpflegemaßnahmen berücksichtigen die Empfindlichkeit des Naturhaushalts und des Landschaftsbildes gegenüber Veränderungen. Das Konzept Naturnahe Waldwirtschaft dient daher dem Naturschutz auf der ganzen Waldfläche. Überdies tragen die Pflege besonderer Waldbiotope und die Ausweisung von Schutzgebieten über das Waldschutzgebietsprogramm sowie Waldinnen- und -außenrandgestaltung und Anreicherung von Totholz den Anforderungen des Naturschutzes Rechnung.

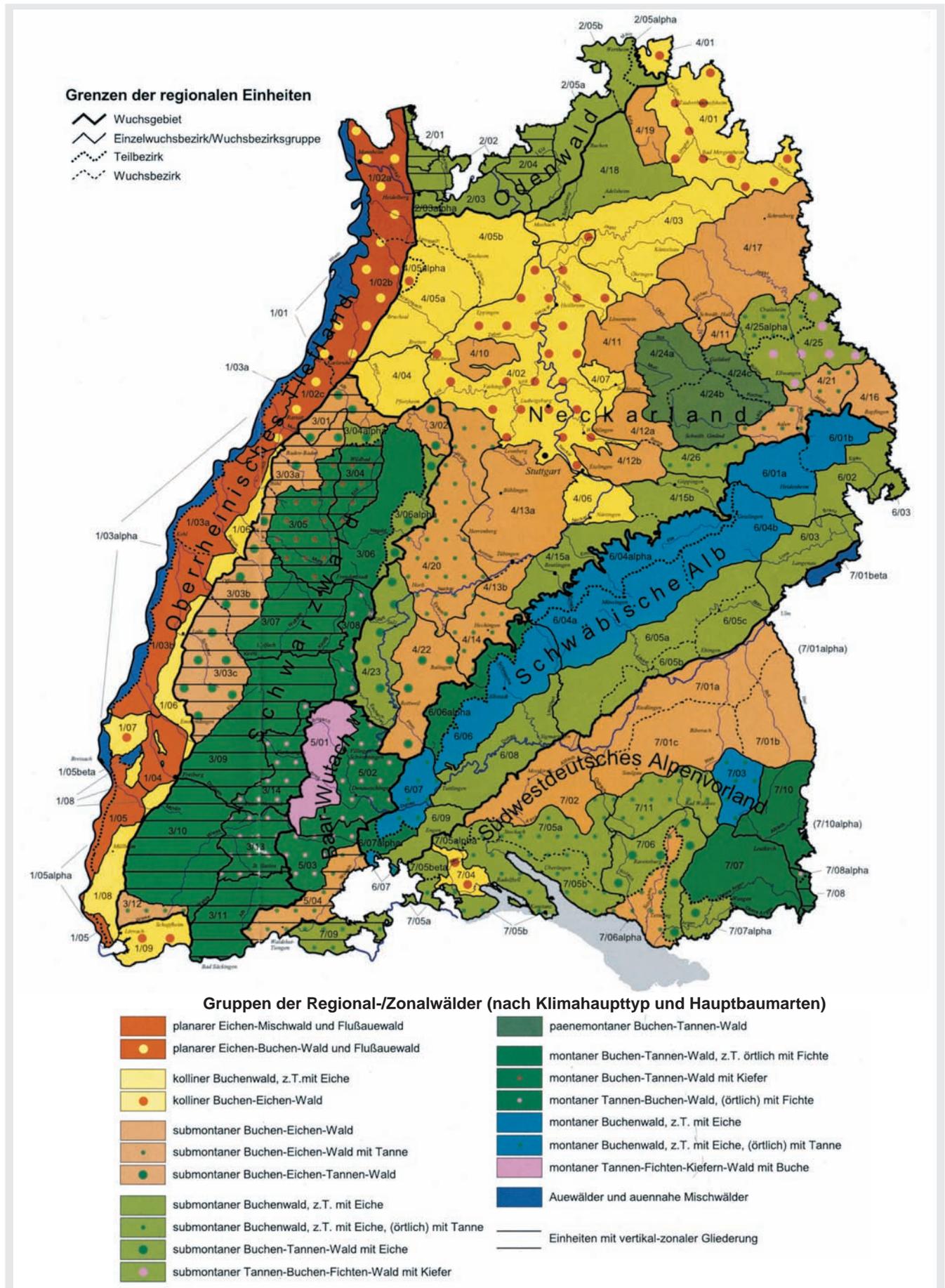


Abb. 5 Forstliche Standortskartierung - Regionale Gliederung von Baden-Württemberg (Quelle: MLR/Landesforstverwaltung 1997)

Klimadifferenzierung in mehrere Höhenstufen erforderlich ist. Analog zu den Regionalwäldern werden Zonalwälder zur Charakterisierung der Höhenstufen ausgewiesen.

Beispiele für Regional- bzw. Zonalwälder in Baden-Württemberg sind:

- Planarer Stieleichen-Mischwald und Auenwälder in der Wbgr Rheinebene zwischen Rastatt und Kehl
- Atlantisch-kolliner Laubmischwald im EWB Hotzenwald
- Submontaner Buchen-Eichen-Wald in der Wbgr Odenwald zwischen Neckar und Main
- Montaner Buchen-Tannen-Wald im EWB Westallgäuer Hügelland
- Hochmontaner Bergmischwald mit Buche, Bergahorn, Tanne und wenig Fichte im EWB Südschwarzwald.

2. Betrachtungsebene Lokale Situation

Die naturräumlichen Standortfakten wurden von der Forstverwaltung im Gelände erhoben. Die Kartierung berücksichtigt dabei eine Fülle ökologischer Kriterien, unter anderem

- Bodenart und Bodenzusammensetzung, Nährstoffversorgung
- Humusform
- Kleinklima, Wasserversorgung
- vegetationskundliche Gesichtspunkte der Kraut- und Grasvegetation
- walddeschichtliche Gesichtspunkte.

Anhand dieser Kriterien weisen die Standortkartierer im Gelände die sogenannten Standortseinheiten aus und stellen sie auf einer Standortkarte dar. Innerhalb einer Standortseinheit sind die Wuchsbedingungen für die Bäume einheitlich. Jedes Forstamt bekommt Erläuterungen zur Standortkarte. Hierin werden die ökologische Eignung, Stabilität und Wuchsleistung der Baumarten für die jeweilige Standortseinheit beurteilt. Analog zu den Regionalwäldern der regionalen Ebene werden lokal für die einzelnen Standortseinheiten Standortwälder ausgewiesen. Sie geben die lokale natürliche Baumartenzusammensetzung

an, wie sie sich an diesem Ort ohne menschliche Einflussnahme langfristig einstellen würde.

Ziel der Landesforstverwaltung ist es, diese Baumarten auch an den heutigen Wirtschaftswäldern angemessen zu beteiligen. Mit der flächendeckenden Kartierung im öffentlichen Wald verfügt die Landesforstverwaltung über ein detailliertes, bei seinem Umfang einzigartiges Kartenwerk der natürlichen Standortfaktoren.

Auf der Grundlage der Standortkartierung und waldwachstumskundlicher Erkenntnisse wurden sogenannte Waldentwicklungstypen geschaffen, die der Forsteinrichtungsplanung (siehe vorne) zugrundeliegen.

Waldentwicklungstypen

Die praktische Umsetzung naturnaher Waldwirtschaft orientiert sich im öffentlichen Wald außerhalb besonderer Schutz-zonen (siehe Kapitel "Wald mit besonderen Funktionen") an umfassenden Waldbehandlungskonzepten - den Waldentwicklungstypen. Im Waldentwicklungstyp werden der Zyklus von der Verjüngung von Wäldern über verschiedene Wachstumsphasen hin zum Altbestand bis zur erneuten Verjüngung betrachtet. Für die jeweiligen Entwicklungsphasen sind erforderliche waldbauliche Maßnahmen beschrieben, die zum gewünschten Ziel führen. Je nach Ausgangssituation kann es Ziel sein, die vorhandene Baumartenmischung zu erhalten, aber auch, einen Baumartenwechsel herbeizuführen. Für letzteres ist der Waldentwicklungstyp "labile Fichte ZIEL Buchen-

1. Buchen-Laubbaum-Mischwald
2. Buchen-Nadelbaum-Mischwald
3. Stieleichen-Mischwald
4. Traubeneichen-Mischwald
5. Eiche ZIEL Buchen-Mischwald
6. Buntlaubbaum-Mischwald
7. Pappel-Mischwald
8. Fichten-Mischwald
9. labile Fichte ZIEL Buchen-Mischwald
10. labile Fichten ZIEL Stieleichen-Mischwald
11. labile Fichten ZIEL Tannen-Mischwald
12. Fichten-Morrand-Mischwald
13. Tannen-Mischwald
14. Douglasien-Mischwald
15. Kiefern-Mischwald
16. Kiefer ZIEL Tannen-Mischwald
17. Kiefer-ZIEL Buchen-Nadelbaum-Mischwald
18. Lärche ZIEL Buchen-Nadelbaum-Mischwald
19. Mischwald extensiv

Tab. 1 Übersicht über die Waldentwicklungstypen (Quelle: Landesforstverwaltung 1999)

Waldentwicklungstyp (WET) LABILE FICHTE ➔ ZIEL BUCHEN-MISCHWALD

Leitbild

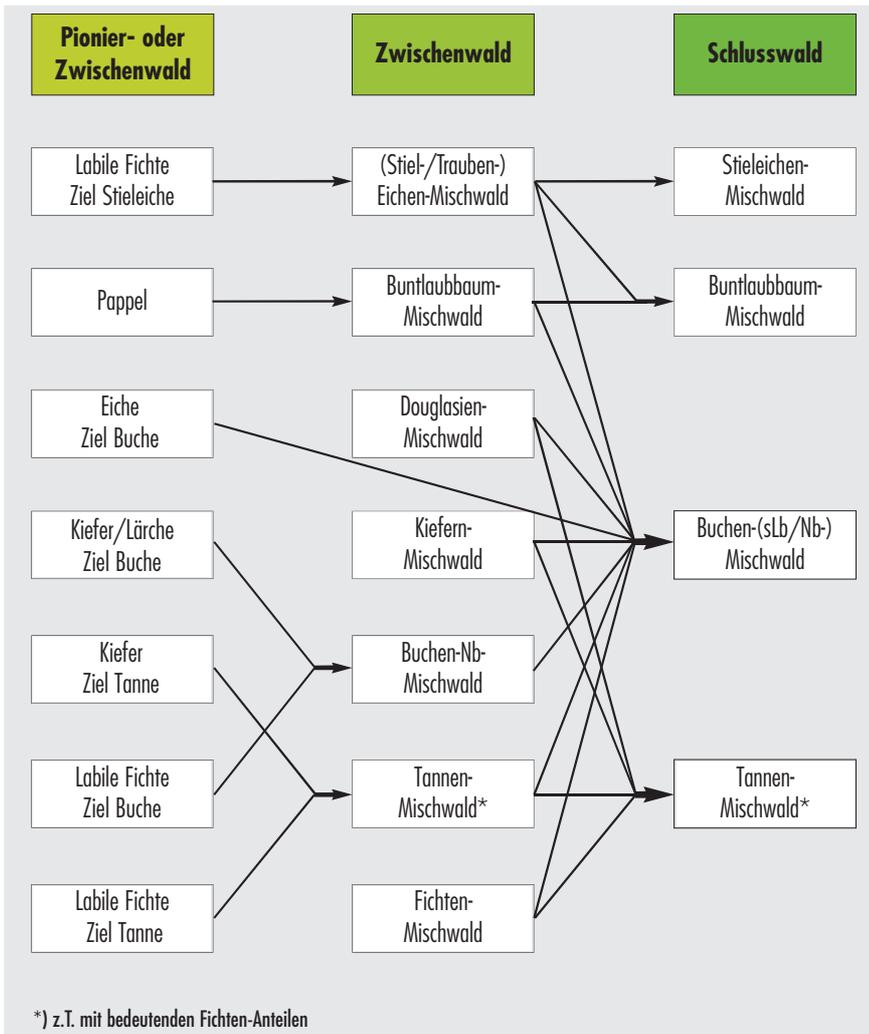
Aus Fichtenbeständen, die aufgrund erhöhter Rottfäulegefahr als labil gelten, oder in Regionen mit für die Fichte klimatisch ungünstigen Verhältnissen entsteht aus Vorbau, Saat oder Naturverjüngung ein Buchen-Nadelbaum-Mischwald.

Ausgangslage	Ziele	Behandlungstypen/Waldbauliche Maßnahmen
<p>Verbreitungsschwerpunkte</p> <p>Schwäbische Alb, Südwestdeutsches Alpenvorland Jungmoräne</p> <p>Waldgeschichte/Waldzustand</p> <p>I.d.R. durch Pflanzung begründete, oft homogen aufgebaute Fichten-Bestände auf ehemals regelmäßig landwirtschaftlich genutzten Böden (z.B. Schafweide).</p> <p>Standortsspektrum</p> <p>Standorte mit freiem Kalk im Oberboden (Rottfäulegefahr) oder in für Fichte klimatisch ungünstigen, warmen und z.T. auch niederschlagsarmen Regionen.</p> <p>Standortswälder/Sukzessionale Stellung</p> <p>Kulturbestimmte, oft reine Fichtenbestände auf Standorten, deren natürliche Bestockung von der Buche bzw. in Teilen des Neckarlandes von der Buche mit der Traubeneiche gebildet wird.</p> <p>Pionierwaldtyp, der sich nach seiner Auflösung zum Buchen-Mischwald der Waldgesellschaften des Hordelymo-, Carici-, Galio- oder Luzulo-Fagetum weiterentwickelt. Je nach Ausgangslage der Bestände schalten sich in die Sukzession verschiedene Zwischenwaldstadien mit erhöhten Anteilen von Lichtbaumarten, Pionierbaumarten und Pioniersträuchern ein.</p> <p>Ökologische Situation/Landschaftspflegerische Bewertung</p> <p>In den Stadien vor Beginn der Auflösungserscheinungen sind diese Bestände i.d.R. sehr artenarm. Wegen ihrer kurzen Lebensdauer können sie Immissions-, Klima- und Bodenschutzfunktionen nur kurzfristig erfüllen. Bei Verlichtung der Bestände nimmt der floristische und faunistische Artenreichtum rasch zu und zeigt oft Elemente der dort vor der Erstaufforstung vorkommenden Freilandgesellschaften.</p>	<p>Langfristiges Waldentwicklungsziel</p> <p>Naturnaher, strukturreicher Buchen-Dauerwald mit Mischungsanteilen von Nadelbäumen (Fichte, Kiefer, Lärche, Douglasie, Tanne u.a.) und sonstigen Laubbäumen insbesondere mit hohen Anteilen sukzessionaler Begleitbaumarten (Esche, Ahorn).</p> <p>– Baumartenanteile: Bu 40-70 sLb 20-40 Nb (Fi, Ta, Dgl) 0-30 (Buche, sonstige Laubbäume, Nadelbäume)</p> <p>– Mischungform: Nadelbäume max. truppweise, Laubbäume bis kleinbestandesweise</p> <p>– Struktur: in der Umbauphase stufiger Bestandesaufbau, ansonsten kleinräumiger Wechsel der Entwicklungsphasen</p> <p>Waldbauliche Fortentwicklung der Ausgangsbestände</p> <p>– Produktion von möglichst starkem Holz, aber rechtzeitige Nutzung der Fichte, bevor eine Entwertung durch fortschreitende Rottfäule den Wertzuwachs durch zunehmende Durchmesser übersteigt.</p> <p>– Erhöhung ökologischer Stabilität und der Baumartenvielfalt, Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, insbesondere durch bessere Bodenbelichtung und -erwärmung, sowie Belebung des Nährstoffkreislaufs.</p>	<p>Jungbestandspflege</p> <p>– Behandlung gemäß Jungbestandspflege-Richtlinien.</p> <p>– bei ho 2 m (bis 5 m) Mischwuchsregulierung zur maximalen Laubbaumanreicherung durch möglichst flächige Ausformung der Laubbaumanteile.</p> <p>Durchforstung</p> <p>– Nach Auswahl von max. 250 Z-Bäumen je Hektar Z-Baumorientierte Hochdurchforstung durch Entnahme von 1-3 Bedrängern je Eingriff.</p> <p>– Durchforstungsturnus 3-10 Jahre mit max. 80 Efm/ha und Eingriff.</p> <p>– Keine Wertastung.</p> <p>– Förderung der Laubbäume.</p> <p>Hauptnutzung</p> <p>Vorratspflege mit fließendem Übergang zur Verjüngung</p> <p>– Aushieb stark rottfäuleverdächtigter Fichten vom starken schlechten Ende her.</p> <p>– Soweit keine Laubbaumnaturverjüngung erwartet wird, räumlich geordnete Einbringung von Buchenvorbau in Gruppen mit je 0,1 ha Größe auf 30-40 % der Fläche oder Buntlaubbaum-Vorssaat.</p> <p>– Auspflanzen von Bestandeslücken mit Buntlaubbbäumen, insbesondere Esche und Bergahorn.</p> <p>– Femelschlagartiges Vorgehen über vorhandenen Verjüngungsvorräten und Schlagpflege.</p> <p>– Wenn in der 1. Folgegeneration ein nochmaliger Fichtenanteil erwünscht ist, kann nach Auszug des Altholzes die unbestockte Fläche mit Fichte ausgepflanzt werden.</p> <p>– Bei rascher Bestandesauflösung und fehlendem Verjüngungsvorrat Räumung und Anbau von Buntlaubbbäumen auf der Freifläche.</p> <p>Saat und Pflanzung</p> <p>– Bergahorn/Esche-Saatgut: 50-70 kg je ha.</p> <p>– Buchen-Saatgut: 100-130 kg je ha.</p> <p>– Buchenvorbau i.d.R. mit Wildlingen oder 2+0 Sämlingen im Pflanzverband 1,0 m x 1,0 m, bei starker Konkurrenzflora mit Verschulpflanzen 1+2 im Verband 2,0 m x 1,0 m.</p> <p>– Buntlaubbbäume 1+1 oder 1+2 im Verband 3 x 1,5 m.</p> <p>– Fichte 2+2, 2+3 nicht enger als 3 m x 2 m oder 4 m x 1,5 m bei max. 1.600 Fi/ha.</p>

Maßnahmen bei Störungen (Sturm, Käfer, flächige Auflösung)

- Übernahme vorhandener Naturverjüngung.
- Bei erwarteter frühzeitiger Auflösung vor Beginn einer Vergrasung Edellaubbaumvorssaat mit Bergahorn bzw. Esche, Buchen-Saat oder gruppenweise Einbringung von Buchen-Vorbau.
- Größere Freiflächen mit Edellaubbbäumen auspflanzen.

Tab. 2 Beispiel Waldentwicklungstyp „Labile Fichte ZIEL Buchen-Mischwald“ (Auszug aus „Richtlinie Landesweite Waldentwicklungstypen“) (Quelle: Landesforstverwaltung Januar 1999)



Tab. 3 Waldentwicklungstypen in Baden-Württemberg: Sukzessionale Stellung und mögliche Wege der spontanen, un gelenkten Sukzession zu Schlusswaldtypen (Quelle: MLR/Landesforstverwaltung 1998)

Mischwald“ ein Beispiel. Dieser Waldentwicklungstyp beschreibt, in welcher Phase was getan werden muss, um einen labilen Fichtenbestand in einen stabilen Buchen-Mischwald zu überführen.

Nachwachsender Rohstoff Holz

Obwohl die Wälder seit Jahrhunderten einer intensiven Nutzung unterliegen, bilden sie die natur nächsten großflächigen Ökosysteme unseres dichtbesiedelten Landes. Dies ist im wesentlichen ein Verdienst der nachhaltigen Waldwirtschaft.

Hoher Holzvorrat und hohe Leistungsfähigkeit des Waldes stellen die nachhaltige Lieferung großer Mengen an umweltfreundlich erzeugtem Holz sicher, das als Rohstoff, Baumaterial und Energieträger vielseitig verwendbar ist.

Nach den Ergebnissen der Bundeswaldinventur beträgt der gesamte Holzvorrat der Wälder in Baden-Württemberg 471 Mio. Vorratsfestmeter (Volumen des Stamm-

und Astholzes über 7 cm Durchmesser; 1 Festmeter = 1 m³).

Baden-Württemberg gehört zusammen mit Bayern zu den holzvorratsreichsten deutschen Ländern.

Wald im CO₂-Haushalt

Die heutigen Prognosen zur Klimaentwicklung gehen von einem engen Zusammenhang zwischen der globalen Erwärmung der Erdatmosphäre (Treibhauseffekt) und dem Anstieg der CO₂-Konzentration in derselben aus. Die Reduktion der vom Menschen verursachten CO₂-Emissionen in die Atmosphäre ist ein wichtiges umweltpolitisches Ziel und seit der Umweltkonferenz in Rio 1992 eine Kernforderung. Die Bundesregierung hat aus dieser allgemeinen Forderung als Handlungsziel eine Verminderung des CO₂-Ausstoßes um 25 % im Zeitraum von 1990 bis 2005 für das Bundesgebiet abgeleitet und wiederholt bekräftigt.

Wieweit kann der Kohlenstoffspeicher Wald einen Beitrag zur CO₂-Verminderung in der Atmosphäre leisten? Wälder können als Kohlenstoffquelle (vermehrte CO₂-Freisetzung) und als Kohlenstoffsenke (es wird mehr CO₂ gebunden als freigesetzt) wirken. Über den Zuwachs hinausgehende Waldrodungen und Ausbeutungen mit anschließender thermischer Nutzung verursachen eine zusätzliche CO₂-Freisetzung in die Atmosphäre, während die Vergrößerung der Waldfläche durch Aufforstungen CO₂-Entzug aus der Atmosphäre bewirkt.

In reifen, vom Menschen unbeeinflussten Waldökosystemen (Urwäldern ohne

Baustoff	Erstellungsenergiebedarf
Holz	100-150 kWh/m ³
Glas	6.000 kWh/m ³
Kunststoffe	8.200-20.000 kWh/m ³
Aluminium	72.000 kWh/m ³

Tab. 4 Erstellungsenergiebedarf verschiedener Baustoffe (Quelle: Informationsdienst Holz, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., 1994)

Brauchen Sie neue Stühle? Kein Problem. Jeder Baden-Württemberger kann jährlich einen massiven Holzwürfel mit 1 m-Kantenlängen aus den Wäldern des Landes verbrauchen, ohne dass der vorhandene Holzvorrat schrumpft. Das reicht locker für sechs neue Stühle aus nachhaltiger Forstwirtschaft. Und wenn man es mit dem Sparbuch auf der Sparkasse vergleicht, hat man dabei allein von den Zinsen des Guthabens gelebt...

Brennstoff	Holz	Heizöl
Brennstoffmenge	1.000 kg	229 kg
Heizwert	11,9 MJ/kg ¹⁾	42,7 MJ/kg
Wirkungsgrad	70 % ²⁾	85 %
Aufbereitung	Holzernte, -transport, Hacken	Förderung, Transport, Raffinerie
Energieaufwand bei der Aufbereitung	0,34 MJ/kg	10,9 MJ/kg
Netto-C-Freisetzung	0 kg aus Holz 18,1 kg aus Aufbereitung	213,6 kg aus Heizöl 65,6 kg aus Aufbereitung
Gesamte Kohlenstoffemission	18,1 kg	279,2 kg
CO ₂ -Gesamtemission	66,4 kg	1.023 kg

¹⁾ In anderer Literatur wird bei trockenem (z.T. absolut trockenem) Holz von einem "Heizwert" von 17,5 MJ/kg ausgegangen.
²⁾ Moderne Heizungsanlagen mit Holz erreichen deutlich höhere Wirkungsgrade.

Tab. 5 Vergleich der Kohlenstoffemission bei der Heizung mit Holz und mit Heizöl (1 t bzw. 229 kg Heizöl) (Quelle: Informationsdienst Holz, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., 1994)

Nutzung) halten sich CO₂-Bindung und CO₂-Freisetzung die Waage, da bei den Zersetzungsprozessen der Biomasse wieder eine Menge an CO₂ frei wird, die zuvor im Wachstumsprozess gebunden worden ist.

Beim Einsatz und bei der Verwendung des nachwachsenden Rohstoffes Holz aus nachhaltiger forstwirtschaftlicher Nutzung ist die CO₂-Bilanz für das Holzprodukt langfristig positiv.

Die CO₂-Bindung durch Holzverwendung hat zusätzliche Effekte:

- Speicherfunktion: in langlebigen Holzprodukten bleibt der Kohlenstoff länger gebunden als im natürlichen Kreislauf des Urwaldes. Wird Holz z.B. in einem Dachstuhl verbaut, ist der in diesem Holz festgelegte Kohlenstoff für die Lebensdauer des Dachstuhls und gegebenenfalls darüber hinaus der Atmosphäre entzogen.
- Material- und Energie-Substitution: Wird Holz anstelle von Materialien eingesetzt, deren Produktion mit einem deutlich höheren Energieaufwand verbunden ist (z.B. Aluminium, Beton), dann bewirkt das Ersetzen dieser Materialien, dass CO₂-Emissionen messbar eingespart werden (Material-Substitution).

– Der gleiche Effekt tritt ein, wenn Holz anstelle fossiler Energieträger (z.B. Heizöl, Kohle) eingesetzt wird, die alle einen spezifisch höheren CO₂-Ausstoß aufweisen als das Holz (Energie-Substitution). Bei der thermischen Nutzung von Holz wird nur die während des Wachstums durch die Photosynthese aufgenommene und gespeicherte Menge Kohlenstoff freigesetzt. Dadurch ist die Nutzung von Biomasse, und hier besonders Holz, die derzeit einzige Möglichkeit, dauerhaft Sonnenenergie zu speichern und zielgerichtet wieder freizusetzen. Durch die Nutzung von Holz zur Wärmeerzeugung könnte es gelingen, etwa 10 % des persönlichen CO₂-Ausstoßes pro Einwohner einzusparen.

Die Speicherung von Kohlenstoff im Wald

Nach Berechnungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt sind im gesamten Ökosystem des *Staatswaldes* über 280 Mio. Tonnen CO₂ gebunden. Für den Gesamtwald kann man von einer Kohlenstoffspeicherung in etwa vierfacher Höhe ausgehen.

Bannwälder

sind sich selbst überlassene Totalreservate ohne jegliche Bewirtschaftung. In ihnen entwickelt sich die Waldvegetation unter möglichst weitgehendem Ausschluss menschlicher Einflüsse zu Urwäldern von morgen (Prozessschutz). Sie erfüllen damit herausragende Naturschutzfunktionen und bilden gleichzeitig „Freilandlaboratorien“, die sich in besonderem Maße zur wissenschaftlichen Beobachtung und Untersuchung walddynamischer Prozesse eignen.

Schonwälder

sind Waldreservate, die wie zahlreiche Naturschutzgebiete dafür sorgen, daß bestimmte Pflanzen- und Tiergesellschaften erhalten werden. Sie können auch „Waldmuseen“ darstellen, in denen historische Waldnutzungsformen wie die Mittel- und Niederwaldwirtschaft exemplarisch überliefert bleiben.

Wald mit besonderen Funktionen

Waldschutzgebiete

Unter dem Begriff Waldschutzgebiete versteht man Bann- und Schonwälder. Das Waldschutzgebietsprogramm der Landesforstverwaltung umfasst die Ausweisung, den Schutz und die Pflege von Bann- und Schonwäldern (§ 32 Landeswaldgesetz). Waldschutzgebiete haben die Funktion, bestimmte Waldgesellschaften zu schützen und ihre wissenschaftliche Erforschung zu ermöglichen. Dabei gilt es, Erkenntnisse über die Entwicklung von Waldökosystemen sowie in die Praxis umsetzbare Erfahrungen für Waldwirtschaft, Landschaftspflege und Naturschutz zu gewinnen.

Das Ziel des Waldschutzgebietsprogramms von 1980, Bann- und Schonwälder auf 1 % der Fläche des Staats- und Körperschaftswaldes auszuweisen, ist erreicht. Nunmehr wurde das Programm 1993 mit folgender Zielsetzung fortgeschrieben:

- Schutz seltener Waldgesellschaften
- Biotop- und Artenschutz
- Schutz historischer Waldwirtschaftsformen
- Schutz größerer Landschaftsausschnitte naturnaher Waldökosysteme in vegetationstypischer Zusammensetzung

zung auf durchschnittlichen Standorten

- Beobachtung der Ökosystementwicklung mehr oder weniger stark vom Menschen geprägter Waldbestände auf durchschnittlichen Standorten in einem größeren Landschaftszusammenhang.

Der Flächenanteil der Waldschutzgebiete soll von derzeit 1,4 % auf 2 % erhöht werden. Angestrebt wird ein etwa gleicher Anteil von Bann- und Schonwäldern. Das fortgeschriebene Waldschutzgebietsprogramm hat eine Schwerpunktverlagerung zu größerflächigen Wäldern zum Inhalt. Insbesondere um die Eigendynamik von Waldschutzgebieten mit naturnaher Vegetationsausstattung bzw. stark anthropogen geprägter Waldstruktur beobachten zu können, werden ganze Landschaftsausschnitte ausgewählt, die das typische Standortmuster des Gebiets enthalten.

Einen wesentlichen Aspekt bei der Auswahl der vorgesehenen größerflächigen Bannwälder bildet die annähernd repräsentative Verteilung auf die *Großlandschaften* Baden-Württembergs. In diesen wird intensiv geforscht. Ursprüngliche Urwälder kommen in Mitteleuropa so gut wie nicht mehr vor. Die Bannwaldforschung bietet daher eine der wenigen Möglichkeiten, Aufschlüsse über eine vom Menschen nahezu unbeeinflusste Dynamik von Waldökosystemen zu erhalten. Sie schafft damit auch wesentliche Grundlagen und Impulse für die Weiterentwicklung des Konzeptes Naturnahe Waldwirtschaft.

Am Stichtag 1.6.2000 gab es in Baden-Württemberg 84 Bannwälder mit 4.677 ha und 370 Schonwälder mit 14.265 ha.

Langfristig ohne Nutzung sind auch die im Rahmen der Forsteinrichtung ausgewiesenen Waldflächen „außer regelmäßiger Bewirtschaftung“. Sie umfassen im öffentlichen Wald etwa 16.000 ha.

Obwohl diese Flächen weit überwiegend keiner gesetzlichen Schutzkategorie angehören, sind sie aufgrund extensiver

Wirkstoffmenge in kg bzw. l

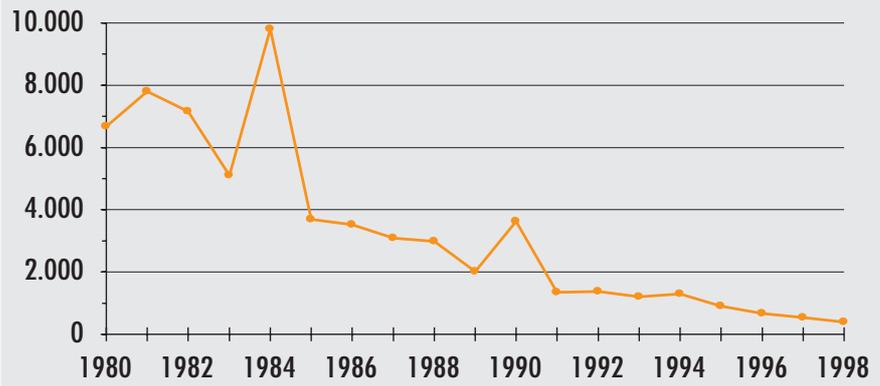


Abb. 6 Verbrauch an Pflanzenschutzmitteln im Staatswald Baden-Württemberg (Quelle: MLR/Landesforstverwaltung 1998)

	ha	% der Waldfläche
Wald in Naturschutzgebieten	34.487	2,5
Wald in Landschaftsschutzgebieten	407.670	29,5
Wald in Naturparken	173.284	12,6

Tab. 6 Waldflächen mit besonderer Bedeutung für den Biotop- und Artenschutz; teilweise liegen Flächenüberschneidungen vor (Quelle: MLR/Landesforstverwaltung 1998)

oder ausgesetzter Nutzung vom Naturschutzaspekt her ähnlich zu beurteilen wie Waldschutz- oder Naturschutzgebiete. Zusammen mit den Waldschutzgebieten nehmen die Flächen „außer regelmäßiger Bewirtschaftung“ knapp 4 % des öffentlichen Waldes ein.

Wald mit besonderer Bedeutung für den Biotop- und Artenschutz

In unserem dichtbesiedelten und hochindustrialisierten Land haben die Wälder eine große Bedeutung für den Biotop- und Artenschutz. Ihre Großflächigkeit, die naturnahe Bewirtschaftung mit langfristigen Verjüngungszyklen und der Einsatz von Düngern und Pestiziden nur in Ausnahmefällen und in marginalem Umfang haben die Wälder zu Rückzugsstätten und Lebensräumen für viele bedrohte Tier- und Pflanzenarten gemacht. Es ist daher kein Zufall, daß der überwiegende Teil der Flächen mit naturschutzrechtlicher Zweckbindung in Waldgebieten liegt.

Bereits Mitte der 80er Jahre lag der Verbrauch an Pflanzenschutzmitteln (ohne die toxikologisch und ökologisch

nahezu unbedenklichen Wildschadensverhütungsmittel) im Staats- und Körperschaftswald Baden-Württembergs im Durchschnitt weit unter 10 g/Jahr/ha. Eine bundesweite Erhebung der Biologischen Bundesanstalt ergab für 1986, dass die im Wald eingesetzten Mengen an pestiziden Wirkstoffen gerade 0,1-0,2 % des Gesamtverbrauchs in der Bundesrepublik Deutschland ausmachten. Im Ländervergleich lagen dabei für den baden-württembergischen Wald die Verbrauchsmengen deutlich unter dem Bundesdurchschnitt. Durch weitere Bemühungen um den Einsatz pestizidfreier bzw. pestizidreduzierter Waldschutz-Alternativen ist es der Landesforstverwaltung gelungen, diesen bereits 1986 sehr geringen Mitteleinsatz weiter zu reduzieren (Abb. 6).

Am Stichtag 31.12.1998 waren landesweit 34.487 ha Wald als Naturschutzgebiet, 407.670 ha als Landschaftsschutzgebiet und 173.284 ha als Naturpark ausgewiesen. Zu beachten ist, dass es beim Wald in Naturparken zu Flächenüberschneidungen mit Natur- und Landschaftsschutzgebieten kommt (Tab. 6).

Waldbiotopkartierung

Die Erhebung der Biotope in baden-württembergischen Wäldern ist am 31.10.1998 nach neunjähriger Kartierungsdauer abgeschlossen worden. Unter Federführung der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt wurden die nach landesweit einheitlichen Vorgaben für den Biotop- und Artenschutz wichtigen Flächen und Einzelgebilde erfasst und dargestellt. Maßstab für die Auswahl der Biotope sind die Kriterien "Seltenheit" und "Gefährdung".

Die Waldbiotopkartierung der Landesforstverwaltung ist eine sogenannte selektive Kartierung: Kartiert wird nach einer detaillierten, mit der Landesanstalt für Umweltschutz abgestimmten Kartieranleitung. Die zu kartierenden Biotope werden anhand der Standortsverhältnisse, der Vegetation und sonstiger Eigenschaften definiert. Die Biotope, die den festgelegten Kartierkriterien entsprechen, werden in Karten im Maßstab 1:10.000 eingetragen und in Biotopbelegen näher beschrieben.

Hinsichtlich des gesetzlichen Schutzes der kartierten Waldbiotope sind drei Gruppen von Biotopen zu unterscheiden:

Ein Teil der Biotope ist nach § 24a Naturschutzgesetz des Landes besonders geschützt. Dabei handelt es sich insbesondere um

- naturnahe Bruch-, Sumpf- und Auewälder
- naturnahe Wälder trockenwarmer Standorte einschließlich ihrer Staudensäume.

Ein weiterer Teil der Biotope steht unter dem Schutz des § 30a Landeswaldgesetz. Dieser "Biotopschutzwald" umfasst

- naturnahe Schlucht- und Blockwälder sowie regional seltene naturnahe Waldgesellschaften,
- Tobel, Klingen, Kare und Toteislöcher im Wald mit naturnaher Begleitvegetation,
- Wälder als Reste historischer Bewirtschaftungsformen

Leitbiotypen	Anzahl	Fläche	
		in ha	in %
Seltene, naturnahe Waldgesellschaften	6.992	22.935	29,9
Trockenbiotope	2.016	3.600	4,7
Moorbereiche und Feuchtbiotope	3.502	5.854	7,6
Stillgewässer mit Verlandungsbereich	3.220	1.882	2,5
Fließgewässer mit naturnaher Begleitvegetation	5.637	12.604	16,4
Waldränder	1.871	1.456	1,9
Waldbestände mit schützenswerten Tierarten	1.036	3.557	4,6
Waldbestände mit schützenswerten Pflanzenarten	2.049	3.758	4,9
Strukturreiche Waldbestände	3.973	7.106	9,3
Waldbestände mit Resten historischer Bewirtschaftungsformen	231	708	0,9
Sukzessionsflächen	1.726	3.440	4,5
Naturgebilde	9.259	9.760	12,7
insgesamt	41.336	76.660	100,0
davon Biotope nach § 30a LWaldG		19.996	26,1
davon Biotope nach § 24a NatSchG		42.225	55,1

Tab. 7 Auswertung der Waldbiotopkartierung nach Leitbiotypen, Stand 31.12.1998 (Quellen: MLR, FVA)

- strukturreiche Waldränder.

Ein weiterer Teil der Biotope unterliegt *keinem unmittelbaren gesetzlichen Schutz*. Diese Biotope werden kartiert, um einen Gesamtüberblick über die für den Biotop- und Artenschutz besonders wichtigen Bereiche im Wald zu bekommen.

Zur Strukturierung und Zusammenfassung der Vielzahl vorkommender Einzelstrukturen innerhalb einer Biotopfläche haben die FVA und LfU die Biotope zwölf sogenannten Leitbiotypen zugeordnet. Der Stand der kartierten Biotope nach Anzahl und Fläche, verteilt auf die einzelnen Leitbiotypen, kann Tab. 7 entnommen werden. Das Ergebnis: In den Wäldern befinden sich nach Abschluss der Waldbiotopkartierung Ende 1998 über 49.000 Biotope mit rund 82.500 ha. Der Anteil besonders seltener und hochwertiger Biotope an der Gesamtfläche der Wälder liegt damit bei 6 %. Je nach naturräumlicher Ausstattung in den Forstbezirken schwankt der Biotopflächenanteil zwischen 1 und 20 % der Waldfläche. Von den kartierten Biotopen unterliegen von der Gesamtfläche

- 23 % dem Schutz durch § 30a Landeswaldgesetz

- 55 % dem Schutz durch § 24a Naturschutzgesetz

- 22 % keinem besonderen gesetzlichen Schutz.

Die Waldbiotopkartierung bildet neben der Standortkartierung, den regionalen Waldbaurichtlinien und der Waldfunktionenkartierung eine weitere wichtige Planungsgrundlage für die Waldwirtschaft. Sie gibt wichtige Hinweise auf gegebenenfalls erforderliche Schutz- oder Pflegemaßnahmen und liefert Entscheidungsgrundlagen für eine funktionengerechte Waldbewirtschaftung sowie Impulse für die Fortführung des Waldschutzgebietsprogramms.

Die Ergebnisse der Waldbiotopkartierung werden im Rahmen der Forsteinrichtung (vgl. oben S. 208) zu konkreten waldbaulichen Maßnahmen umgesetzt. Dadurch ist sichergestellt, dass die Flächen langfristig erhalten sowie sachgerecht und zielorientiert sichergestellt werden. Gleichzeitig wird eine Erfolgskontrolle bei Pflegemaßnahmen möglich.

Die größte Fläche nehmen die seltenen naturnahen Waldgesellschaften ein, die vor allem die extrem trockenen bzw. nassen Standorte besiedeln. Naturraumbedingt hoch ist auch der Anteil an naturnahen Fließgewässern und an Naturgebilden, d.h. Bereichen mit Felsen und Blockhalden. Diese beiden Biotoptypen treten vor allem in den Mittelgebirgen gehäuft auf.

Die Ausstattung der Wälder mit seltenen und hochwertigen Biotopen ist insgesamt gut. Regional differenziert ergeben sich Schwerpunkte

- im Südwestdeutschen Alpenvorland mit seinen zahlreichen Moor- und Feuchtgebieten
- auf der Schwäbischen Alb mit den Trockenbiotopen und den insbesondere am Albtrauf gehäuft vorkommenden Trockenwäldern
- im Südschwarzwald mit großflächigen naturnahen Waldgesellschaften, naturnahen Fließgewässern und Naturgebilden
- im Oberrheintal mit den typischen Biotopen der Aue
- im übrigen Gebiet des Rheintals mit den Trockenbiotopen.

Bodenschutzwald

Wälder auf erosionsgefährdeten Standorten sind nach § 30 Landeswaldgesetz als Bodenschutzwald geschützt und müssen besonders schonend bewirtschaftet werden. Dazu gehören insbesondere rutschgefährdete Hänge, felsige oder flachgründige Steilhänge, zur Verkarstung neigende Standorte und Flugsandböden. Die Waldbesitzer sind gesetzlich verpflichtet, Bodenschutzwald so zu behandeln, dass eine standortgerechte, ausreichende Dauerbestockung erhalten bleibt. Bodenschutzwald ist kraft Gesetzes begründet und bedarf somit keiner besonderen Ausweisung, sondern lediglich einer ortsüblichen Bekanntmachung durch das Forstamt.

Am 31.12.1998 waren landesweit insgesamt 223 351 ha Wald (16,2 % der

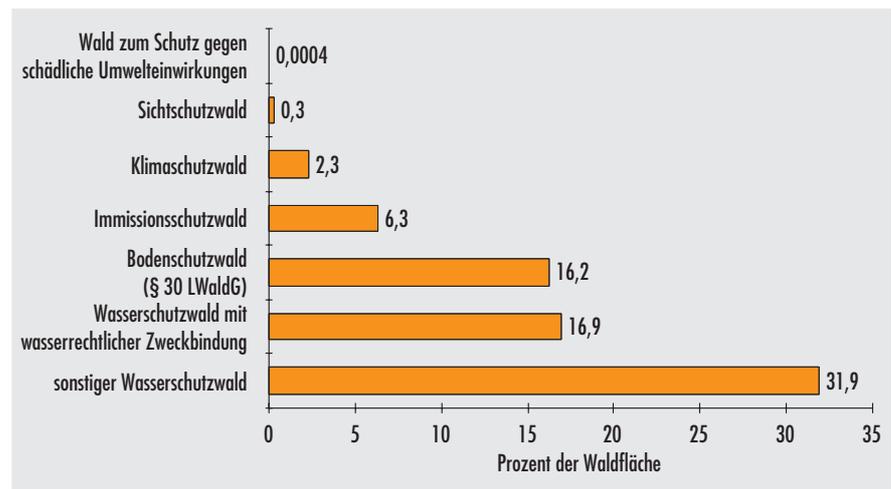


Abb. 7 Anteil der Schutzwaldarten an der Gesamtwaldfläche (Quelle: MLR/Landesforstverwaltung 1998)

Waldfläche) als gesetzlicher Bodenschutzwald ausgewiesen.

Wasserschutzwald

Wald trägt wesentlich zur Reinhaltung des Grund- und Oberflächenwassers und zur Stetigkeit der Wasserspende bei. Die Wälder wirken somit ausgleichend und stabilisierend auf den Wasserhaushalt. In geschlossenen Waldgebieten fehlen Verschmutzungsquellen weitgehend, und in der Regel findet kein Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln statt. Daher ist Grund- und Oberflächenwasser, das aus großflächigen Waldgebieten stammt, in der Regel hygienisch einwandfrei.

Der Waldboden übt auch eine starke biologische Filterwirkung aus. Auf Grund ihres hohen Grobporenanteils verfügen Waldböden einerseits über eine gute Durchlässigkeit, andererseits aber auch über eine hohe Speicherkapazität. Diese Eigenschaften verhindern weitgehend oberflächennahe Abflüsse und das Auftreten von Hochwasserspitzen; ferner sorgen sie für eine nachhaltige Wasserversorgung in niederschlagsarmen Zeiten.

Am 31.12.1998 waren in Baden-Württemberg insgesamt 674.813 ha (49 % der Gesamtwaldfläche) als Wasserschutzwald ausgewiesen. Davon lagen 233.878 ha (17 %) in Schutzgebieten mit wasserrechtlicher Zweckbindung (Wasserschutz-

gebiete, Quellschutz-, Überschwemmungsgebiete), während 440.935 ha, das sind 32 %, als sonstiger Wasserschutzwald ohne förmliche Festlegung im Rahmen der Waldfunktionenkartierung ausgewiesen waren (Abb. 7).

Klimaschutzwald

Große zusammenhängende Waldflächen in der Nähe von Siedlungsschwerpunkten können das Klima als *Regionaler Klimaschutzwald* großräumig günstig beeinflussen. Die Temperaturunterschiede zwischen Siedlung und Wald führen dazu, daß die Luftmassen ständig in Bewegung bleiben und sich dabei durchmischen. Regionaler Klimaschutz wird aufgrund spezieller Klimagutachten ausgewiesen.

Lokaler Klimaschutzwald wurde bei der Waldfunktionenkartierung entweder als Schutzwald zur Vermeidung von Kaltluftschäden, insbesondere an nachgelagerten landwirtschaftlichen Sonderkulturen, oder als Windschutzwald vor Siedlungsbereichen und Erholungsschwerpunkten ausgewiesen.

Am 31.12.1998 gab es in Baden-Württemberg 31.734 ha Klimaschutzwald. Dies entspricht 2,3 % der Gesamtwaldfläche.

Immissionsschutzwald

Aufgrund der großen Oberfläche ihrer Nadel- und Blattorgane sind Waldbäume in der Lage, viele Tausend Tonnen Schadstoffe aus der Luft herauszukämmen oder zu absorbieren. Am stärksten ausgeprägt ist diese natürliche Filterwirkung bei großen, geschlossenen Waldbeständen. Dies belegt, wie wichtig es ist, insbesondere in den dichtbesiedelten und stark industrialisierten Ballungsräumen, den Wald unseres Landes zu erhalten.

Wald, der großräumig eine Verringerung der Luftschadstoffe bewirkt, wurde in der Waldfunktionenkartierung als *Regionaler Immissionsschutzwald* erfasst. Dagegen wurden *Lokale Immissionsschutzwälder* in der Umgebung einzelner, besonders schadstoffintensiver Emittenten (z.B. Zementfabriken, Bitumenwerke, Steinbrüche) ausgewiesen. Der Wald hat hier die Aufgabe, angrenzende Siedlungen, Erholungsgebiete, Krankenhäuser usw. vor Luftverschmutzung sowie Geruchs- und Lärmbelastigungen zu schützen. Eine besondere Art des Lokalen Immissionsschutzwaldes ist der Lärmschutzwald entlang von Verkehrsanlagen (stark befahrenen Straßen und Bahnlinien).

Die Kapazität der "Grünen Lungen" darf jedoch nicht überschätzt werden. Die seit Anfang der 80er Jahre in Mitteleuropa verstärkt in Erscheinung tretenden Waldschäden zeigen deutlich, daß den Wäldern in der Vergangenheit zu viele Luftschadstoffe zugemutet worden sind.

Am 31.12.1998 gab es in Baden-Württemberg 87.215 ha Immissionsschutzwald. Dies entspricht 6,3 % der Gesamtwaldfläche des Landes.

Erholungswald

Die frische und mit Duftstoffen angereicherte Luft, sein ausgeglichenes Klima, seine freie Zugänglichkeit, seine große Flächenausdehnung und vieles mehr machen den Wald als Erholungsraum bei der Bevölkerung sehr beliebt. Die Waldfunktionenkartierung hat deshalb

Waldflächen, die die Bevölkerung in Siedlungsgebieten, Erholungsgebieten und an besonderen Anziehungspunkten besonders stark in Anspruch nimmt, als Erholungswald erfasst. Entsprechend der Frequentierung wird dabei zwischen Erholungswald der Stufe 1 (> 10 Besucher/ha Waldfläche/Tag) und der Stufe 2 (1 bis 10 Besucher/ha Waldfläche/Tag) unterschieden. Außerdem ist es nach § 33 LWaldG möglich, von Erholungsuchenden besonders stark begangene Wälder als gesetzlichen Erholungswald auszuweisen.

Zum Stichtag 31.12.1998 waren durch die Waldfunktionenkartierung 51.326 ha Erholungswald der Stufe 1 (3,7 % der Gesamtwaldfläche) und 337.346 ha Erholungswald der Stufe 2 (24,4 %) sowie 10.583 ha Erholungswald nach § 33 LWaldG (0,8 %) ausgewiesen.

Waldschäden

Die seit Anfang der 80er Jahre verstärkt auftretenden Waldschäden sind auf einen zeitlich und räumlich wechselnden Ursachenkomplex aus abiotischen und biotischen Faktoren zurückzuführen. Die Ergebnisse der Waldschadensforschung weisen der vom Menschen verursachten (anthropogenen) Luftverunreinigung eine maßgebliche Rolle zu.

Vor allem folgende Substanzen belasten die Waldökosysteme erheblich: Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffoxide (NO_x), Ammoniak (NH₃) und das als Umwandlungsprodukt aus organischen Verbindungen und Stickoxiden entstehende bodennahe Ozon (O₃). Diese Schadstoffe wirken auf zweifache Weise auf die Bäume ein: unmittelbar auf die oberirdischen Pflanzenorgane und mittelbar über den Eintrag in den Boden.

Die Fremdstoffeinträge in die Waldökosysteme zeigen teilweise eine gegenläufige Wirkung. Säureeinträge führen zu Bodenversauerung und Nährstoffmangeln. Neben Nitrat werden Makronährelemente wie Magnesium, Calcium und Kalium ausgewaschen. Andererseits regen

Stickstoffeinträge das Wachstum der Bäume an mit der Folge, dass Ungleichgewichte im Nährstoffhaushalt entstehen. Die Ergebnisse der Waldschadensforschung weisen darauf hin, daß eine weitere Verminderung der Luftverunreinigungen eine wesentliche Voraussetzung dafür ist, dass sich die Wälder wieder erholen.

Die Entwicklung und der Stand der Waldschäden lassen sich anhand der seit 1983 durchgeführten Terrestrischen Waldschadensinventur (TWI) und der von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) betreuten Dauerbeobachtungsflächen erkennen. Es handelt sich um das flächenmäßig umfassendste Umweltmonitoringsystem im Wald.

In den Jahren 1983, 1988 und 1994 haben periodisch immissionsökologische Waldzustandserhebungen (IWE) die jährlichen Waldschadensinventuren ergänzt. Auf diese Weise erhielten die Wissenschaftler Informationen für eine vertiefende Ursachenforschung.

Terrestrische Waldschadensinventur

Die Terrestrische Waldschadensinventur (TWI) ist ein Monitoringsystem, durch das die Vitalität der Waldbäume ermittelt wird. Die TWI ist nicht für die Ursachenforschung konzipiert. Unmittelbare Rückschlüsse auf einzelne Schadursachen sind nur dort möglich, wo spezifische Merkmale wie zum Beispiel Schädlingsbefall erkennbar sind. Das Verfahren basiert auf einer Erhebung des Kronenzustandes von jeweils 24 Waldbäumen an systematisch über die Wälder des Landes verteilten Stichprobepunkten.

Bei der Aufnahme der Einzelbäume schätzt man den Nadel- bzw. Blattverlust in 5 %-Stufen und den Grad der Vergilbung in drei Stufen ein und fasst diese zu sogenannten Kombinationsschadstufen zusammen (Tab. 8).

Die Schadstufen 2 bis 4 werden als "deutliche Waldschäden" gewertet, während die Schadstufe 1 eine "Warnstu-

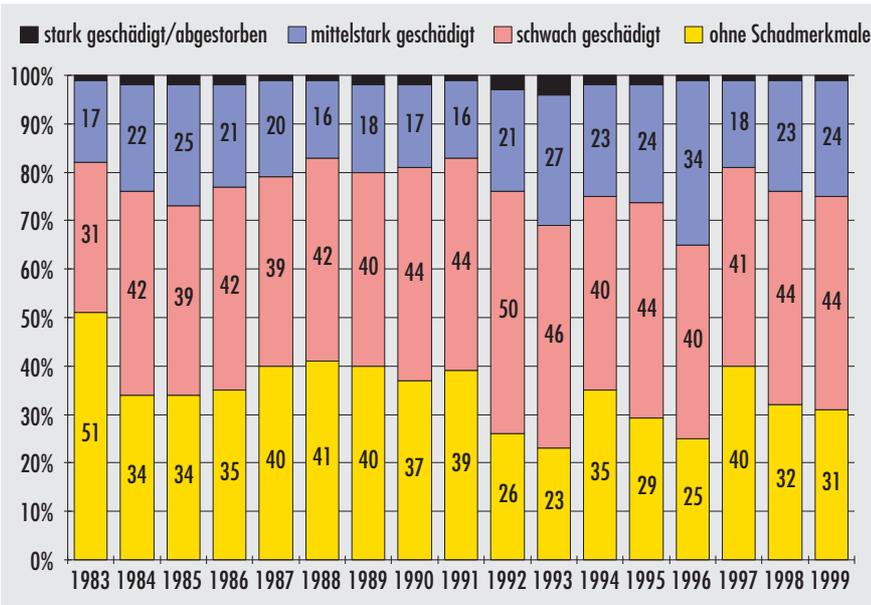


Abb. 8 Entwicklung der Schadstufenanteile in Baden-Württemberg (Quellen: MLR, FVA 1999)

Schadstufen aufgrund Nadel-/Blattverlust	Vergilbungsstufen (Anteil der vergilbten Nadel-/Blattmasse)		
	1 (11-25 %)	2 (26-60 %)	3 (61-100 %)
0 (bis 10 %)	0	1	2
1 (11-25 %)	1	2	2
2 (26-60 %)	2	3	3
3 (61-99 %)	3	3	3
4 (100 %)	4	4	4

Tab. 8 Kombinationsschadstufen zur Schadensansprache im Rahmen der Terrestrischen Waldschadensinventur (Quelle: MLR/Landesforstverwaltung 1997)

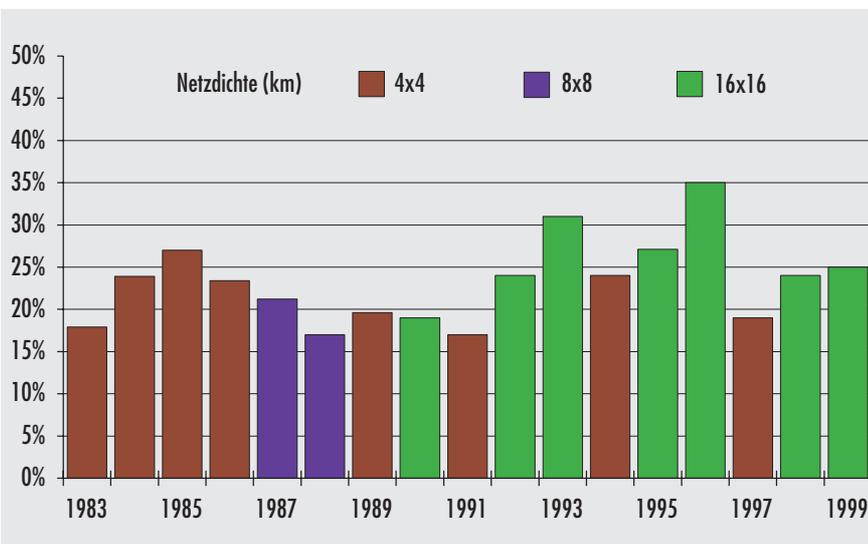


Abb. 9 Waldfläche mit deutlichem Nadel-/Blattverlust (Schadstufen 2-4, > 25 % Nadel-/Blattverlust) (Quelle: MLR)

fe" darstellt, denn ein Nadel-/Blattverlust bis zu 25 % liegt im Bereich der natürlichen Schwankungsbreite.

In einem dreijährigen Turnus wird die TWI in einem engmaschigen Stichprobennetz (4 x 4 km-Raster) aufgenommen mit mehr als 18.000 zu beobachtenden Waldbäumen. Durch diese hohe Zahl an beobachteten Bäumen sind in diesen Jahren detaillierte Aussagen zur Schadensentwicklung einzelner Baumarten und für einzelne Landesteile möglich. Ergebnisse aus diesem engmaschigen Netz liegen zuletzt für das Jahr 1997 vor. 1997 zeigte sich erstmals seit Beginn dieser Erhebungen, dass die *Eiche* die Baumart mit den höchsten Anteilen deutlicher Schäden ist. Dagegen hat sich die Vitalität der *Tanne* seit Beginn der Erhebungen nach und nach erholt. Die Gründe dafür sind nicht abschließend geklärt. Die regionale Auswertung weist nach wie vor den Schwarzwald als Hauptschadgebiet aus.

In den Zwischenjahren zwischen den periodischen intensiven Erhebungen wird ein weitermaschiges Stichprobennetz aufgenommen (sogenanntes EU-Netz im 16 x 16 km-Raster), so dass ein jährliches Grundmonitoring der Waldschadensentwicklung gewährleistet ist. Die Daten dieses Netzes gehen in eine deutschlandweite und in die internationale Waldschadensstatistik ein.

Aus der Aufnahme des EU-Netzes im Jahr 1999 ist festzuhalten, dass die Waldbäume im Schnitt rund 20 % ihrer Nadeln bzw. Blätter gegenüber einer Vollbelaubung verloren haben. Die Entwicklung der Waldfläche mit deutlichen Waldschäden (Schadstufen 2 bis 4) seit 1983 zeigt Abb. 9.

Die Ergebnisse der Terrestrischen Waldschadensinventuren sind in den Waldzustandsberichten der FVA niedergelegt. Dort sind auch die natürlichen Einflussfaktoren auf den Waldzustand und Ergebnisse der weiteren Monitoringnetze im Wald dargestellt. Diese Messnetze dienen in der Zusammenschau der

Erfassung und Bewertung zahlreicher natürlicher und anthropogener Einflüsse, die sich auf den Kronenzustand der Waldbäume und auf die Stabilität des Ökosystems als Ganzes auswirken. So untersucht zum Beispiel ein weiteres periodisch erfasstes Messnetz die Erörterung der Waldbäume mit Nährelementen, indem Nadelproben entnommen und analysiert werden.

Als Ergebnis der bisherigen Inventuren ist festzuhalten, dass trotz aller Schwankungen der mittlere Kronenzustand aller Waldbäume keinen abrupten jährlichen Veränderungen unterworfen ist. Mit einem Anteil von rund 25 % der Waldfläche in Baden-Württemberg mit deutlichen Schäden (mehr als 25 % Nadel-/bzw. Blattverlust) ist das Schadenniveau weiterhin hoch.

Dauerbeobachtungsflächen

Dauerbeobachtungsflächen sind 0,25 ha große Waldflächen, die losgelöst von den systematischen Messnetzen vor allem in den Hauptverbreitungs- und Hauptschadensgebieten der wichtigsten Baumarten in Baden-Württemberg (Fichte, Tanne, Kiefer, Buche und Eiche) angelegt sind (Abb. 10). Auf Dauerbeobachtungsflächen wird der Zustand jedes Baumes aufgezeichnet. Die Ergebnisse der Dauerbeobachtungsflächen geben einen Trend der Waldschadensentwicklung an und dokumentieren den Schadensverlauf und deren Ursachen. Die Ergebnisse sind jedoch nicht flächenrepräsentativ.

1999 zeigten die *Fichten*flächen im Vergleich zum Vorjahr im Trend eine leichte Abnahme der deutlich geschädigten Bäume. Dagegen ließen *Tanne* und *Buche* keinen einheitlichen Trend erkennen. Bei den *Eichen* hingegen ergab sich 1999 eine deutliche Verschlechterung des Kronenzustands gegenüber 1998, obwohl biotische Schäden (Pilze, Insekten) als maßgebliche Ursache nicht zu erkennen waren.

Als Beitrag zum sogenannten „Level II-Programm“ der Europäischen Union führt Baden-Württemberg darüber hinaus

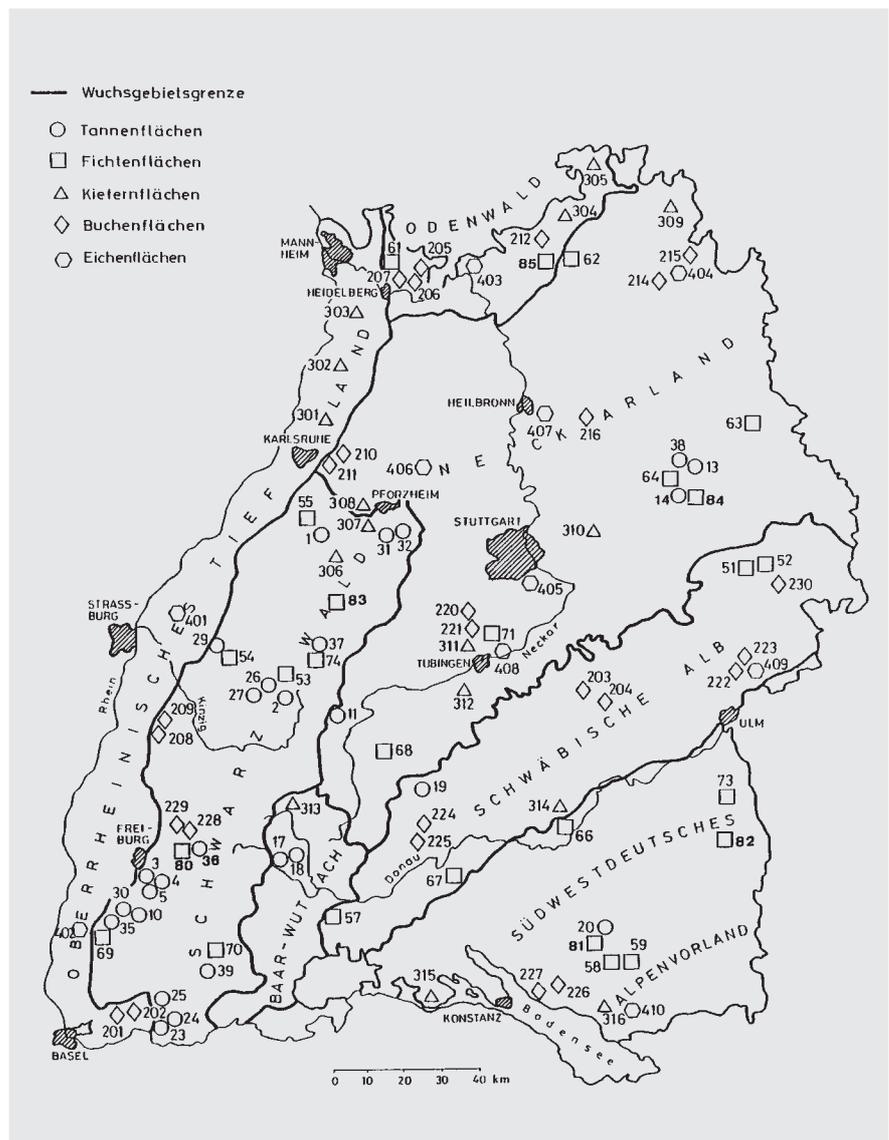


Abb. 10 Dauerbeobachtungsflächen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt in Baden-Württemberg (Quellen: MLR, FVA 1997)

auf 10 Intensivdauerbeobachtungsflächen noch detailliertere Messungen zur Ursachenermittlung durch.

Bodenzustandserhebung

Baden-Württemberg hat in den Jahren 1990 und 1991 eine weitgehend bundeseinheitliche Bodenzustandserhebung im Wald vorgenommen. Die Analyse der Bodenprofile und die bodenchemischen Untersuchungen zeigten, dass vor allem kalkarme Substrate nur noch sehr geringe Vorräte an verfügbaren basischen Nährelementen aufweisen. Gleichzeitig ist eine starke Versauerung der Waldböden festzustellen. Besorgniserregend auch im Hinblick auf die künftige Wasserqualität ist, dass diese Versauerung im

Schwarzwald und Odenwald weit über den Wurzelraum hinaus auch in tiefere Bodenhorizonte reicht.

Diese Befunde machen eindringlich klar, dass auf gegenüber Versauerung empfindlichen Substraten Bodenschutzkalkungen erforderlich sind.

Die detaillierten Ergebnisse der Bodenzustandserhebung sind in den Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Freiburg, Heft 182, veröffentlicht.

Der Orkan "Lothar"

Das Orkantief "Lothar" vom 26.12.1999 hat eine Spur der Verwüstung hinterlassen. Mit Windgeschwindigkeiten von ortsweise über 200 km/h (z.B. 212 km/h auf dem Feldberg) sind, zumindest im Binnenland, bisher unerreichte Spitzengeschwindigkeiten einzelner Böen gemessen worden.

Durch "Lothar" sind europaweit etwa 190 Mio. Festmeter Holz angefallen (Stand 1.4.2000). Die schwersten Waldschäden hat Frankreich mit rund 140 Mio. Festmetern Sturmholz zu beklagen, gefolgt von Deutschland mit insgesamt etwa 30 Mio. und der Schweiz mit rund 12 Mio. Festmetern Sturmholz. In Deutschland konzentrieren sich die Schäden im Wesentlichen auf Baden-Württemberg mit etwa 25 Mio. Festmetern (entstandene Kahlfläche rund

40.000 ha), in geringerem Umfang sind Bayern (4,5 Mio. Fm) und Rheinland-Pfalz betroffen. Während sonst das Norddeutsche Tiefland und die Ebenen der Nord- und Ostseeküste besonders sturmfällig sind, konzentrierte sich "Lothar" auf den südwestdeutschen Raum: die Gebirge des Landes (Schwarzwald), aber auch die flache Oberrheinebene (Abb. 11). Dagegen war im Osten und im Norden kein nennenswerter Sturmholzanfall zu verzeichnen. Rund 80 % des Gesamtsturmholzes ist Nadelholz. Der Anteil an Bruchholz ist mit knapp 20 % sehr hoch.

In Baden-Württemberg sind im Kommunalwald ca. 11, im Privatwald ca. 5 und im Staatswald ca. 9 Mio. Festmeter Sturmholz angefallen. Schwerpunktgebiete sind der Schwarzwald mit zahlreichen land- und forstwirtschaftlich geprägten Betrie-

ben und der Schönbuch. Der Gesamtschaden in den Wäldern des Landes beläuft sich auf mindestens 1,5 Mrd. DM.

Die Landesregierung hat mit Ministerratsbeschluss vom 18.1.2000 zur Beseitigung der Schäden durch den Sturm "Lothar" mit einem Sofortprogramm 100 Mio. DM bereitgestellt. Die Bundesregierung hat am 7.3.2000 im Rahmen der Gemeinschaftsaufgaben "Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes" 30 Mio. DM in Aussicht gestellt.

Zertifizierung

Unter Zertifizierung versteht man eine "Maßnahme durch einen Dritten, die aufzeigt, dass angemessenes Vertrauen besteht, dass ein ordnungsgemäß bezeichnetes Erzeugnis, Verfahren oder eine ordnungsgemäße Dienstleistung in Übereinstimmung mit einer bestimmten Norm oder einem bestimmten anderen Dokument ist". (Definition nach ISO) Das heißt: Ein Betrieb verpflichtet sich, bei seiner Produktion bestimmte Qualitäts- oder Umweltstandards einzuhalten; eine Zertifizierungsstelle ("unabhängiger Dritter") überprüft dies und bestätigt es bei positivem Prüfergebnis mit einem Zertifikat. Der Betrieb kann bei der Vermarktung seiner Produkte mit diesem Zertifikat werben und dadurch Mehrerlöse oder Marktanteile gewinnen.

Die Idee, Waldbewirtschaftung zu zertifizieren, entspringt ursprünglich dem Wunsch, den Tropenwald zu retten. Der jährliche Verlust von 12,5 Mio. ha Tropenwald entspricht der neunfachen Waldfläche Baden-Württembergs oder 125 % der Waldfläche Deutschlands. Vor diesem Hintergrund betrachten insbesondere Umweltverbände die Zertifizierung als ein Mittel, nachhaltige Forstwirtschaft zu fördern und damit die Waldzerstörung zu stoppen.

Mit Hilfe der Zertifizierung dokumentiert die baden-württembergische Forstwirtschaft nachhaltige Waldbewirtschaftung, verbessert weiter das Ansehen der Forst-

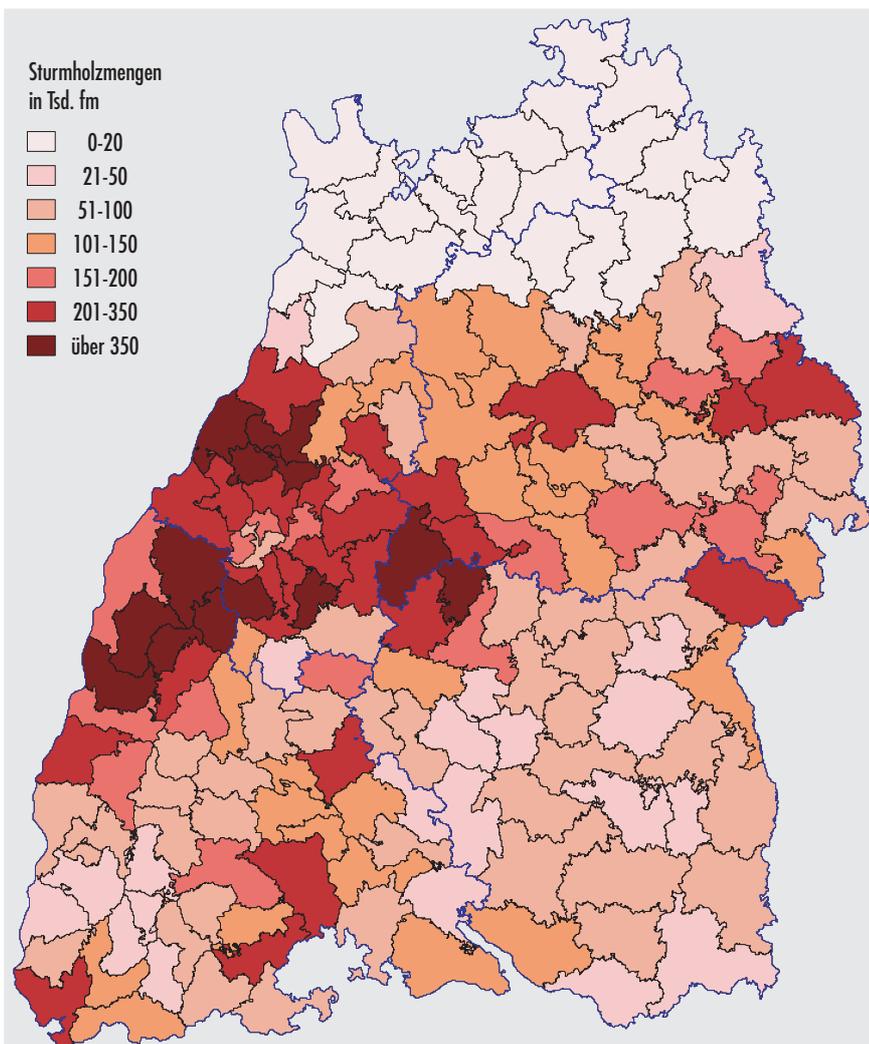


Abb. 11 Sturmholzmengen durch den Orkan "Lothar" nach Forstbezirken (Quellen: MLR, FVA 2000)

wirtschaft und ihrer Marktpartner und schafft ein Marketinginstrument für Holz und Holzprodukte. I

In Baden-Württemberg sind bereits Wälder nach den Zertifizierungssystemen PEFC (Pan European Forest Certification) und FSC (Forest Stewardship Council) zertifiziert. Im März 2000 erhielt beispielsweise der Staatswald das PEFC-Zertifikat.

Anhang

Kleines Waldlexikon

Abiotische Schäden

Entstehen durch Frost, Sturm, Schnee, Dürre oder Waldbrand.

Aufforstung

Pflanzen von Bäumen auf einer Fläche, die bisher kein Wald war.

Baumartenanteile

Rahmenwerte für den Flächenanteil einer Baumart im Waldentwicklungstyp über alle Entwicklungsphasen.

Behandlungstyp

Zusammenfassung von Beständen innerhalb eines Waldentwicklungstyps, die der gleichen waldbaulichen Behandlung unterworfen sind. Behandlungstypen werden durch besondere Maßnahmen (z.B. Jungbestandspflege, Durchforstung, Vorratspflege, Zieldurchmesser-Ernte) gekennzeichnet.

Bestand

Teil des Waldes.

Biotope

Der charakteristische Lebensraum von Pflanzen und Tieren in einem bestimmten Gebiet, z.B. Feuchtbiotop.

Bundeswaldinventur

Deutschlandweite Erhebung der Waldstruktur über alle Waldbesitzarten hinweg.

Durchforstung

Behandlungstyp. Aushieb von Bäumen, um leistungsfähige, gesunde und resistente Waldbestände zu erreichen. Mittels gezielter Baumentnahmen wird eine Konzentration des Zuwachses auf vitale und qualitativ gute Bäume (Z-Bäume) erreicht.

Einheitsforstamt

Für alle Waldbesitzarten zuständige Behörde. Zu den Aufgaben des Forstes gehören die Bewirtschaftung des Staatswaldes, Förderung des Körperschafts- und Privatwaldes, Beratung, Betreuung und technische Hilfe im Privatwald, Betriebsleitung und Revierdienst im Körperschaftswald sowie hoheitliche Aufgaben.

Feinerschließung

Um ein flächiges Befahren des Waldbodens zu vermeiden und eine geordnete, pflegliche Holzernte zu ermöglichen, wird ein ständiges Feinerschließungsnetz angelegt. Dieses besteht aus Rückegassen oder Maschinenwegen.

Generationswechsel

Phase der Bestandesentwicklung, in der an Stelle der Bäume des Ausgangsbestandes der Jungwuchs den Aufbau der Bestandesoberschicht übernimmt.

Holzvorrat

Holzmenge auf einer bestimmten Fläche. Der Holzvorrat wird in Vorratsfestmetern (Volumen des Stamm- und Astholzes über 7 cm Durchmesser, 1 Festmeter = 1 cbm) gemessen.

Körperschaftswald

Wald im Eigentum von Körperschaften wie z.B. Gemeinden.

Mittelwald

Zwischenform von Niederwald und Hochwald.

Mittelwaldwirtschaft

Historische Waldnutzungsform, bei der in regelmäßigen Abständen der Wald durch Kahlschläge "auf den Stock gesetzt" wurde.

Nachhaltigkeit

Die ständige und bestmögliche Erfüllung der Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion der Wälder. Für die Holzernte bedeutet

Nachhaltigkeit, dass nie mehr Holz eingeschlagen wird, als nachwächst.

Natürliche Waldgesellschaft

Auf einem Standort von menschlicher Kultur unabhängige, durch Wuchsbedingungen, Entstehungsart und Entwicklungsdauer geprägte, von Waldbäumen dominierte Pflanzengemeinschaft.

Naturnähe

Grad der Nähe der Bestockung zum Standortswald.

Naturverjüngung

Begründung des Waldes aus den Samen des bestehenden Bestandes oder vegetative Vermehrung, z.B. durch Stockausschläge oder Wurzelbrot.

Niederwald

Aus Stockausschlag oder Wurzelbrot entstandener Waldbestand.

Pionierwald

Wald aus Lichtbaumarten, die auf Lichtungsflächen konkurrenzfähig sind, in einer kleinflächigen Waldverjüngung oder bei weiterer Sukzession auf natürlichem Weg aber von schattentoleranteren Baumarten verdrängt werden.

Privatwald

Wald im Privateigentum.

Qualität

Nach der Vitalität das wichtigste Kriterium bei der Auswahl von Z-Bäumen. Beurteilbar anhand von Stamm-Merkmalen, vor allem bei Laubbäumen, aber auch an Kronenmerkmalen.

Rodung

Die Entfernung von Wald, z.B. für Straßenbau, Wohnungsbau, die Anlage von Industriegebieten usw. Nach dem Landeswaldgesetz heißt Rodung "Umwandlung in eine andere Nutzungsart". Man unterscheidet dabei zwischen

befristeten Umwandlungen, z.B. bei Deponieflächen, und unbefristeten, z.B. bei Bebauungen.

Rücken

Transport gefällter Bäume zu autobefahrenen Waldwegen.

Schlusswald

Wald, der sich im Grundsatz in internen, wiederkehrenden Verjüngungsphasen regeneriert, ohne dass es zu einem gerichteten Baumartenwechsel kommt. Dabei ist die Baumartenzusammensetzung des Schlusswaldes abhängig vom Standort und von den Verbreitungsgebieten der Baumarten.

Stabilität

Konstanter Gleichgewichtszustand.

Stabilität eines Baumes

Widerstandsfähigkeit gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren.

Stabilität eines Waldökosystems

Waldökosysteme mit hoher Elastizität und Widerstandskraft gegenüber Störeinflüssen. Artenzusammensetzung und Strukturelemente fluktuieren räumlich und zeitlich nur begrenzt, die Bilanz der Stoffumsätze ist ausgeglichen.

Standorte

Durch Klima, Boden und Exposition gekennzeichnete Gesamtheit der Umwelteinflüsse. Die Verhältnisse eines Standortes bestimmen, welche Baumarten auf ihm am besten wachsen können.

Standortsgerechte Bestockung

Schafft Bestände aus Baumarten, die unter den gegebenen Standortbedingungen eine hohe physiologische Leistungsfähigkeit und Konkurrenzstärke aufweisen, den physikalischen und chemischen Standortzustand erhalten (oder verbessern) und eine vergleichsweise hohe

Stabilität des Waldökosystems gewährleisten.

Standortskartierung

Die Standortskarte hält die gesamten Umwelteinflüsse eines bestimmten Waldortes fest und ist wesentliche Basis für eine naturnahe Waldbewirtschaftung.

Standortswald

Lokale natürliche Baumartenzusammensetzung innerhalb einer Standortseinheit der forstlichen Standortskartierung.

Struktur

Vertikale Gliederung von Beständen durch Bäume oder Strauchindividuen von deutlich unterschiedlicher Höhe.

Umwandlung

Rodung des Waldes, um ihn in eine andere Nutzungsart (z.B. Siedlung) zu überführen.

Waldbau

Planmäßige Bewirtschaftung des Waldes. Dazu gehören u.a. Verjüngung, Bestandspflege und -erziehung.

Waldentwicklungsphasen

Gliederung in Verjüngungsphase, Wachstums-, Reife-, Alters- und Zerfallphase. Die Zerfallphase tritt in Wirtschaftswäldern nur bei Nutzungsverzicht auf.

Waldentwicklungstyp

Zu Waldentwicklungstypen werden Bestände mit vergleichbarem Ausgangszustand und vergleichbaren Zielsetzungen zusammengefasst.

Waldentwicklungsziel, langfristiges

Aufbau von Beständen eines Waldentwicklungstyps nach Baumartenzusammensetzung, Mischungsform und vertikaler Struktur, die die aus dem Waldentwicklungstyp sich ergebenden Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen erfüllen.

Wuchsgebiete

Vom geologischen Aufbau klar vorgezeichnete naturräumliche Gliederung. Baden-Württemberg ist in sieben Wuchsgebiete (Schwarzwald, Schwäbische Alb usw.) eingeteilt.

Z-Bäume

Zukunftsbäume werden nach den Kriterien 1. Vitalität, 2. Qualität, 3. Verteilung ausgewählt. Von ihnen verspricht man sich einen besonders hohen Massenzuwachs. Die Zukunftsbäume werden bei der Waldpflege besonders gefördert.

Zwischenwald

Wald, in dem Baumarten des Pionier- und des Schlusswaldes gemischt auftreten oder in dem Baumarten vorherrschen, die sich in der Entwicklung zum Schlusswald als Mischbaumarten behaupten können.

Zuwachs

Die jährlich produzierte Holzmenge eines Waldbestandes auf einer bestimmten Fläche getrennt nach Baumarten.

Quellen- und Literaturhinweise

Waldgesetz für Baden-Württemberg i.d.F. vom 31.8.1995 (GBl S.685)

Schlenker, Gerhard; Müller, Siegfried: Erläuterungen zur Karte der Regionalen Gliederung von Baden-Württemberg III. Teil, S.3-40; in: Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung Heft 26, Verlag Ulmer, Stuttgart 1978

Ministerium Ländlicher Raum: Naturnahe Waldwirtschaft; Eigenverlag, Stuttgart 1992

Ministerium Ländlicher Raum: Waldland Baden-Württemberg; Eigenverlag, Stuttgart 1993

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt: Der Wald in Baden-Württemberg - Im Spiegel der Bundeswaldinventur 1989-1990; Eigenverlag, Freiburg 1993

Bücking, Winfried; Aldinger, Eberhard; Mühlhäußer, Gerhard: Neue Konzeption für Waldschutzgebiete in Baden-Württemberg; in: AFZ, Jahrg. 48, S. 1356-1358; BLV, München 1993

Ministerium Ländlicher Raum: Wald, Ökologie und Naturschutz; Eigenverlag, Stuttgart 1994

Landesforstverwaltung: Forsteinrichtungsstatistiken für die öffentlichen Waldungen in Baden-Württemberg 1981/90; Eigenverlag, Stuttgart 1994

Ministerium Ländlicher Raum: Wald – mehr als die Summe seiner Bäume; Eigenverlag, Stuttgart 1995

Bücking, Winfried; Ott, Wilfried; Püttmann, Wolfgang: Geheimnis Wald, 2. Auflage; DRW Weinbrenner-Verlag, Leinfelden-Echterdingen 1997

Ministerium Ländlicher Raum: Jahresberichte der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg 1998; Eigenverlag, Stuttgart

Deutscher Wetterdienst (DWD) 2000: "Lothar". Der Weihnachtsorkan 1999. Unveröff., Offenbach. 10 Seiten

Deutscher Wetterdienst 2000: Bewertung der Orkanwetterlage am 26.12.1999 aus klimatologischer Sicht. Aus dem Internet DWD

Informationsmöglichkeiten

Interessierten bietet das Internet unter den Adressen

<http://www.wald-online-bw.de>

<http://www.wwwuf.de> oder

<http://fva.forst.uni-freiburg.de>

vielfältige weitere Informationen zu "Wald und Forstwirtschaft"

Zur PEFC-Zertifizierung:

<http://www.dfzr.de>

(für die deutsche Ebene von PEFC);

<http://www.pefc.org>

(für die internationale Ebene von PEFC)

Gesamtkonzept Naturschutz und Landschaftspflege

Am 1. Januar 1976 trat in Baden-Württemberg das Naturschutzgesetz (NatSchG) in Kraft. Seitdem hat die Landesregierung mit Hilfe eines Gesamtkonzeptes die klassischen Instrumente des Naturschutzes und der Landschaftspflege ausgebaut und gestärkt. Das Gesamtkonzept wurde im November 1999 durch die "Leitlinien der Naturschutzpolitik" ergänzt und fortgeführt. Die wichtigsten Instrumente werden im folgenden zusammengefaßt und ihre Umsetzung und Anwendung dargestellt.

Naturschutzgebiete, Naturdenkmale: Im Rahmen von mehrjährigen Schutzprogrammen werden die wertvollsten und wichtigsten Biotope eines jeden Naturraums als Naturschutzgebiete oder Naturdenkmale gesichert, wobei vor allem die gefährdeten Tier- und Pflanzenarten Raum für eine möglichst ungestörte Entwicklung erhalten sollen. Als Pufferzone erforderliche Bereiche werden unter Landschaftsschutz gestellt.

Landschaftsschutzgebiete (§ 22 NatSchG) dienen dagegen eher der Erhaltung der natürlichen Eigenart und Schönheit der Landschaft sowie der Sicherung von Erholungsräumen. Sie haben einen geringeren Schutzstatus gegenüber Veränderungen als die NSG.

Biotoschutzgesetz (§ 24a NatSchG): Zusätzlich sind seit 1. Januar 1992 besonders gefährdete Biotope durch das Biotopschutzgesetz (§ 24a Naturschutzgesetz) unmittelbar und dauerhaft geschützt.

Naturparke (§ 23 NatSchG): Naturparke werden in großräumigen Erholungslandschaften eingerichtet, um die Interessen des Natur- und Landschaftsschutzes einerseits und die Erschließung für Erholungssuchende andererseits aufeinander abzustimmen. Die Erhaltung von Arten und Biotopen haben Naturparke insofern zum Ziel, als sie Naturschutz- und Landschaftsschutzgebiete sowie Naturdenkmale integrieren.

NATUR UND LANDSCHAFT

Gesamtkonzept Naturschutz und Landschaftspflege	L – 1
Gebiets- und Biotopschutz	L – 2
Biotopkartierung	L – 4
Artenschutz	L – 6
Naturschutz nach internationalen Übereinkommen und Richtlinien	L – 9
Grunderwerb und Landschaftspflege	L – 9
Stiftung Naturschutzfonds	L – 13
Landschaftsplanung	L – 14
PLENUM	L – 15
Biotopvernetzung	L – 17
Integriertes Rheinprogramm (IRP)	L – 18
Ökologische Umweltbeobachtung	L – 21
Untersuchungen an Fließgewässern	L – 23
Untersuchungen an Verkehrswegen	L – 28
Anhang	L – 31

Biotopkartierung, Waldbiotopkartierung: In der landesweit 1989 abgeschlossenen Biotopkartierung wurden die ökologisch wertvollen Lebensräume erhoben. Die Ergebnisse unterstützen Behörden und Gemeinden bei der täglichen Arbeit und sind Grundlagen der mittel- und langfristigen Planungen zum Schutz und zur Vernetzung einzelner Lebensräume. Die Biotopkartierung wird durch die § 24a-Kartierung und durch die Waldbiotopkartierung verfeinert, ergänzt und fortgeführt.

Grunderwerb: Das Land hat selbst in beträchtlichem Umfang Grundstücke erworben, um sie dauerhaft für Zwecke des Naturschutzes zu sichern. Mit dem Grunderwerb können Lebensräume für seltene und vom Aussterben bedrohte Tier- und Pflanzenarten gesichert werden.

Landschaftspflege: Die Landschaftspflegeprogramme enthalten neben den klassischen Pflege- und Biotopgestaltungsmaßnahmen auch Ausgleichsleistungen für freiwillige Nutzungsbeschränkungen aus Gründen des Naturschutzes. Land- und Forstwirtschaft beteiligen sich mit

weiteren Maßnahmen, z.B. Biotopvernetzung und Biotopgestaltung, an der Erhaltung und Pflege der Kultur- und Erholungslandschaft.

Ökologisches Wirkungskataster: Schadstoffe in der Umwelt - sei es in Boden, Wasser oder Luft - können Menschen, Tiere und Pflanzen gefährden. Die unmittelbare Untersuchung von Lebewesen auf mögliche Wirkungen von Schadstoffen kann Gewissheit über vorhandene Umweltrisiken schaffen. Die Untersuchungen konzentrieren sich auf wenige geeignete Pflanzen und Tiere (Bioindikatoren). Diese Lebewesen zeigen, stellvertretend für die anderen, Umweltbelastungen an.

Agrarflurbereinigung: Ziel jeder Flurbereinigung ist es, die Agrarstruktur zu verbessern sowie die Kulturlandschaft erhalten und gestalten zu helfen. Das flächendeckende, weiträumige Gesamtkonzept berücksichtigt die landschaftsökologischen Vorstellungen ebenso wie die landwirtschaftlichen Anforderungen.

Biotopvernetzung: Biotopvernetzung ist ein Konzept zur ökologischen Gestaltung der Kulturlandschaft. In Gebieten mit

Gebiets- und Biotopschutz

intensiver landwirtschaftlicher Nutzung geht es darum, Biotope und Ausgleichsräume zur Verbesserung der Lebensbedingungen der Tier- und Pflanzenwelt zu erhalten, ergänzen, schaffen und miteinander zu verbinden.

Landschaftsplanung: Die Landschaftsplanung liefert als Planungsinstrument den ökologischen Orientierungsrahmen für die weitere Entwicklung von Natur und Landschaft.

Gebiets- und Biotopschutz

Naturschutzgebiete (§ 21 NatSchG)

Am 1.1.1999 gab es in Baden-Württemberg 931 rechtskräftig verordnete Naturschutzgebiete mit einer Fläche von rd. 74.027 ha. Seit Inkrafttreten des Naturschutzgesetzes am 1.1.1976 vergrößerte sich der Flächenanteil der Naturschutzgebiete, bezogen auf die Landesfläche, von 0,5 % auf 2,07 % (Abb. 1).

In den einzelnen Regierungsbezirken liegt der Flächenanteil der NSG zwischen 1,10 % (Stuttgart) und 2,88 % (Freiburg).

1997 wurden 26 und 1998 21 NSG mit rund 6.085 ha ausgewiesen. Die durchschnittliche Schutzgebietsgröße lag damit bei 129 ha. Im Vergleich zu 1993 ist die Durchschnittsgröße aller NSG von 68 ha auf 79,5 ha angestiegen.

Die weit überwiegende Mehrzahl aller Naturschutzgebiete weist Flächengrößen zwischen 10 ha und 50 ha auf (Abb. 2). Insgesamt 95 Gebiete sind kleiner als 5 ha, 42 liegen zwischen 250 ha und 1.000 ha und 7 Gebiete sind größer als 1.000 ha. Die großflächigen Naturschutzgebiete liegen in den Regierungsbezirken Freiburg und Tübingen.

Landschaftsschutzgebiete (§ 22 NatSchG)

Die Gesamtfläche der Landschaftsschutzgebiete ist seit Inkrafttreten des Naturschutzgesetzes von 540.143 ha auf 770.106 ha gestiegen. Damit stehen heute 21,5 % der Landesfläche unter Landschaftsschutz (Abb. 3).

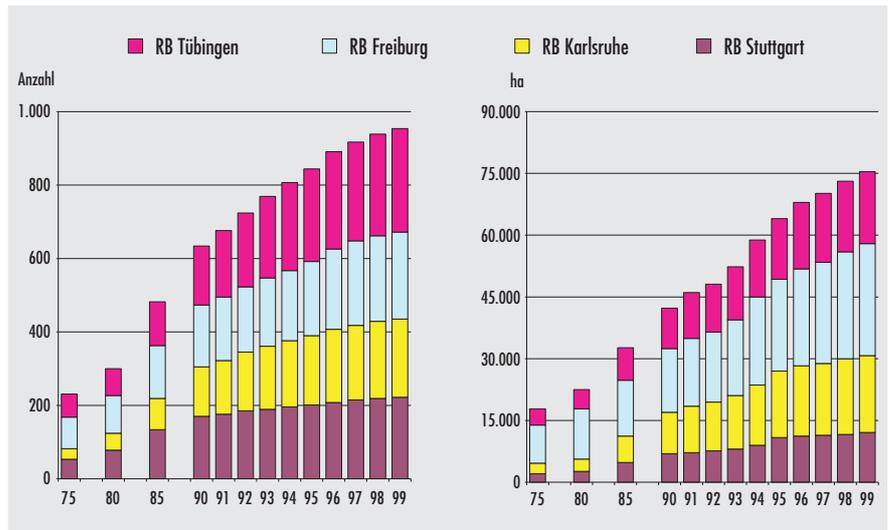


Abb. 1 Naturschutzgebiete in den Regierungsbezirken (RB) Baden-Württembergs nach Anzahl und Flächen (Quelle: LfU)

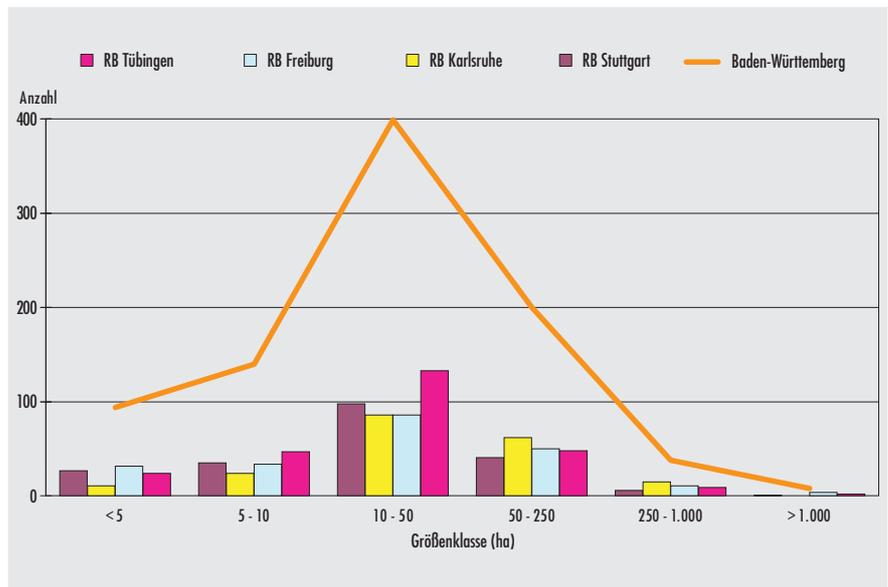


Abb. 2 Anzahl der Naturschutzgebiete in den Regierungsbezirken (RB) Baden-Württembergs und im Land nach Flächengrößen 1996 (Quelle: LfU)

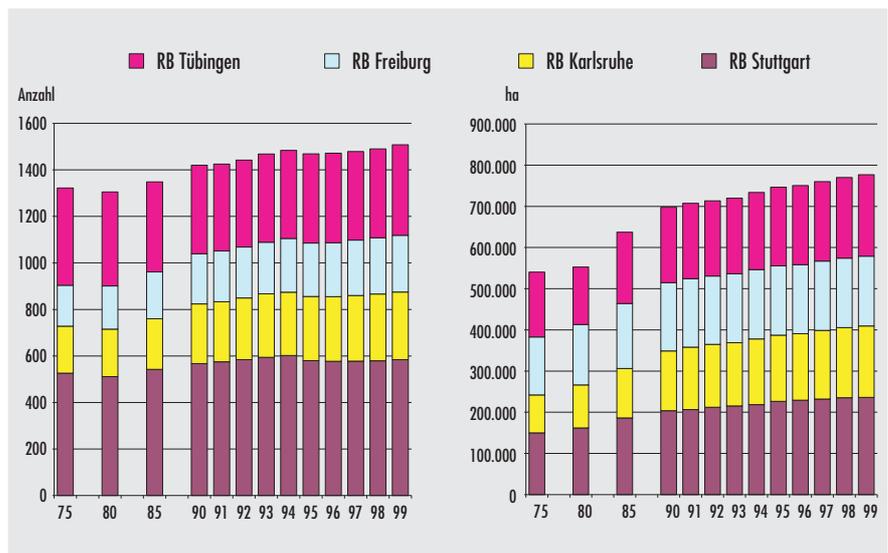


Abb. 3 Landschaftsschutzgebiete in den Regierungsbezirken (RB) Baden-Württembergs nach Anzahl und Flächen (Quelle: LfU)

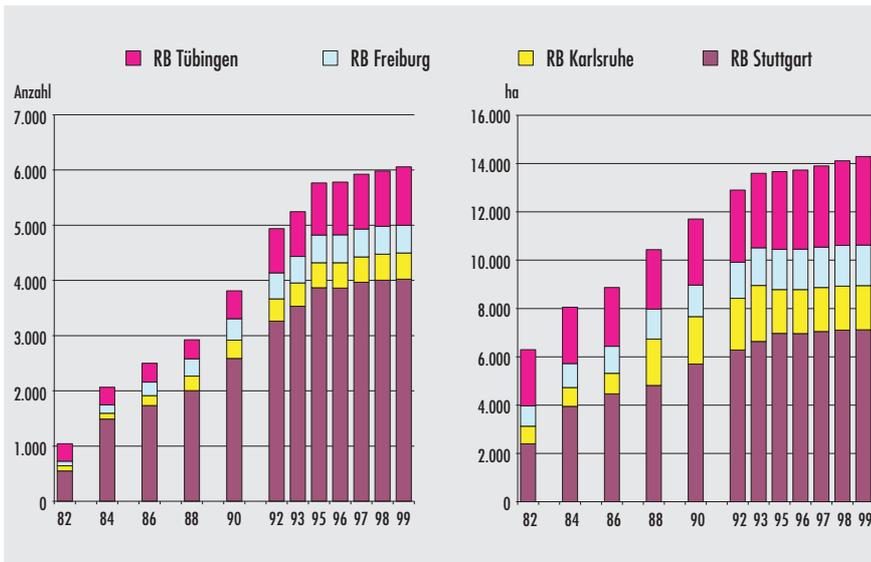


Abb. 4 Naturdenkmale in den Regierungsbezirken (RB) Baden-Württembergs nach Anzahl und Flächen (Quelle: LfU)

Viele neuere Landschaftsschutzgebiete sind als Teile kombinierter Natur- und Landschaftsschutzgebiete ausgewiesen. Die oft kleinflächigen Landschaftsschutzgebietsanteile erfüllen dabei die Funktion einer Pufferzone zwischen den Naturschutzgebieten und den landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Naturdenkmale (§ 24 NatSchG)

Als Naturdenkmale können sowohl Einzelgebilde (wie z.B. Bäume, Felsen) als auch naturschutzwürdige Flächen bis zu 5 ha Größe ausgewiesen werden. Ihr Schutzstatus ist mit dem eines Naturschutzgebietes vergleichbar. Ältere Naturdenkmale sind überwiegend Einzelbildungen, während der Anteil der flächenhaften Naturdenkmale (FND) beträchtlich zugenommen hat.

Landesweit existieren 14.113 Naturdenkmale auf rund 5.983 ha (Stand 1.1.1999; Abb. 4).

Geschützte Grünbestände (§ 25 NatSchG)

Geschützte Grünbestände werden erst seit Beginn der 80er Jahre in nennenswertem Maße ausgewiesen. In den vergangenen Jahren wurden über 75 % verordnet. Die erste Verordnung stammt von 1978. Bis zum Ende des Jahres 1995 wurden 78 geschützte Grünbestände überwiegend innerhalb von Siedlungsbereichen ausgewiesen.

Vor allem in größeren Städten dienen Baumschutzverordnungen bzw. -satzungen nach § 25 NatSchG der Bestandssicherung von Bäumen ab einem bestimmten Durchmesser.

Die Verantwortung für Satzungen zum Schutz von geschützten Grünbeständen liegt seit 1992 bei den Kommunen.

Biotopschutzgesetz (§ 24a NatSchG)

Um den Rückgang an Arten und ihrer Lebensräume zu bremsen, hat das Land in Umsetzung von § 20c BNatSchG zum 1.1.1992 das Biotopschutzgesetz erlassen. Neben den bundesweit gefährdeten Biotopen, wie z.B. Moore, Sümpfe, naturnahe und unverbauete Bach- und Flußabschnitte, Wacholderheiden oder offene Felsbildungen, wurden auch landesspezifische Biotope, wie z.B. Feldhecken und Feldgehölze oder Dolinen, die in der Anlage zum Gesetz definiert sind, unmittelbar geschützt. Der Vollzug ist den unteren Naturschutzbehörden übertragen. Nach den Ergebnissen der § 24a-Kartierung und der Waldbiotopkartierung nehmen diese "Besonders geschützten Biotope" auf der siedlungsfreien Landesfläche ca. 3 % der Landesfläche ein.

Naturparke (§ 23 NatSchG)

Naturparke werden in großräumigen Erholungslandschaften verordnet mit dem Ziel, eine Synthese der Interessen des Landschaftsschutzes einerseits und der Erschließung für den Erholungssuchenden andererseits zu erreichen. Dabei werden Naturschutz- und Landschaftsschutzgebiete in die Naturparke integriert.

In Baden-Württemberg gab es Ende 1999 fünf Naturparke (Tab. 1). Im Südschwarzwald ist 2000 der größte

Naturparke (NP)	NP-Fläche in ha	in % der Landesfläche	NSG-Fläche in ha	in % der NP-Fläche	LSG-Fläche in ha	in % der NP-Fläche
Schönbuch	15.564	0,43	20,0	0,13	14.987	96,3
Stromberg-Heuchelberg	32.850	0,92	137,5	0,42	8.120	24,6
Neckartal-Odenwald	129.200	3,61	315,0	0,24	35.300	27,3
Obere Donau	85.710	2,40	891,3	1,08	22.470	26,8
Schwäbisch-Fränkischer Wald	90.400	2,53	171,0	0,19	21.581	23,9
Südschwarzwald	321.400	8,98	14.513,0	4,52	95.287	29,6
Naturparke insgesamt	675.224	18,89	16.047,8	2,38	197.745	29,3

Tab. 1: Übersicht über die Naturparke in Baden-Württemberg mit Anteilen der NSG- und LSG-Flächen (Quelle: LfU; Stand 31.12.1996)

deutsche Naturpark mit rund 320 000 ha errichtet worden.

Naturschutzzentren

Baden-Württemberg hat mehrere Naturschutzzentren eingerichtet, um in Zusammenarbeit mit den Kreisen und Kommunen die Betreuung der wichtigsten Naturschutzgebiete vor Ort zu verbessern. Zur Betreuungsaufgabe gehören Besucherinformation und Besucherlenkung ebenso wie die Organisation und Kontrolle von Pflegemaßnahmen und die Dokumentation von Entwicklungen in den Schutzgebieten. Gleichzeitig vermitteln die Zentren Informationen allgemein über die Ziele, Aufgaben und Inhalte des Naturschutzes und über den jeweiligen Naturraum im Besonderen. Hierzu ist bei jedem Naturschutzzentrum eine Dauerausstellung eingerichtet. Ein weiterer Schwerpunkt sind Seminare, Projekttag und sonstige Veranstaltungen.

In Baden-Württemberg gibt es sechs Naturschutzzentren:

- *Bad Wurzach* für den Naturraum des oberschwäbischen Moor- und Hügellandes. Es betreut das Naturschutzgebiet "Wurzacher Ried" und die Feuchtgebiete im Landkreis Ravensburg.
- *Eriskirch* für die Bodenseelandschaft. Es betreut das Naturschutzgebiet "Eriskircher Ried" und die "Bodensee-Uferlandschaft" am Obersee.
- *Schopflocher Alb* für den Albtrauf und das Albvorland mit seinen vielfältigen Biotopen wie z.B. Wacholderheiden, Streuobstwiesen, Felsen und Höhlen.
- *Beuron/Obere Donau* in Beuron für das Durchbruchtal der Donau und seine Umgebung - eine der eindrucksvollsten Landschaften des deutschen Südwestens mit ihrer Vielfalt an Buchenwäldern, Talauen, Felsbiotopen, Trockenrasen und Halbtrockenrasen.
- *Karlsruhe-Rappenwört* für die Natur und Landschaft der Rheinauen.
- *Rubestein im Schwarzwald* an der Nahtstelle der zwei größten Natur-

schutzgebiete des nördlichen Schwarzwaldes: "Schliffkopf" und "Hornisgrinde Wilder See-Hornisgrinde".

Das Naturschutzzentrum am *Feldberg* ist im Bau.

Schutzgebietsprogramm

Auf der Grundlage des Gesamtkonzepts Naturschutz und Landschaftspflege helfen mehrjährige Schutzgebietsprogramme die wichtigsten Biotope eines jeden Naturraumes als Naturschutzgebiete oder flächenhafte Naturdenkmale sichern; die als Pufferzonen erforderlichen Bereiche werden unter Landschaftsschutz gestellt. Dabei sollen für die Tier- und Pflanzenwelt ausreichend große Lebensräume erhalten, wiederhergestellt und vernetzt werden.

Die geplanten Schutzgebiete werden nach folgenden Prioritäten bewertet:

- Seltenheit der Biotope
- Gefährdung
- Artenvielfalt
- Repräsentanz bezüglich Biotoptypen und Naturraum
- Bedeutung als Lebensstätte für gefährdete Arten
- Vernetzbarkeit mit anderen Biotopen
- Durchsetzbarkeit.

Gesamtstaatlich repräsentative Gebiete

Ein Programm der Bundesregierung fördert die Errichtung und Sicherung schutzwürdiger Teile von Natur und Landschaft mit gesamtstaatlich repräsentativer Bedeutung: Gebiete von hervorragender Qualität und nationaler Bedeutung.

Auswahlkriterien sind:

- Repräsentanz für Deutschland
- Typische Ausprägung von Ökosystemen und Biozönosen
- Naturnähe
- Gefährdung
- Einmaligkeit, Unersetzbarkeit und Bedeutung für die Forschung.

Folgende Naturschutzgebiete Baden-Württembergs wurden bisher in das Förderprogramm aufgenommen:

- *Wollmatinger Ried-Untersee-Gnadensee* (Träger: Naturschutzbund Deutschland; Förderzeitraum 1989-1997),
- *Wurzacher Ried* (Träger: Landkreis Ravensburg; Förderzeitraum 1987-1997),
- *Badberg/Haselschacher Buck* (Träger: Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald; Förderzeitraum 1990-1994).

Weitere Gebiete sind in Planung (Pfrunger Ried, Feldberg, Grindenschwarzwald).

Biotopkartierung

Vielfältige Nutzungsansprüche haben einen großen Wandel bei den Landnutzungsformen bewirkt. Unsere Landschaft ist heute einem umfassenden und nachhaltigen Änderungsprozess unterworfen. Viele bei uns vorkommende Lebensräume und ihre Arten sind in ihrem Bestand gefährdet. Um diesen negativen Auswirkungen des Landschaftswandels entgegenzuwirken und um einen wirksamen Schutz der wertvollen Lebensräume und Arten zu erreichen, müssen die hierfür erforderlichen Grunddaten bekannt sein. Dies war 1976 der Anstoß zum Beginn der Biotopkartierung.

Heute bildet die Biotopkartierung einen wichtigen Baustein des Umweltinformationssystems (UIS), insbesondere als wesentlicher Datenbestand des Arten-, Landschafts- und Biotopinformationssystems (ALBIS).

Die Ergebnisse der Biotopkartierung haben sich zu einer unentbehrlichen Arbeitsgrundlage für den Naturschutz entwickelt. Behörden und freien Planern stehen hiermit landesweite Erhebungen von Grundlegendaten des Naturschutzes für ihre Planungen in der freien Landschaft zur Verfügung. Über längere Zeiträume hinweg stellt die Biotopkartierung bei turnusmäßiger Wiederholung auch ein effizientes Instrumentarium zur

Beobachtung der Landschaftsentwicklung dar.

Die Biotopkartierung Baden-Württemberg begann 1976 mit einer Pilotstudie. Die entwickelte Methodik sah die flächendeckende Untersuchung und die selektive Erhebung ökologisch wertvoller Bereiche auf der gesamten siedlungsfreien Fläche im Maßstab 1:25.000 vor.

Die erste Phase der Biotopkartierung, die *Übersichtskartierung*, fand von 1977 bis 1980 unter dem Einsatz von ca. 220 ehrenamtlichen Mitarbeitern statt. Bei der zweiten Phase, der *Intensivkartierung*, wurden Biologen eingesetzt; die Intensivkartierung dauerte von 1981 bis 1989.

§ 24a-Kartierung

Bis 1992 war die Biotopkartierung eine fachwissenschaftliche Erhebung ohne Rechtsverbindlichkeit. Durch das seit 1992 geltende Biotopschutzgesetz hat sie eine völlig neue Zweckbestimmung erhalten. Nach § 24a NatSchG genießen die dort genannten Biotope einen unmittelbaren gesetzlichen Schutz, der dem eines durch Rechtsverordnung geschützten Naturschutzgebietes oder Naturdenkmals entspricht. Um für die betroffenen Eigentümer oder Nutzer von Grundstücken Rechtsklarheit zu schaffen, hat die untere Naturschutzbehörde den gesetzlichen Auftrag, "besonders geschützte Biotope" in Listen und Karten mit deklaratorischer Bedeutung zu erfassen. Außerdem ist die Naturschutzbehörde zur Auskunft gegenüber Eigentümern über das Vorkommen von "besonders geschützten Biotopen" auf ihren Grundstücken und über zulässige oder verbotene Handlungen in den Biotopen verpflichtet.

Infolge dieser Anforderungen hat die LfU eine Kartiermethode für die § 24a-Kartierung entwickelt. Die § 24a-Kartierung geschieht mit parzellenscharfer Eintragung der Biotopgrenzen in Karten im Maßstab 1:5.000 oder größer. Die fachliche Betreuung der Kartierer und die

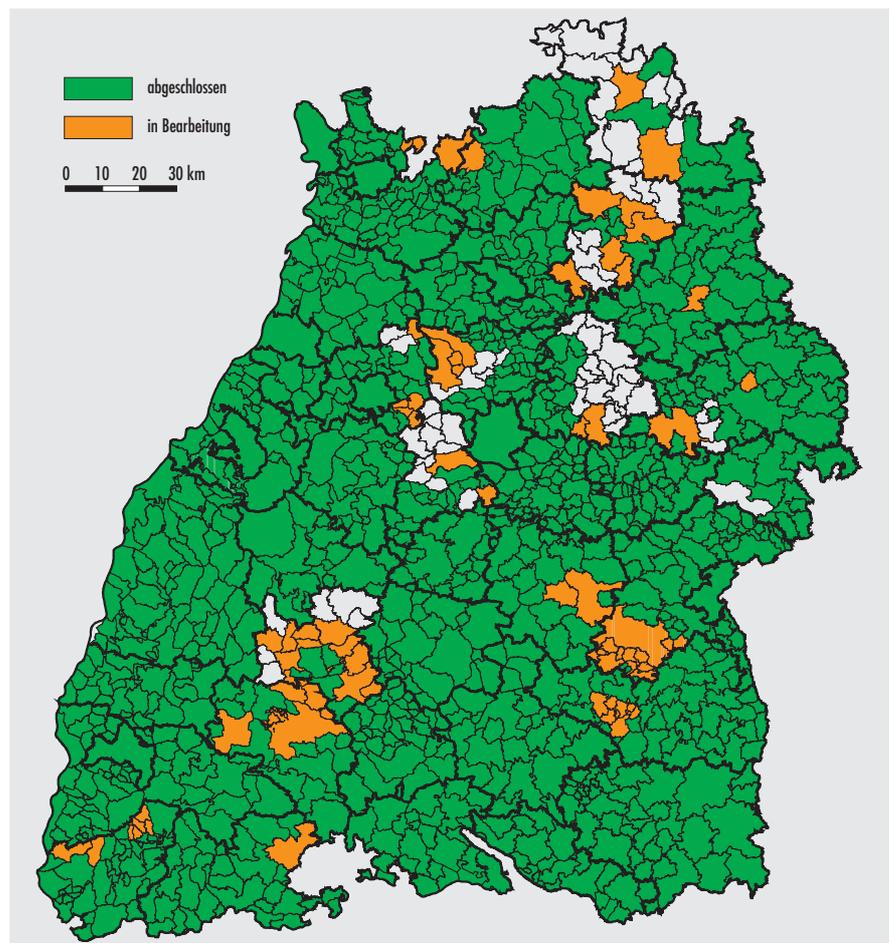


Abb. 5 Stand der § 24a-Kartierung in Baden-Württemberg (Quelle: LfU, August 2000)

landesweite Zusammenführung der Daten nimmt die LfU vor. Die 1992 begonnene § 24a-Kartierung ist außerhalb des Waldes - bezogen auf besonders geschützte Biotope - die Fortführung der Biotopkartierung. Die § 24a-Kartierung war mit Stand vom 15.12.1999 in 962 Gemeinden abgeschlossen und lief zu diesem Zeitpunkt in 57 Gemeinden (Abb.5).

Waldbiotopkartierung

Die dritte Phase der Biotopkartierung findet im Wald statt. Die *Waldbiotopkartierung* begann 1989 unter der Projektleitung durch die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) in Freiburg.

Bei der Waldbiotopkartierung wird eine speziell an den Lebensraum Wald angepasste und unter Berücksichtigung forstlicher Belange entwickelte, selektive Kartiermethodik eingesetzt (Maßstab 1:10.000). Es werden nur naturnahe und

seltene Waldgesellschaften, nicht jedoch naturnahe und repräsentative Bestände verbreiteter Gesellschaften erhoben.

In Kooperation zwischen Naturschutz- und Forstverwaltung führen Biologen und Forstwissenschaftler über die Geländeerhebung eine einheitliche und abgestimmte Kartierung des hochwertigen und seltenen Naturpotentials durch, die in den Datenbestand der landesweiten Biotopkartierung integriert wird. Zusätzlich werden über die Waldbiotopkartierung die besonders geschützten Biotope (§ 24a NatSchG) im Wald und der Biotopschutzwald (§ 30a LWaldG) erfasst.

Der erste landesweite Durchgang der Waldbiotopkartierung wurde 1998 abgeschlossen. Es wurden rund 49.000 Biotope mit 82.000 ha erfasst. Von der erfassten Biotopfläche unterliegen 45.000 ha dem Schutz von §24a NatSchG, dies sind etwa 1,3 % der Landesfläche (Abb. 6). 1999 wurde eine Nacherhebung für einen Teil des Landes begonnen.

Hiermit sollen die Ergebnisse hinsichtlich der Anforderungen von §§ 24a NatSchG und 30a LWaldG noch präzisiert werden.

Artenschutz

Nach § 28 Naturschutzgesetz erstellt die LfU unter Mitwirkung der Naturschutzverbände und sachkundiger Bürger ein Artenschutzprogramm. Dieses hat zum Ziel, die freilebende Tier- und Pflanzenwelt zu erhalten. Zu diesem Zweck stehen vielfältige Maßnahmen zur Verfügung.

Bestandsaufnahmen der gefährdeten Tier- und Pflanzenarten

Über den Weltbestand an Arten gibt es nur Schätzungen; sie schwanken zwischen 5 und 30 Millionen Arten. Die Zentren der Artenvielfalt liegen nicht in Mitteleuropa oder anderen Teilen der gemäßigten Zone, sondern in den Tropen. Die Wissenschaft nimmt an, dass auf die für den globalen Naturhaushalt besonders wichtigen tropischen Ökosysteme etwa 40 % des Artenbestandes entfallen. In Deutschland kommen nach Schätzungen 40.000 bis 50.000 Tierarten und 20.000 Pflanzenarten vor. Wegen seiner geologischen und klimatischen Vielfalt sind etwa 75 % davon in Baden-Württemberg vertreten.

Rote Listen der in Baden-Württemberg gefährdeten Tier- und Pflanzenarten

Über den Grad der Gefährdung der Tier- und Pflanzenarten geben die Roten Listen der gefährdeten Arten Auskunft. Darin wird jede gefährdete Art einer von fünf Gefährdungskategorien zugeordnet. Die Bearbeitung und Fortschreibung der Roten Listen ist Aufgabe der LfU; Grundlage dazu ist die Erstellung des Artenschutzprogramms (§ 28 NatSchG).

Aus den bisher veröffentlichten Roten Listen folgt, dass etwa 40 % der Landesfauna und -flora im Bestand als gefährdet einzustufen sind, das ist also jede zweite heimische Tier- und Pflanzenart. Der Anteil gefährdeter Arten schwankt zwischen 15 % (Großpilze) und 100 %

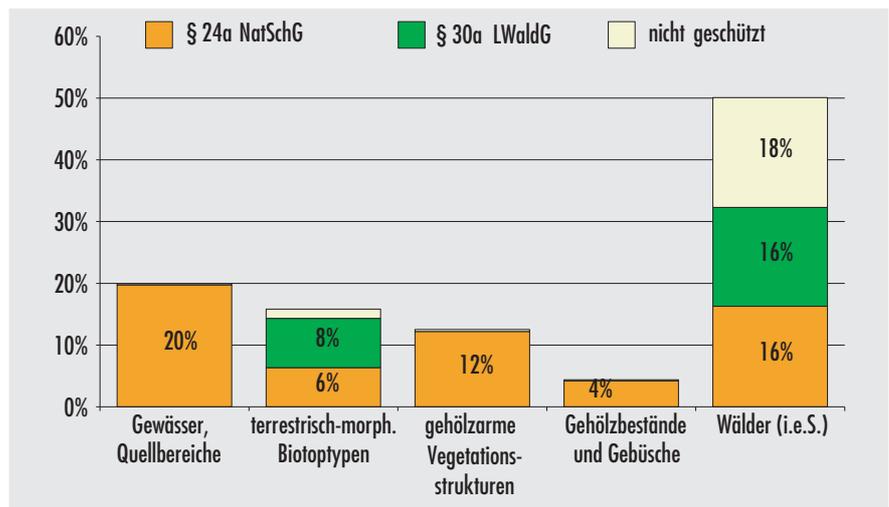


Abb. 6 Biotoptypenspektrum der Waldbiotopkartierung (Quelle: LfU; Stand 1998)

(Kiemenußkrebse). Es ist zu befürchten, daß ein Überleben der gefährdeten Arten langfristig nicht mehr sichergestellt werden kann. Untersuchungen z.B. für die Grundlagenwerke zum Artenschutzprogramm legen den Schluss nahe, daß der Rückgang der Arten und ihrer Lebensräume inzwischen ein bedenklicheres Stadium erreicht hat, als es die Roten Listen auszudrücken vermögen (Tab. 2).

Zwischen der Bedrohung der heimischen Fauna und Flora und der Bedrohung der Lebensgrundlagen des Menschen besteht ein enger Zusammenhang. Dies ist unmittelbar einzusehen, wenn z.B. in einer gefährdeten Wildpflanze eine als Heilmittel wirksame Substanz entdeckt wird. Schwerer zu verstehen sind ökologische Verknüpfungen. So hatte die Regulierung des Oberrheins zweierlei Auswirkungen: Die auentypische Flora und Fauna sind weitgehend verschwunden, und die Hochwassergefahr ist merkbar gestiegen. Die große Zahl der Erholungsuchenden in Gebieten, die sich durch großen Artenreichtum auszeichnen, zeigt überdies, wie wichtig solche Landschaften mit hoher Artenvielfalt für das psychische Wohlbefinden der Menschen sind.

Grundlagenwerke zum Artenschutzprogramm

Das Artenschutzprogramm hat die Zustandserfassung und -bewertung der in

Baden-Württemberg vorkommenden Arten sowie die sich darauf beziehenden Schutzmaßnahmen im Artenschutz zum Gegenstand. Mit diesem Programm fördert die Landesregierung die Bestandsaufnahmen von Fauna und Flora sowie die zeit- und praxishere Aufarbeitung der zahlreichen ökologischen Daten. Die fachliche Betreuung dieser Grundlagenwerke liegt seit 1993 bei der Landesanstalt für Umweltschutz. Die Grundlagenwerke erstellt die LfU zusammen mit den Staatlichen Museen für Naturkunde Stuttgart und Karlsruhe, mit Autoren und Mitautoren sowie zahlreichen ehrenamtlichen Mitarbeitern.

Die Grundlagenwerke gliedern sich in einen allgemeinen und einen besonderen Teil. Der *allgemeine Teil* gibt die zum Verständnis des besonderen Teils notwendigen Informationen und fasst die Schlußfolgerungen zusammen, die sich aus dem besonderen Teil ergeben. Er stellt die Biologie und Ökologie von Artengruppen relativ ausführlich dar.

Der *besondere Teil* besteht aus Texten zu den einzelnen Arten. Jede wildlebende Art wird berücksichtigt. Die Artentexte bestehen aus Abschnitten über Biologie, Ökologie/Habitat, weltweite Verbreitung, Verbreitung in Baden-Württemberg (mit einer Rasterkarte), Bestand und Gefährdung und aus Vorschlägen für Schutz- und Pflegemaßnahmen. In den meisten Grundlagenwerken finden sich darüber hinaus weitere Abschnitte, z.B. im Grund-

Artengruppe	Gesamtartenzahl	nicht gefährdet	0	1	2	3	R	G	0-G (abs.)	0-G (%)
Säugetiere	64	21	10	12	9	8	4	-	43	67
Vögel (Brutvögel)	218	108	23	34	25	19	-9	-	110	50
Lurche und Kriechtiere	28	8	0	5	9	5	0	1	20	71
Fische	58	21	8	11	9	9	0	-	37	64
Schnecken und Muscheln	235	124	7	14	43	24	23	-	111	47
Spinnen	643	490	6	2	32	101	12	-	153	24
Weberknechte	28	23	0	0	1	2	2	-	5	18
Kiemenfußkrebse	5	0	1	1	1	2	0	-	5	100
Libellen	71	20	1	22	16	10	2	0	51	72
Laufkäfer	396	203	6	22	85	67	13	-	193	49
Schwebfliegen	366	251	3	17	33	57	5	-	115	31
Heuschrecken, Grillen, Fangschrecken	68	37	2	8	8	13	0	0	31	46
Eintagsfliegen	86	29	4	11	15	7	10	-	47	62
Stechimmen (ohne Bienen)	430	288	14	36	43	33	16	-	142	33
Bienen	460	252	23	38	87	57	3	0	208	45
Wegwespen	79	35	12	9	7	16	0	-	44	56
Großschmetterlinge	797	498	43	42	69	98	18	ca. 29	299	38
Zünslerfalter	204	101	13	34	30	17	9	-	103	50
Goldwespen	66	33	7	9	6	9	2	-	33	50
Grabwespen	225	108	14	20	35	24	0	24	117	52
Netzflügler	~96	~49	6	15	8	11	7	-	47	~49
Großpilze	~3600	~3142	6	37	138	151	126	-	458	~13
Farn- und Blütenpflanzen	2140	1365	89	119	227	235	60	45	775	36

Erläuterung der Kopfzeile: 1: vom Aussterben bedroht 3: gefährdet G: Gefährdung anzunehmen; ohne
 0: ausgestorben oder verschollen 2: stark gefährdet R: extrem selten Ziffer: Kategorie nicht berücksichtigt

Zeichenerklärung: * Es wurden Arten in eine Vorwarnliste oder als schonungsbedürftig eingestuft und von den Bearbeitern der Roten Liste als zu dieser gehörend bewertet. Diesem Vorgehen wird hier nicht gefolgt. Die Arten der Vorwarnlisten und die schonungsbedürftigen Arten werden hier nicht als gefährdet angesehen. Wegen Einzelheiten wird auf die Originalliteratur (siehe Arten- und Biotopschutzprogramm) verwiesen.

Tab. 2 Die in Baden-Württemberg ausgestorbenen, verschollenen und gefährdeten Tier- und Pflanzenarten (ausgewählte Artengruppen, Zahlen entnommen dem „Arten- und Biotopschutzprogramm Baden-Württemberg, 1989-2000“)

Grundlagenwerk	erschienene Bände	Bände in Bearbeitung
Die wildlebenden Säugetiere Baden-Württembergs	-	2
Die Vögel Baden-Württembergs	8	3
Die Amphibien und Reptilien Baden-Württembergs	-	1
Die Wildbienen Baden-Württembergs	2	-
Die Schmetterlinge Baden-Württembergs	7	2
Die Pracht- und Hirschkäfer Baden-Württembergs	-	1
Die Heuschrecken Baden-Württembergs	1	-
Die Libellen Baden-Württembergs	1	1
Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs	8	-
Die Moose Baden-Württembergs	-	3
Die Flechten Baden-Württembergs	2	-
Die Großpilze Baden-Württembergs	2	2

Tab. 3 Die Grundlagenwerke zum Artenschutzprogramm Baden-Württemberg (Quelle: LfU; Stand 9/2000)

Nutzungsänderungen und Nutzungsintensivierung in der modernen Landwirtschaft (z.B. Umbruch von Wiesen, Beseitigung von Streuobstbeständen, intensive Grünlandnutzung, Biozide, Düngung, Entwässerung);
 Nutzungsänderung durch Aufforstung;
 Ausbau und Verschmutzung von Gewässern;
 Beseitigung von Grenz- und Übergangsbiotopen sowie Kleinbiotopen (z.B. Raine, Böschungen, Steinriegel, Trockenmauern, Hecken, Feldgehölze, Einzelbäume);
 Landschaftsverbrauch, insbesondere von biologisch-ökologisch wertvollen Biotopen, durch Siedlungen, Verkehrswege und Abbau von Bodenschätzen;
 Beeinträchtigung von Habitaten durch Freizeit- und Erholungsaktivitäten;
 Schäden durch Umweltchemikalien

Tab. 4 Ursachen des Artenrückgangs

lagenwerk Schmetterlinge ein Abschnitt über das jahreszeitliche Auftreten.

Die in Tab. 3 aufgeführten Grundlagenwerke zum Artenschutz sind bisher erschienen oder werden zur Zeit erarbeitet.

Die Grundlagenwerke machen es möglich, die Verbreitung und Situation der heimischen Tier- und Pflanzenarten in Baden-Württemberg auf wissenschaftlicher Grundlage in einer vorher nicht gekannten Genauigkeit zu beurteilen. Sie enthalten auch Vorschläge für Schutz- und Pflegemaßnahmen. Sie sind daher eine unentbehrliche Grundlage für die Arbeit der Naturschutzbehörden - vor allem für den Schutz von Arten, die wegen ihrer besonderen Lebensansprüche nicht von den allgemeinen Biotopschutz- und -pflegemaßnahmen profitieren.

Ursachen für den Artenrückgang

Die Ursachen für den Artenrückgang sind vielfältig und in ihrer Ausprägung und Gewichtung von Art zu Art verschieden. Der Artenrückgang geht wesentlich auf die unmittelbare Beeinträchtigung, Verkleinerung, Zersplitterung und Beseitigung der natürlichen und naturnahen Habitats zurück. Die Hauptursachen für den Artenrückgang reichen teilweise weit in die Vergangenheit zurück (Tab. 4).

Kartierung der nach § 24a des Naturschutzgesetzes geschützten Biotope Baden-Württembergs;
 Waldbiotopkartierung der Forstbehörden; Schutz von Waldbiotopen nach § 30a Landeswaldgesetz (LWaldG);
 Ausweisung von Naturschutzgebieten und flächenhaften Naturdenkmälern sowie von anderen Schutzgebieten nach Naturschutzrecht;
 Ausweisung von Bann- und Schonwäldern nach LWaldG;
 Auswertung und Umsetzung der Grundlagenwerke zum Artenschutzprogramm;
 Pflege- und Extensivierungsprogramme

Tab. 5 Wichtige behördliche Maßnahmen gegen den Artenrückgang

Maßnahmen gegen den Artenrückgang

Gesetzliche und andere rechtliche Maßnahmen der Landesregierung gegen den Artenrückgang können die Bedeutung mancher der oben genannten Ursachen für den Artenrückgang wesentlich verringern (Tab. 5 und 6).

Auswertung und Umsetzung der Grundlagenwerke zum Artenschutzprogramm

Die Landesanstalt für Umweltschutz und die Bezirksstellen für Naturschutz und Landschaftspflege sind mit der "Auswertung und Umsetzung der Grundlagenwerke zum Artenschutzprogramm" beauftragt. Das Projekt konzentriert sich auf die vom Aussterben bedrohten und stark gefährdeten Arten mit verhältnismäßig wenigen Vorkommen. Gefährdete Arten, die landesweit noch eine größere Anzahl von Vorkommen besitzen, sind entweder bei Schutz und Pflege von Schutzgebieten und bei den § 24a-Biotopen berücksichtigt, oder es werden für sie Artenhilfsprogramme ohne konkreten Flächenbezug erstellt. Nicht gefährdete Arten benötigen auf mittlere Sicht keine besonderen Schutz- und Pflegemaßnahmen.

Derzeit werden folgende Grundlagenwerke Baden-Württembergs ausgewertet und umgesetzt (Tab. 2):

Gesetz zur Änderung des Naturschutzgesetzes (Biotopschutzgesetz) vom 19. November 1991;
 Gesetz zum Schutz des Bodens (Bodenschutzgesetz - BodSchG) vom 24. Juni 1991;
 Gesetz über die Einschränkung der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (PflSchAnwG) vom 17. Dezember 1990;
 Richtlinie des Umweltministeriums und des Ministeriums Ländlicher Raum für die Gewährung von Zuwendungen für Maßnahmen der Biotop- und Landschaftspflege, des Artenschutzes und der Biotopgestaltung, für Nutzungsbeschränkungen aus Gründen des Naturschutzes und für die Biotopvernetzung (Landschaftspflechterichtlinie) vom 18. Dezember 1990

Tab. 6 Wichtige rechtliche Maßnahmen gegen den Artenrückgang

Die Vögel, Die Wildbienen, Die Farn- und Blütenpflanzen, Die Schmetterlinge, Die Heuschrecken, Die Libellen, Die Flechten und Die Großpilze.

Die Auswertung und Umsetzung der Grundlagenwerke besteht aus folgenden Arbeitsschritten:

- Auswahl der Arten, die beim Projekt "Auswertung und Umsetzung" berücksichtigt werden,
- Auswertung der in den Grundlagenwerken zu diesen Arten enthaltenen Daten,
- Beschaffung weiterer vorkommensbezogener Daten, z.B. Dateien der Naturkundemuseen, Sammlungen,
- Untersuchung der Vorkommen im Gelände: räumliche Lage und Ausdehnung des Vorkommens, Bestandsgröße, Habitatbeschreibung, Bestandssituation, Beeinträchtigung, Schutzstatus des Habitats (z.B. Naturschutzgebiet), Begleitarten, Literatur- und Quellenangaben zum Vorkommen sowie zu Schutz- und Pflegemaßnahmen.

Das Ergebnis der Auswertung ist in allen Fällen, in denen Schutz- und Pflegemaßnahmen für ein Vorkommen als notwendig erkannt werden, ein detaillierter Maßnahmenplan. Diesen setzen die Naturschutzbehörden, nötigenfalls nach Anpassung an andere Naturschutzpla-

Abfolge	Arbeitsschritt	Institution	Personen
1.	Erarbeitung Grundlagenwerk,	Naturkundemuseen, Biologen, Biologenbüros	Autoren mit Mitarbeitern
2.	Prioritätsfestlegung	landesweite Arbeitsgruppe	Auswerter, LfU, Umsetzer, BNL, Autoren, Naturschutzverbände
3.	Populationsuntersuchung	LfU	Auswerter mit Mitarbeitern
4.	Erstellen Erhebungsbogen	LfU	Auswerter mit Mitarbeitern
5.	Versand an BNL und Naturkundemuseen	LfU	
6.	Anpassung an BNL-Planung	BNL, regionale Arbeitsgruppe	Artenschutzreferent, Umsetzer
7.	Maßnahmendurchführung	BNL, Beauftragung anderer (z.B. Forstämter)	Umsetzer, Gebietsreferent
8a.	einmalige Erfolgskontrolle	BNL, ggf. LfU	Umsetzer, ggf. Auswerter
8b.	regelmäßige Erfolgskontrollen/ Langzeitbeobachtung	BNL	Gebietsreferent, Umsetzer
9.	Folgemaßnahmen	BNL, Beauftragung anderer Fachbehörden	
10.	Rückmeldung an LfU (nach Abschluss von 10a, 10b oder 11)	BNL	
11.	landesweite Bestandsbewertung	LfU, Naturkundemuseen	

Ablaufdiagramm zur Auswertung und Umsetzung der Grundlagenwerke

nungen, um. Maßgebliche Behörden sind hierfür die Bezirksstellen für Naturschutz und Landschaftspflege (BNL) in Stuttgart, Karlsruhe, Freiburg und Tübingen. Hier übernehmen besondere Fachkräfte (sog. "Umsetzer") die verwaltungsmäßige und technische Vorbereitung der vorgeschlagenen Maßnahmen in enger Zusammenarbeit mit dem jeweils zuständigen Gebietsreferenten der BNL. Soweit möglich, führen die Pflgetrupps der BNL diese Maßnahmen durch. Häufig erfolgt die Umsetzung gemeinsam mit den Kreisen und Gemeinden, der Forstverwaltung, anderen Behörden und den Naturschutzverbänden. In vielen Fällen können dafür auch Landwirte gewonnen werden.

Beispiele:

1. Vorkommen des Lungen-Enzians (*Gentiana pneumonanthe*, in Baden-Württemberg stark gefährdet) in der mittleren Oberrheinaue; Wiese mit Enzian-Vorkommen brachgefallen; bei Wiesennutzung würde sich das Enzian-Vorkommen wieder vergrößern; daher: Vereinbarung mit Gemeinde, daß Fläche in Zukunft von der Gemeinde gemäht wird;

2. Vorkommen des Hellen Wiesenknopf-Ameisenbläulings (*Maculinea teleius*, in Baden-Württemberg stark gefährdet): Vorkommen liegt in einem Naturschutzgebiet; mit der Bezirksstelle für Naturschutz und Landschaftspflege wurde eine für den Fortbestand der Ameisenbläulings-Population notwendige Modifizierung des Pflegeplans vereinbart.

Naturschutz nach internationalen Übereinkommen und Richtlinien

Für den Arten- und Biotopschutz sind weltweit Übereinkommen und Konventionen abgeschlossen worden. Sie bilden ein Leitsystem, an dessen Spitze die Biodiversitätskonvention von Rio de Janeiro steht (Tab. 7) und das teilweise in Rechtsvorschriften der Europäischen Union (EU) übernommen worden ist (Tab. 8). Diese Rechtsvorschriften sind für die EU-Staaten verbindlich, müssen aber jeweils auch in nationales Recht umgesetzt werden.

Ein Teil der Bestimmungen der EU-Richtlinien ist durch die Novellierung der Bundesnaturschutzverordnung umgesetzt. Dies gilt v.a. für besondere Schutzvorschriften für zahlreiche be-

drohte Arten, z.B. Entnahme-, Fang- und Störverbote sowie Besitz-, Vermarktungs- und Verkehrsverbote.

Soweit der Schutz der Arten und ihrer Habitate nur über flächenschützende Maßnahmen erreicht werden kann, erfolgt die Umsetzung nach dem Naturschutzgesetz des Landes (Tab. 9).

Neben den gesetzlichen Schutzgebieten gibt es noch Schutzgebiete, die wegen ihres besonders guten Erhaltungszustandes oder Artenreichtums zusätzlich durch den Europarat oder internationale Institutionen ausgezeichnet sind (Europadiplom-Gebiete, Europareservate oder Biogenetische Reservate, Tab. 10).

Grunderwerb und Landschaftspflege

Als erstes Bundesland hatte Baden-Württemberg systematisch mit dem *Grunderwerb* für Naturschutzzwecke begonnen. Bis 1999 wurden fast 9.200 ha Fläche erworben und damit für Zwecke des Naturschutzes gesichert. Hierfür haben das Land und die Stiftung Naturschutzfonds (SNF) bis jetzt einen Betrag von über 194 Mio. DM aufgewendet.

Der Grunderwerb und die langfristige Anpachtung von Flächen für Natur-

RIO-KONVENTION			
Übereinkommen über die biologische Vielfalt (Biodiversitätskonvention)			
Datum/Ort der Verabschiedung	5. Juni 1992 in Rio de Janeiro	Regelungsbereich	Erhaltung der Biodiversität (Vielfalt der Arten, Vielfalt der Lebensräume, genetische Variabilität der Arten)
In der BRD in Kraft seit	21. März 1994	Zielsetzung	Erhaltung der biologischen Vielfalt: durch in-situ- und ex-situ-Erhaltung durch Regelung der nachhaltigen Nutzung
Räumliche Geltung	weltweit		
Mitglieder	172 Staaten (abgeschlossene Ratifikationsverfahren)		Regelung des Zugangs zu genetischen Ressourcen gerechte Verteilung der Erträge

	Ramsar-Konvention	Berner Konvention	Bonner Konvention	Washingtoner Artenschutzübereinkommen
Datum/Ort der Verabschiedung	2. Februar 1971 in Ramsar (Iran)	19. September 1979 in Bern (Schweiz)	23. Juni 1979 in Bonn	3. März 1973 in Washington (USA)
In der BRD in Kraft seit	25. Juni 1976	1. April 1985	1. Oktober 1984	20. Juni 1976
Räumliche Geltung	weltweit	Gebiet der Europaratsstaaten und das angrenzende Verbreitungsgebiet	weltweit	weltweit
Mitglieder	106	36	52 Staaten	144 Staaten
Regelungsbereich	Biotopschutz	Biotopschutz und Schutz vor direktem menschlichen Zugriff	Biotopschutz und Schutz vor direktem menschlichen Zugriff	Handelsbeschränkungen
Zielsetzung	Schutz von Feuchtgebieten internationaler Bedeutung, insbesondere als Lebensraum für Wat- und Wasservögel Sicherung der nachhaltigen Nutzbarkeit	Schutz wildlebender Tier- und Pflanzenarten und ihrer natürlichen Lebensräume (Habitatschutz) für Europa	Erhaltung/Schutz aller wildlebenden wandernden Tierarten, deren Wanderwege regelmäßig über Staatsgrenzen hinweggehen Abschluss von Regionalabkommen für wandernde Arten (Abk. zur Erhaltung der Fledermäuse in Europa v. 4.12.1991; Afrik.-eurasisches Wasservogelübereinkommen, 1.11.99 in Kraft)	Schutz gefährdeter wildlebender Tier- und Pflanzenarten vor deren übermäßiger Nutzung durch den internationalen Handel

Tab. 7 Internationale Übereinkommen zum Artenschutz (Quelle: LfU)

schutzzwecke gehören zu den wesentlichen und unverzichtbaren Instrumenten der Naturschutzverwaltung. So kann man z.B. durch den Erwerb naturschutzwichtiger Grundstücke

– eine dauerhafte Flächensicherung in bestehenden und geplanten Naturschutzgebieten erreichen.

– im Zusammenhang mit Flurneuordnungsverfahren Lebensräume für gefährdete Tier- und Pflanzenarten erhalten und schaffen.

– konkurrierende, den Zielen des Naturschutzes entgegenstehende Nutzungen in sensiblen Bereichen vermeiden.

Landschaftspflege ist eine zwingende Aufgabe des Naturschutzes. Sie besteht aus

– Biotop- und Landschaftspflege als Flächenpflege

– konkreten Artenhilfsmaßnahmen

– Neugestaltung und Verbesserung von Biotopen

– Extensivierung der Flächennutzung aus Gründen des Naturschutzes

– dem Entwicklungsauftrag des Naturschutzgesetzes zur Sicherung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes in der (freien) Landschaft.

	EG-Vogelschutz-Richtlinie 79/409/EWG, 97/49/EG	FFH-Richtlinie 92/43/EWG, 97/62/EG	EG-VO Nr. 338/97, EG-VO Nr. 938/97, EG-VO Nr. 939/97
Umsetzung von (ganz oder teilweise) in europäisches Recht			
Datum/Ort der Verab- scheidung	2. April 1979 in Luxemburg 29. Juli 1997 in Brüssel	21. Mai 1992 in Brüssel 27. Oktober 1997 in Brüssel	9. Dezember 1996 in Brüssel 26. Mai 1997 in Brüssel
In der BRD in Kraft seit	1. Januar 1987 und 21. September 1998	21. September 1998	1. Juni 1997
Räumliche Geltung	Europäisches Gebiet der Mitgliedstaaten der EU	Gebiet der EU-Mitgliedstaaten ein- schließlich der atlantischen Inseln	EU-weit
Mitglieder	15 EU-Mitgliedstaaten	15 EU-Mitgliedstaaten	16 EU-Mitgliedstaaten
Regelungsbereich	Biotopschutz und Schutz vor direktem menschlichen Zugriff	Biotopschutz und Schutz wildlebender Tier- und Pflanzenarten vor direktem menschlichen Zugriff	Handelsbeschränkungen für durch Handel gefährdete Arten (ca. 8000 Tier- und 40 000 Pflanzenarten) Schutz von Exemplaren wildlebender Tier- und Pflanzenarten durch Überwa- chung des Handels
Zielsetzung	Schutz der in Europa heimischen wilde- lebenden Vogelarten und Schutz ihrer Lebensräume (nicht handelsbezogener Artenschutz)	Schaffung eines europaweiten Netzes von Schutzgebieten zur Erhaltung der Tier- und Pflanzenarten und deren Lebensräume	Umsetzung des WA für alle EU-Mitglied- staaten mit dem Ziel einer einheitlichen Anwendung
Instrumentarium zur Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Einrichtung eines zusammenhängen- den Netzes von Schutzgebieten für die in Anhang I der Richtlinie auf- geführten Vogel- und Zugvogelarten – Pflege und ökologisch richtige Gestal- tung der Lebensräume in und außer- halb von Schutzgebieten – Wiederherstellung zerstörter Lebens- stätten und -räume – Schutz vor Beeinträchtigungen von Lebensstätten und -räumen – Allgemeines Fang- und Tötungsverbot für wildlebende europäische Vogelar- ten-Regelungen über Besitz und Vermarktung von Vogelarten 	<ul style="list-style-type: none"> – Einrichtung eines europäischen Netzes besonderer Schutzgebiete mit der Bezeichnung „Natura 2000“ – Ausweisung von Schutzgebieten – Verschlechterungsverbot für alle Lebensraumtypen – Verbesserung dieser Schutzgebiete durch Entwicklungspläne und entspre- chende Maßnahmen – Finanzielle Beteiligung der EU an Erhaltungsmaßnahmen in den jewei- ligen Schutzgebieten – Überwachung des Erhaltungszustan- des der Arten und Lebensräume durch die Mitgliedstaaten 	<ul style="list-style-type: none"> – Ein- und Ausfuhrgenehmigungspflicht – Vermarktungsverbote – Bescheinigungen für Vermarktungs- zwecke oder beim Transport für besonders gefährdete Arten – Strengere Maßnahmen für einen Teil der in Anhang WA II und WA III auf- geführten Arten und Einbeziehung wei- terer, in den Anhängen C1 und C2 aufgeführter Arten – Möglichkeit der einzelnen Mitglied- staaten, strengere nationale Maßnah- men zu erlassen, die auch über stren- gere Maßnahmen der EU hinausgehen

Tab. 8 Rechtliche Umsetzung internationaler Naturschutzkonventionen
(Quelle: LfU)

Konventionen	EU-Richtlinien	EU-Verordnungen
<p>Konventionen sind völkerrechtliche Absichtserklärungen, deren Unterzeichner sich verpflichten, sich den Grundsätzen und Zielsetzungen dieser Konventionen entsprechend zu verhalten. Die Art und Weise der Umsetzung der Konventionen bleibt dem einzelnen Staat überlassen. Ein einklagbarer (rechtlicher) Anspruch auf Einhaltung besteht nicht.</p>	<p>EU-Richtlinien sind Rechtsvorschriften, die für die EU-Staaten verbindlich sind. Sie müssen in bestimmten, innerhalb der Richtlinie festgelegten Fristen aber in nationales Recht umgesetzt werden. Kommt ein EU-Staat diesem Auftrag nicht nach, kann die Europäische Kommission in Brüssel ihn deswegen vor dem Europäischen Gerichtshof (EuGH) in Den Haag verklagen.</p>	<p>EU-Verordnungen sind Rechtsvorschriften, die für die EU-Staaten verbindlich sind und unmittelbar gelten. Ihre Einhaltung ist vor dem Europäischen Gerichtshof (EuGH) einklagbar.</p>

Ramsar-Konvention	EG-Vogelschutzrichtlinie	FFH-Richtlinie
<p>Von den 30 bislang von Deutschland benannten Ramsar-Gebieten liegen zwei in Baden-Württemberg:</p> <ul style="list-style-type: none"> – „Wollmatinger Ried – Giehrenmoos – Gnadensee“ am Untersee, – „Mindelsee“ bei Radolfzell. <p>Weitere Feuchtgebiete internationaler Bedeutung in Baden-Württemberg befinden sich vor allem am Bodensee und am Oberrhein, sind aber noch nicht als Ramsargebiete notifiziert.</p>	<p>Das Land bereitet eine systematische Untersuchung vor, um weitere, für den Vogelschutz besonders wichtige Gebiete zu identifizieren und als Vogelschutzgebiete in das europäische Schutzgebietsnetz „Natura 2000“ (siehe auch FFH-Richtlinie) zu integrieren.</p> <p>Auch die Ramsargebiete sind im Hinblick auf den Vogelschutz von besonderer Bedeutung.</p>	<p>In Baden- Württemberg kommen 54 Lebensraumtypen des Anhanges I der FFH-Richtlinie vor. Hierzu zählen unter anderem die Wacholderheiden und die extensiv bewirtschafteten Mähwiesen, wie Salbei-Glatthaferwiesen, natürliche und halbnatürliche Fließgewässerabschnitte, Hochstaudenfluren, Hartholzauenwälder entlang der Ufer großer Flüsse, Eichen-Hainbuchenwälder und Buchenwälder verschiedener Ausprägungen.</p> <p>Nach bundeseinheitlichen Maßgaben wurden in Baden-Württemberg in einer ersten Phase alle Naturschutzgebiete > 75 ha auf ihre Eigenschaft als mögliches Natura-2000-Gebiet überprüft.</p>

Tab. 9 Umsetzung internationaler Naturschutzkonventionen und von EG-Naturschutzrecht in Baden-Württemberg (Quelle: LfU)

Europadiplom-Gebiete	Europareservate	Biogenetische Reservate
<p>Das Europadiplom verleiht der Europarat in Straßburg an bereits bestehende Schutzgebiete als Auszeichnung; es ist auf fünf Jahre begrenzt und kann nach einer erneuten Prüfung jeweils für weitere fünf Jahre verlängert werden. Mit dem Europadiplom werden Schutzmaßnahmen in Gebieten von besonderem europäischen Interesse anerkannt und gefördert . In Baden-Württemberg wurde zwei Schutzgebieten das Europadiplom verliehen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "Wollmatinger Ried - Untersee - Gnadensee" (seit 1968; 1993 um weitere fünf Jahre verlängert), • "Wurzacher Ried" (seit 1989; 1994 um weitere fünf Jahre verlängert). 	<p>Das Prädikat „Europareservat“ wird von „Birdlife International“ (früher „Internationaler Rat für Vogelschutz“) verliehen. Diese Auszeichnung ist abhängig von fünf Hauptkriterien:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Gebiet von internationalem Interesse, – Gebiet mit beachtlichen Vogelmengen, – Lebensräume von angemessener Größe und Beschaffenheit, – Sicherung mindestens des Kernbereichs als Naturschutzgebiet, – Jagdruhe für die zu schützenden Vögel zumindest im größeren Teil des Reservates. <p>Von den derzeit 17 Europareservaten Deutschlands liegen der Federsee (NSG "Federsee") und das Wollmatinger Ried (NSG "Wollmatinger Ried - Untersee - Gnadensee") in Baden-Württemberg.</p>	<p>Ziel dieses vom Europarat geplanten Schutzgebietsnetzes in Europa ist es, rechtlich abgesicherte Gebiete mit typischen, einzigartigen, seltenen oder gefährdeten Standorten, Biozönosen oder Ökosystemen zu erhalten.</p> <p>Bislang existieren nur Vorschlagslisten von Gebieten, die in dieses Schutzgebietsnetz aufgenommen werden sollten.</p> <p>Für Baden-Württemberg wurden folgende Naturschutzgebiete vorgeschlagen:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Rastatter Rheinauen – Wurzacher Ried – Gründlenried – Hinterzartener Moor.

Tab. 10 International ausgezeichnete Schutzgebiete in Baden-Württemberg (Quelle: LfU)

1. Ein Großteil der heute schützenswerten Pflanzen- und Tiergesellschaften ist angepasst an frühere bäuerliche Bewirtschaftungsbedingungen, die auch das Bild der Kulturlandschaft bestimmt haben. Von besonderer Bedeutung sind früher mit Schafen oder Rindern beweidete oder gemähte Grünlandstandorte. Diese Flächen sind für die moderne Landwirtschaft nicht mehr interessant. In der Regel bewirkt hier der Strukturwandel eine Aufgabe der Nutzung; damit verändern sich die Biotope nachhaltig, und es entwickelt sich sodann ohne Eingriff des Menschen in der Regel eine dem jeweiligen Standort entsprechende Waldgesellschaft.

Um die Arten der Kulturlandschaft zu erhalten, gilt es deshalb, ersatzweise zu den klassischen Pflegemaßnahmen zu greifen: Unerwünschter Gehölzaufwuchs wird entfernt, Streuwiesen werden gemäht, und die Beweidung mit Schafen oder Rindern wird gefördert. Diesen Tätigkeiten kommt der überwiegende Teil der Landschaftspflegemittel zugute.

2. Zur Landschaftspflege zählen darüber hinaus in besonders gelagerten Einzelfällen die Gestaltung und Neuanlage von Sekundärbiotopen.

3. Seit 1987 sind auch Ausgleichsleistungen für Nutzungsbeschränkungen auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Grundstücken aus Gründen des Naturschutzes möglich. Das neue Aufgabenfeld ist der sogenannte Vertragsnaturschutz, nämlich vor allem der Abschluss von Pflege- und Bewirtschaftungsverträgen mit Landwirten mit dem Ziel, die Intensität der Nutzung den Anforderungen des Arten- und Biotopschutzes anzupassen. Den Ertragsausfall erhält der Landwirt gemäß der Landschaftspflegerichtlinie ausgeglichen.

In der Landschaftspflege hat die Landesregierung kräftige Akzente gesetzt. Seit 1984 hat das Land zusammen mit der Stiftung Naturschutzfonds (SNF) mit

Ausgleichsabgabe bis 1999 rund 360 Mio. DM für Maßnahmen zur Landschaftspflege aufgebracht (Tab 13).

4. Die gewollte, zum größten Teil aber betriebswirtschaftlich bedingte Nutzungsaufgabe von landwirtschaftlichen Flächen und Wald setzt eine Vielfalt ökologischer und ökonomischer Prozesse in Gang, die in einem zukunftsweisenden Naturschutz vermehrt Beachtung finden. Diese neue Aufgabe wird nicht zuletzt durch das von Deutschland ratifizierte Übereinkommen über die biologische Vielfalt (Rio 1992) getragen. Dazu hat die Landschaftspflege ein Konzept entwickelt, mit dem naturraumbezogenen Flächen für dynamische Prozesse gesichert werden sollen (Prozessschutz). Erste Modellprojekte sind in der Umsetzung.

Stiftung Naturschutzfonds

Die Stiftung Naturschutzfonds (SNF) Baden-Württemberg beim Ministerium Ländlicher Raum (MLR) hat auch in den Jahren 1997 bis 1999 eine Fülle von Maßnahmen zur Erhaltung der natürlichen Umwelt gefördert. Auf der Einnahmenseite stand dem Rückgang der Zuwendung aus dem Landeshaushalt ein beachtliches Mehraufkommen aus den sog. Ausgleichsabgaben gegenüber. Aufgrund der Zweckbindung der Ausgleichsabgaben stehen diese allerdings nicht für den gesamten Umfang der Aufgaben der SNF zur Verfügung, sondern sind jeweils für konkrete Maßnahmen in Natur und Landschaft einzusetzen. Beispiele der Verwendung der Ausgleichsabgabe sind die Erweiterung der Kreismülldeponie in Backnang-Steinbach, das Heizmüllkraftwerk Böblingen und der Flughafenausbau Stuttgart. Die zweckentsprechende Verwendung von Ausgleichsabgaben ist allerdings mit einem beträchtlichen Arbeitsaufwand nicht nur für die Stiftung, sondern auch für die nachgeordneten Behörden verbunden.

Bei den einzelnen Förderbereichen der Stiftung liegt ein deutlicher Schwerpunkt nach wie vor bei der Forschung, bei Veröffentlichungen und Öffentlichkeitsarbeit. Die Förderung modellhafter Untersuchungen und Maßnahmen zur Aufklärung sowie zur Aus- und Fortbildung gehört ausdrücklich zu dem gesetzlichen Aufgabenkatalog der SNF. Gerade in Zeiten knapper Kassen ist es wichtig, dafür zu sorgen, daß der Natur- und Umweltschutz im öffentlichen Bewusstsein nicht untergeht. Auch gewonnene wissenschaftliche und praxisbezogene Erkenntnisse haben den Naturschutz in die Lage versetzt, nicht nur mit emotionalen Argumenten sondern mit klaren Fakten argumentieren zu können. Es ist das Ziel der Fördertätigkeit der SNF, dass das Anliegen des Naturschutzes und der Landschaftspflege in der Öffentlichkeit weiterhin Akzeptanz findet. Der Film und das Begleitheft „Kulturlandschaft im

Jahr	Land in Tsd. DM	Stiftung NSF (mit Ausgl.- abgabe) in Tsd. DM	Insgesamt
1984	4.981,80	1.855,10	6.836,90
1985	5.351,90	960,90	6.312,80
1986	5.700,20	806,90	6.507,00
1987	14.590,20	779,20	15.369,40
1988	5.422,60	2.084,40	7.507,00
1989	13.644,20	1.492,50	15.136,70
1990	19.765,50	2.557,20	22.352,70
1991	24.653,20	3.972,40	28.625,60
1992	30.299,50	5.731,50	36.031,00
1993	29.522,60	3.115,26	32.638,30
1994	28.811,96	3.390,26	32.202,22
1995	31.824,03	3.047,13	34.871,16
1996	27.158,35	2.690,11	29.848,46
1997	25.364,13	2.009,10	27.373,23
1998	26.870,56	1.666,20	28.536,76
1999	27.931,46	1.747,40	29.678,86
Summe	321.892,19	37.905,56	359.797,75

Tab. 13 Haushaltsmittel für Naturschutz- und Landschaftspflege – laufende Maßnahmen für Landschaftspflege, d.h. ohne Grunderwerb (Quellen: MLR, LfU; Stand 2000)

Wandel“ sind Beispiele dafür, dass der Naturschutz diese öffentliche Diskussion auch sucht.

Im übrigen fördert die SNF besonders Modellprojekte mit Vorbildfunktion wie z.B. die „Naturschutzkonzeption Stromberg-Heuchelberg“, das „Modellprojekt Konstanz“ und die „Extensive Rinderbeweidung in der Landschaftspflege“.

Weitere Schwerpunkte bilden unverändert die Zuwendungen an Vereine und Verbände für zahlreiche Fördermaßnahmen, die teilweise seit Jahren in enger Partnerschaft mit der SNF durchgeführt werden, so insbesondere für das Bodenseeprojekt der Deutschen Umwelthilfe, die Öko-Messe des BUND und das Öko-Filmfestival „ÖkoMedia“ in Freiburg.

Biotopvernetzung im Landkreis Konstanz

Das 1991 entstandene Modellprojekt Konstanz ist ein gemeinsames Projekt der Landwirtschafts- und Naturschutzverwaltung des MLR und der SNF für die Region Konstanz. Das Projekt basiert auf der Erkenntnis, dass Landschaftspflege, Natur- und Ressourcenschutz großflächig nur in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaft und den Naturschützern erfolgreich betrieben werden können. Bei diesem Projekt werden übertragbare Modelle zur Einbeziehung des Umweltschutzes in die naturräumlichen Gegebenheiten der Landschaft und der sozialen und ökonomischen Bereiche entwickelt.

Die Besonderheiten des Projekts sind:

- der integrative Ansatz,
- die behörden- und verbandsübergreifende Zusammenarbeit.

Die Ziele des Projekts sind:

- Umsetzung einer standortangepassten und umweltverträglichen Landbewirtschaftung in der Region,
- Sicherung der Existenz der bäuerlichen Landwirtschaft,
- Erhalt der abwechslungsreichen Kultur- und Erholungslandschaft,

- Erhalt und Entwicklung von Lebensräumen für wildwachsende Pflanzen und freilebende Tiere,
- Bildung von Solidargemeinschaften zwischen Erzeugern, Verarbeitern, Handel und Verbrauchern zugunsten eines intakten Naturhaushalts in der Modellregion.

Bei der Umsetzung von Umwelt- und Naturschutzziele werden betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte stark berücksichtigt.

Das Modellprojekt Konstanz finanziert sich durch das MLR, die Stiftung Naturschutzfonds Baden-Württemberg und LIFE (ein Finanzierungsinstrument der Europäischen Union).

Diese breite Unterstützung hat die Fortführung des Projektes bis ins Jahr 2000 gesichert und ermöglicht die wissenschaftliche Begleitung und Auswertung der praktischen Ergebnisse.

Landschaftsplanung

Die Ziele des modernen und präventiven Naturschutzes erfordern eine möglichst flächendeckende Landschaftsplanung. Die Landschaftsplanung ist das Instrument, das auf allen Planungsebenen des Landes, von der programmatischen Ebene der Landesplanung bis zur kommunalen Bauleitplanung, den ökologischen Orientierungsrahmen für die weitere Entwicklung von Natur und Landschaft sowie für die Sicherung und pflegliche Nutzung der natürlichen Ressourcen liefert.

Landschaftspläne

Der mit dem Naturschutzgesetz eingeführte Landschaftsplan ist das „ökologische Planungsinstrument“ bei der vorbereitenden Bauleitplanung.

Die Aufstellung eines Landschaftsplans bietet für die Gemeinde die Chance, die gesamte Gemarkungsfläche auf den „ökologischen Prüfstand“ zu nehmen. Die Gemeinde wird damit in die Lage versetzt, landschaftsökologische Belange bei der Aufstellung bzw. der Fortschreibung des *Flächennutzungsplans (FNP)* entsprechend zu berücksichtigen und ein langfristiges landschaftspflegerisches Gesamtkonzept für die Gemarkung aufzustellen. (Dazu gehören z.B. Vorschläge zur Erhaltung und Sanierung der Umweltmedien Boden, Wasser, Luft und der belebten Umwelt sowie für Schutzgebietsausweisungen und Konzeptionen zur Biotopvernetzung.) Gleichzeitig halten die Landschaftspläne Unterlagen bereit bzw. werden in ihnen Grundlagen erarbeitet, die es erlauben, zu landschaftsrelevanten Fachplanungen fundiert Stellung zu nehmen.

Die Mitteilungen der Regierungspräsidien, Bezirksstellen für Naturschutz und Landschaftspflege und anderer Behörden zum Stand der Landschaftsplanung sind in Tab.14 und Abb.7 ausgewertet.

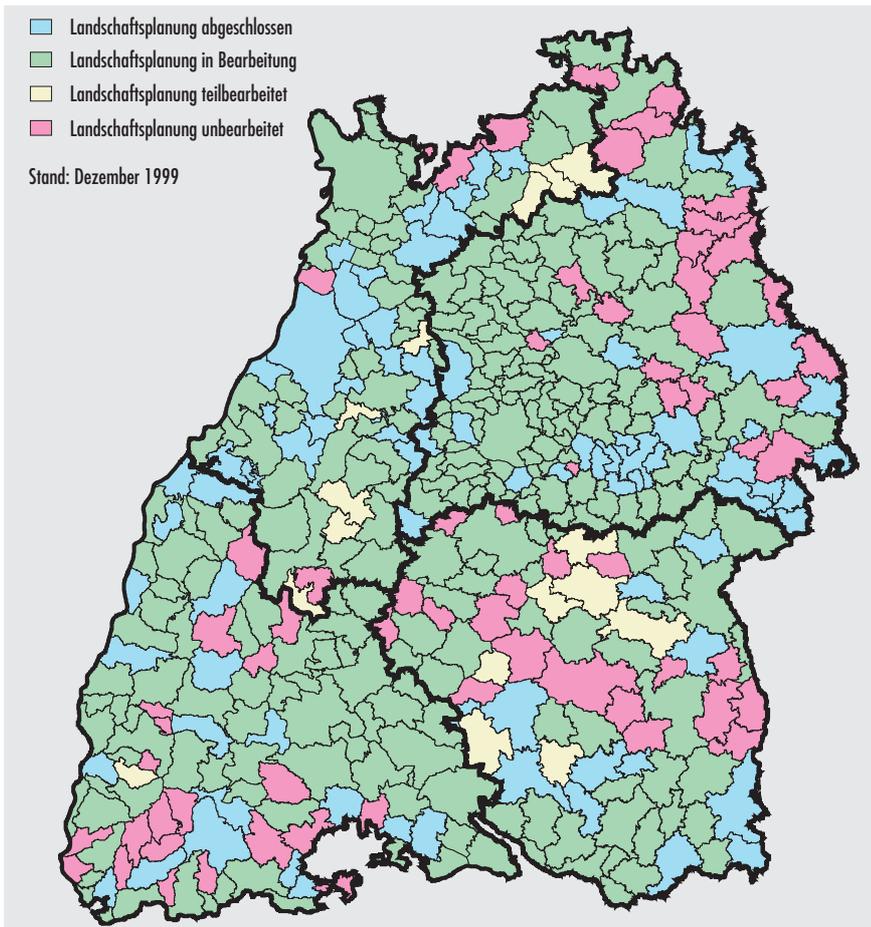


Abb. 7 Landschaftspläne in Baden-Württemberg (Quelle: LfU; Stand 12/1999)

Projekt des Landes zur Erhaltung und Entwicklung von Natur und Umwelt (PLENUM)

Allein durch Ausweisung von kleinflächigen Schutzgebieten kann der qualitative und quantitative Rückgang an Arten und Lebensräumen nicht gestoppt werden.

Deshalb wurde mit PLENUM eine landesweite Konzeption für einen großflächigen Naturschutz vorgelegt. Sie basiert auf einer naturräumlichen Analyse, die Naturschutz-Zielsetzungen für alle Großlandschaften des Landes entwickelt. Solche Ziele sind - je nach Naturraum - z.B. die Sicherung von Mooren und die Extensivierung ihrer Wassereinzugsgebiete, der großflächige Schutz repräsentativer Waldbestände oder der Schutz extensiv genutzter Kulturlandschaften.

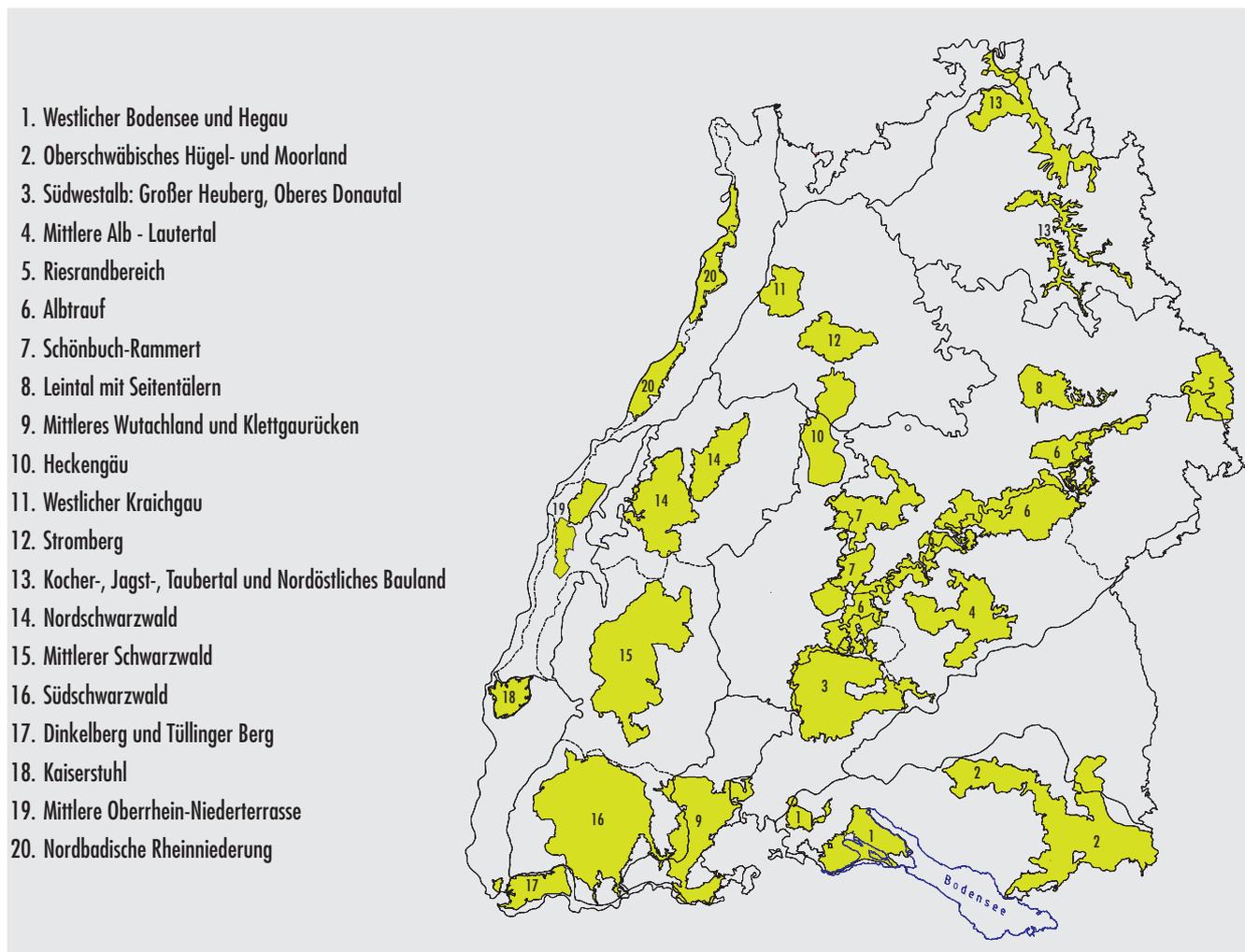
Die PLENUM-Konzeption baut auf der flächendeckend vorhandenen Biotopkartierung und weiteren Naturschutz-Daten des Landes auf (z.B. aus dem Artenschutzprogramm). Die daraus entwickelten 20 Vorranggebiete für den Naturschutz umfassen etwa 22 % der Landesfläche. Sie decken ca. 60 % der NSG-Flächen und 60 % der Bann- und Schonwaldflächen ab. Die Gebietsvorschläge für das künftige Natura-2000-Netz sind in den PLENUM-Gebieten konzentriert.

Ziel der PLENUM-Strategie ist es, die Belange der Land- und Forstwirtschaft wie auch der anderen Landnutzer mit dem Naturschutz in Einklang zu bringen, um eine naturverträgliche und nachhaltige Nutzung der Kulturlandschaften zu erreichen und damit die Lebensräume der heimischen Tier- und Pflanzenwelt dauerhaft zu sichern.

Fünf Jahre lang modellhaft erprobt wurde die PLENUM-Strategie im Raum Isny/Leutkirch. Dabei wirkten vor Ort Akteure aus zahlreichen Handlungsfeldern mit: Landwirte, Landfrauen, die Gemeinden Isny und Leutkirch, Gewerbetreibende z.B. aus der Tourismusbranche, Privatpersonen und Vertreter der zuständigen Behörden. Die neuen Leitlinien der Landesregierung zum Naturschutz sehen

Raumplanungsebenen	Gesamtfläche	Landschaftspläne	
	km ²	km ²	%
Regierungsbezirk Stuttgart	10.557,63	6.132,41	58,1
Region Mittlerer Neckar	3.654,30	2.810,97	76,9
Region Franken	4.764,68	2.685,47	56,6
Region Ostwürttemberg	2.138,65	629,97	29,27
Regierungsbezirk Karlsruhe	6.918,97	4.029,29	58,2
Region Mittlerer Oberrhein	2.137,35	929,21	43,5
Region Unterer Neckar	2.441,69	1.505,00	61,6
Region Nordschwarzwald	2.339,93	1.595,07	68,2
Regierungsbezirk Freiburg	9.357,15	6.438,72	68,8
Region Südlicher Oberrhein	4.072,08	2.855,44	70,1
Region Schwarzwald-Baar-Heuberg	2.529,08	2.283,56	90,3
Region Hochrhein-Bodensee	2.755,99	1.299,72	47,2
Regierungsbezirk Tübingen	8.917,64	5.013,03	56,2
Region Neckar-Alb	2.531,10	1.769,39	69,9
Region Donau-Iller	2.885,87	1.452,27	50,3
Region Bodensee-Oberschwaben	3.500,67	1.791,37	51,2
Baden-Württemberg	35.751,39	21.613,44	60,5

Tab. 14 Abgeschlossene Landschaftspläne in Baden-Württemberg (Quelle: LfU; Stand 2000)



1. Westlicher Bodensee und Hegau
2. Oberschwäbisches Hügel- und Moorland
3. Südwestalb: Großer Heuberg, Oberes Donautal
4. Mittlere Alb - Lautertal
5. Riesrandbereich
6. Albtrauf
7. Schönbuch-Rammert
8. Leintal mit Seitentälern
9. Mittleres Wutachland und Klettgaurücken
10. Heckengäu
11. Westlicher Kraichgau
12. Stromberg
13. Kocher-, Jagst-, Taubertal und Nordöstliches Bauland
14. Nordschwarzwald
15. Mittlerer Schwarzwald
16. Südschwarzwald
17. Dinkelberg und Tüllinger Berg
18. Kaiserstuhl
19. Mittlere Oberrhein-Niederterrasse
20. Nordbadische Rheinniederung

Abb. 8 PLENUM-Gebiete in Baden-Württemberg (Quelle: LfU)

Nr.	Vorranggebiete für den Naturschutz	Landschaftsraum	Reg. Bez.	Großflächige Naturschutzziele	Fläche in Hektar	Prozentuale Flächenanteile					Ortschaften bzw. Streusiedlungen
						Wald	Grünland	Acker	Moore	Weinberg	
1	Westlicher Bodensee und Hegau	Voralpines Hügel- und Moorland	Fr	Moore, Wald, Stillgewässer, Grünland, Bodensee	30.300	40	20	15	<5	<1	32; Einzelhöfe
2	Oberschwäbisches Hügel- und Moorland	Voralpines Hügel- und Moorland; Donau-Ilter-Lech-Platten	Tü	Moore; Feuchtgrünland, Stillgewässer, Wald	68.400	35	45	5	15		ca. 30; >100
3	Südwestalb: Großer Heuberg, Oberes Donautal	Südwestalb	Tü/Fr	Wald (Hangwälder am Albtrauf); Grünland	57.000	55	35	10	<1		ca. 40; ca. 20
4	Mittlere Alb - Lautertal	Mittlere Alb	Tü	Wald (Schluchtwälder); Magerrasen	35.700	55	30	10	<5		ca. 30; ca. 10
5	Riesrandbereich	Ostalb	S	Wacholderheiden	20.200	45	35	15			ca. 10; ca. 15
6	Albtrauf	Südwestalb; Mittlere Alb; Ostalb; Keuper-Lias-Land	S/Tü	Wald (Hangwälder am Albtrauf); Magerrasen; Fließgewässer; Streuobst	73.700	60	30	10	<5		ca. 40; >100
7	Schönbuch-Rammert	Keuper-Lias-Land	S/Tü	Wald; Fließgewässer; Streuobst	41.800	75-80	20	<5	<1	<5	2; 4
8	Leintal mit Seitentälern	Keuper-Lias-Land	S	Wald (Tannen-Buchen-Wälder); Fließgewässer	15.700	60	30	10			10; ca. 30
9	Mittleres Wutachland und Klettgau-Rücken	Südliche Gäuplatten; Südschwarzwald	Fr	Wald; Grünland; Hecken	44.900	35	30	35	<1		27; 16
10	Heckengäu	Obere Gäue; Nordwestliche Gäuplatten	Ka/S	Grünland; Wald; Streuobst	28.200	30-35	10-15	40-45			30; einzelne
11	Westlicher Kraichgau	Nordwestliche Gäuplatten	Ka	Wald; Streuobst	12.800	20-25	25-39	40-50		5	7; ca. 10
12	Stromberg	Nordwestliche Gäuplatten	Ka/S	Wald; Streuobst	17.000	45-50	15-20	20		<5	ca. 10; einzelne
13	Kochertal, Jagsttal, Taubertal, Nordöstliches Bauland	Nordöstliche Gäuplatten	Ka/S	Tallandschaft Kocher/Jagst; Wald; Trockenstandorte; Streuobst	48.300	40	35	15		<5	ca. 55; ca. 40
14	Nordschwarzwald	Nordschwarzwald	Ka/Fr	Wald; Grinden; montanes Grünland	54.600	85	5-10	<5	5		ca. 10; ca. 50
15	Mittlerer Schwarzwald	Mittlerer Schwarzwald	Fr	Wald; Grünland	72.300	65	30	<5	<5		ca. 20; >100
16	Südschwarzwald	Südschwarzwald	Fr	Wald; Grünland	87.500	60	30	<5	<5		52; 27
17	Dinkelberg und Tüllinger Berg	Hochrhein und Dinkelberg	Fr	Wald	13.500	50	20-25	15	<1	<5	10; 1
18	Kaiserstuhl	Kaiserstuhl	Fr	Wald; Halbtrockenrasen	9.300	20-30	15	10	<1	45	7; 2
19	Mittlere Oberrhein-Niederterrasse	Mittlere Oberrheinniederterrasse	Fr	Wald; Grünland	13.600	40-45	20-25	30	<1		6; -
20	Nordbadische Rheinniederung	Nördliche Oberrhein-Niederung	Ka	Rheinaue; Wald (Eichen-Hainbuchenwälder, Bruch- und Sumpfwälder)	27.600	25-30	35	30	<5		ca. 10; einzelne

Tab. 15 PLENUM-Gebiete in Baden-Württemberg (Quelle: LfU)

eine Umsetzung in weiteren PLENUM-Gebieten vor (Abb. 8).

Biotopvernetzung

Ziel der Biotopvernetzung ist es, eine vielfältig strukturierte Kultur- und Erholungslandschaft zu erhalten und zu entwickeln. Je nach Schwerpunkt behandelt das Konzept Fragen zur ökologischen Flurnutzung, Offenhaltung der Landschaft bzw. Aufforstung von geeigneten Standorten, Vernetzung und Neuanlage von Lebensräumen, Extensivierung und Stilllegung landwirtschaftlicher Nutzflächen.

Für die Biotopvernetzung hat das Land 1987 bis 1999 rd. 74 Mio. DM Fördermittel ausgegeben. Insgesamt wurden in 417 Gemeinden Maßnahmen zur Biotopvernetzung oder zur Offenhaltung der Mindestflur durchgeführt (Abb. 9). Dabei zeigten sich eine hohe Akzeptanz und große Nachfrage nach Biotopvernetzungsmaßnahmen. Auch die Ergebnisse der Begleituntersuchungen durch die Fachhochschule Nürtingen zeigen die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges.

Ökologische Agrarflurneueordnung

Ein wichtiges Ziel der ökologischen Flurneueordnung und Landentwicklung ist die Sicherung und Verbesserung der natürlichen Lebensgrundlagen. Um dieses Ziel zu verwirklichen, verfügt die Flurneueordnung über folgende Möglichkeiten:

- Bodenueordnung zur Entflechtung sich gegenseitig störender Landnutzungen,
- Vernetzung ökologisch wertvoller Flächen, Grünbestände und Gewässerstrukturen zu Biotopverbundsystemen,
- Unterstützung bei der Ausweisung und Abgrenzung von Biotopflächen, Natur-, Landschafts- sowie Wasserschutzgebieten.

Abb. 10 enthält die seit 1994 laufenden Verfahren. Die Bedeutung der ökologischen Zielsetzung dabei wird deutlich am hohen Anteil der laufenden Verfahren mit

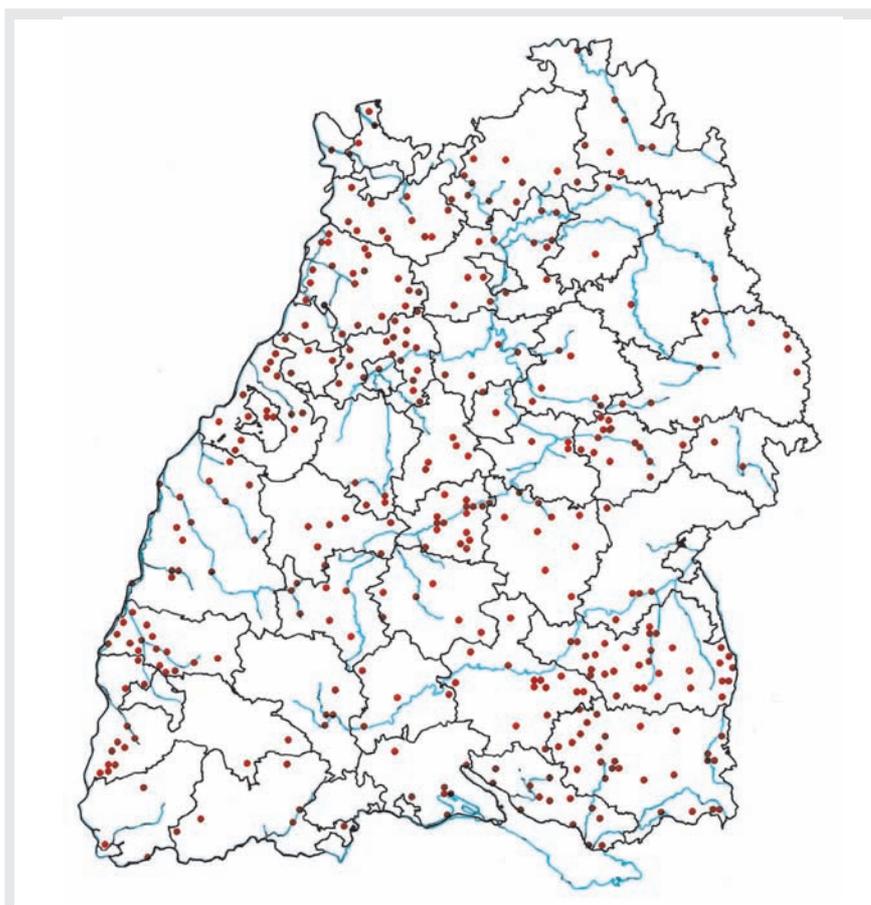


Abb. 9 Stand der Biotopvernetzung (Quelle: Landesamt für Flurneueordnung und Landentwicklung; Stand 1998)

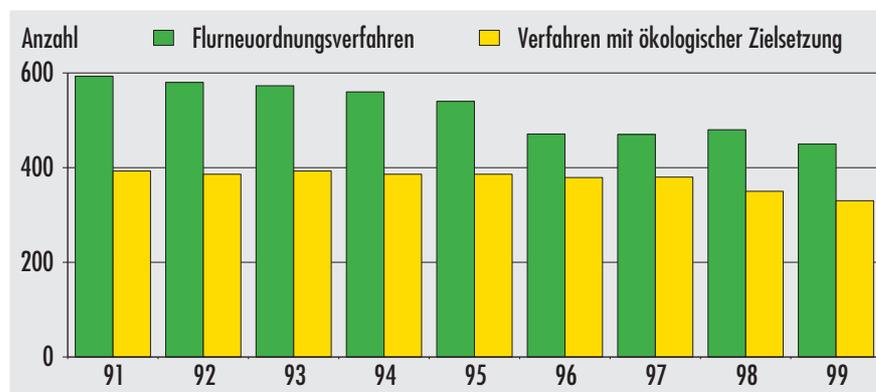


Abb. 10 Anzahl der laufenden Flurneueordnungsverfahren und dabei der Verfahren mit ökologischer Zielsetzung (Quelle: Landesamt für Flurneueordnung und Landentwicklung)

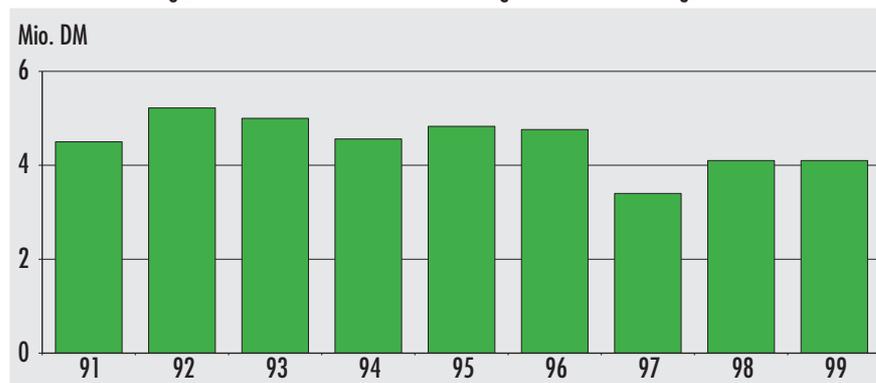


Abb. 11 Ausgaben für Naturschutz und Landschaftspflege in laufenden Flurneueordnungsverfahren (Quelle: Landesamt für Flurneueordnung und Landentwicklung)

Biotopvernetzung, Integriertes Rheinprogramm (IRP)

ökologischer Zielsetzung am Gesamtbestand der Flurneuordnungsverfahren. Bei den Verfahren mit ökologischer Zielsetzung werden eigenständige Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege vollzogen, um die ökologische Vielfalt der Landschaft zu erhöhen.

Die Ausgaben für Naturschutz und Landschaftspflege zeigt Abb. 11.

Jede Flurneuordnung bezweckt, die Agrarstruktur zu verbessern und zur Erhaltung und Gestaltung der Kulturlandschaft beizutragen. Erster Schritt dazu ist eine Umweltverträglichkeitsprüfung. Im Wege- und Gewässerplan mit landschaftspflegerischem Begleitplan werden die Belange und Anforderungen von Landwirtschaft und Landschaftsökologie gegen einander abgewogen. Daraus entsteht sodann ein flächendeckendes, weiträumiges Gesamtgefüge, das den Habitatansprüchen vieler bedrohter Tier- und Pflanzenarten genügt.

Integriertes Rheinprogramm (IRP)

Mit dem Oberrheinausbau in den Jahren 1950 bis 1970 wurden zwischen Markt und Iffezheim zahlreiche Dämme errichtet und rund 130 km² Auengebiete vom Rhein abgeschnitten. Eine Überflutung dieser Flächen im Hochwasserfall ist seitdem nicht mehr möglich. Der veränderte Wasserhaushalt, insbesondere die fehlende Überflutungsdynamik, ließ die in Mitteleuropa einmaligen Auen am Oberrhein weitgehend verschwinden. Gleichzeitig wurde die Hochwassergefahr unterhalb Iffezheim verschärft. Um den früher vorhandenen, rund 200-jährlichen Hochwasserschutz wieder herzustellen, muss der Rhein wieder Retentionsflächen erhalten.

Die bisherigen Erfahrungen haben deutlich gemacht, dass sich die Hochwasserrückhaltungen nicht, wie zunächst vorgesehen, auf einige wenige Standorte konzentrieren lassen. Es hat sich gezeigt, dass weitere vor dem Ausbau überflutete Flächen entlang des Rheins in die Überlegungen für ein umfassendes Hochwas-

serschutzkonzept einzubeziehen sind, um einen umweltverträglichen Hochwasserschutz zu gewährleisten.

Die bisherigen Planungen und Umweltverträglichkeitsuntersuchungen ergeben, dass die wasserwirtschaftlichen Forderungen nicht mehr allein im Vordergrund stehen können. Vielmehr ist es notwendig, die Erhaltung und Renaturierung der auentypischen Verhältnisse entlang des Oberrheins im Rahmen des IRP gleichrangig zu berücksichtigen.

Die Landesregierung Baden-Württemberg hat deshalb am 7.11.1988 dem „Integrierten Rheinprogramm“ zugestimmt, das die Grundlage für Entscheidungen sowohl zur Wiederherstellung des Hochwasserschutzes als auch zur dauerhaften Erhaltung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes bildet. Am 29.1.1996 hat der Ministerrat mit dem Rahmenkonzept die Grundlage für die Umsetzung des IRP verabschiedet.

Das Integrierte Rheinprogramm hat zwei Ziele, und zwar:

- die Hochwassersicherheit, die vor dem Ausbau des Oberrheins vorhanden war, auf umweltverträgliche Weise zu garantieren (umweltverträglicher Hochwasserschutz),
- die ökologisch intakte und naturnahe Auenlandschaft wiederherzustellen sowie die noch vorhandenen naturnahen Auenreste zu erhalten (Auenrenaturierung).

Die ökologische Seite des Integrierten Rheinprogrammes

Um rheintypische Auenlandschaften wiederherzustellen, sind naturnahe Überflutungen in möglichst weitgehender Anbindung an die Rheindynamik (ökologische Flutungen) sowie auentypische Schwankungen der Grundwasserstände erforderlich. So entstehen auentypische Biotope, die an Überflutungen angepasst sind und auch eine Hochwasser-Retention weitgehend schadlos überstehen (umweltverträglicher Hochwasserschutz).

Umfangreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass gegenüber der ursprünglichen, im Wesentlichen auf das Ziel „Hochwasserschutz“ ausgelegten Konzeption von 1982 unter Berücksichtigung naturverträglicher Rahmenbedingungen für ein Erreichen des Hochwasserschutzzieles 13 statt der ursprünglich geplanten 5 Rückhalteräume nötig sind (Abb. 12). Damit sind praktisch alle heute noch verfügbaren Flächen vor den alten, von Tulla geschaffenen Hochwasserdämmen in das Hochwasserschutzkonzept einbezogen.

In den 13 Rückhalteräumen kann, neben dem Ziel Hochwasserschutz, indem die naturverträglichen Rahmenbedingungen (ökologische Flutungen, fließendes Wasser, Begrenzung der Überflutungshöhe auf naturnahe Werte von 2,5 m über dem mittleren Geländeniveau) eingehalten bleiben, die Auenregeneration am Oberrhein entscheidend vorangebracht werden.

Der Oberrheinausbau und andere wasserbauliche Maßnahmen haben in der Rheinniederung Nutzungsänderungen und -intensivierungen ermöglicht. Als Folge ging der Großteil der äußerst arten- und strukturreichen Auenlandschaft verloren. Naturnahe Auebiosphären sind heute am Oberrhein nur noch nördlich von Iffezheim in wenigen Beständen vorhanden.

Um die beiden Ziele des IRP zu erreichen, soll ein Teil der ehemaligen, heute ausgedienten Aue wieder an den Rhein und seine Hochwasser angeschlossen werden. Dies kann durch Dammrückverlegungen und durch Polder geschehen:

- Dammrückverlegungsgebiete werden bei steigendem Wasserstand im Rhein wie die natürliche Überflutungsaua überschwemmt und bieten damit die beste Möglichkeit für eine Auenrenaturierung. Dammrückverlegungen sind jedoch entlang der Ausbaustrecke (Basel - Iffezheim) wegen der Stauhaltungen der Kraftwerke nicht möglich.

- Polder werden gezielt über Ein- und Auslassbauwerke geflutet. Um in den Poldern einen umweltverträglichen Hochwasserschutz zu gewährleisten, sollen sie so gebaut und betrieben werden, dass die Flutungsbedingungen einem natürlichen Überflutungs-geschehen möglichst nahe kommen. Flutungen der Polder dürfen daher nicht auf jene Hochwasser beschränkt bleiben, die aus Gründen der Hochwassersicherheit eine Retention erforder-

lich machen. Diese Hochwasser gibt es zu selten, um eine Anpassung von Vegetation und Tierwelt und damit eine Auenrenaturierung zu gewährleisten. Vielmehr müssen die Polder häufiger, d.h. auch bei kleineren Hochwassern, geflutet werden.

Eine wesentliche Voraussetzung für den umweltverträglichen Betrieb der Polder sind daher ökologische Flutungen. Dabei steuert man die Ein- und Auslassbauwerke so, dass die Polder entsprechend den

Abflüssen im Rhein, also auch bei kleineren Hochwassern, geflutet werden. Diese ökologischen Flutungen sind eine wesentliche Voraussetzung, um den Hochwasserschutz umweltverträglich zu gestalten, da sie die Rückentwicklung der Landschaft zu einer dynamischen Aue ermöglichen. Umweltverträglicher Hochwasserschutz und Auenrenaturierung bedingen sich damit gegenseitig.

Von den geplanten Hochwasserrückhalteräumen sind bisher die beiden Polder Altenheim und der Raum „Kulturwehr Kehl“ realisiert. Dort werden ökologische Flutungen durchgeführt; Ergebnisse zu ihren Auswirkungen sind unten dargestellt.

Eine naturnahe, ökologisch intakte Auenlandschaft lässt sich jedoch nicht alleine im Wege eines umweltverträglichen Hochwasserschutzes wiederherstellen. Maßnahmen zum Schutz und zur Renaturierung der Auenlandschaft sind ebenfalls in den derzeit zum Überflutungsgebiet des Rheins gehörenden Bereichen sowie in Bereichen, die weiterhin ausgedeicht bleiben werden, geplant.

Das Integrierte Rheinprogramm unterstützt auch die Umsetzung internationaler Vereinbarungen zum Naturschutz (z.B. Ramsar-Konvention) und der rechtlichen Vorgaben der EU (EG-Vogelschutzrichtlinie, FFH-Richtlinie).

Wesentliche Maßnahmen zur Umsetzung des ökologischen Teils des IRP sind:

Schutz

Ziel ist es, in der Rheinniederung die Reste naturnaher Auenlandschaft verstärkt zu schützen. Für die nördliche Oberrheinniederung ist eine Schutzgebietskonzeption in Teilen bereits umgesetzt worden. Auch für den südlichen Teil ist eine entsprechende Konzeption veröffentlicht (Materialien zum IRP, Band 10).

Renaturierung

Für die Renaturierung ausgewählter Teilbereiche der Landschaft am Ober-

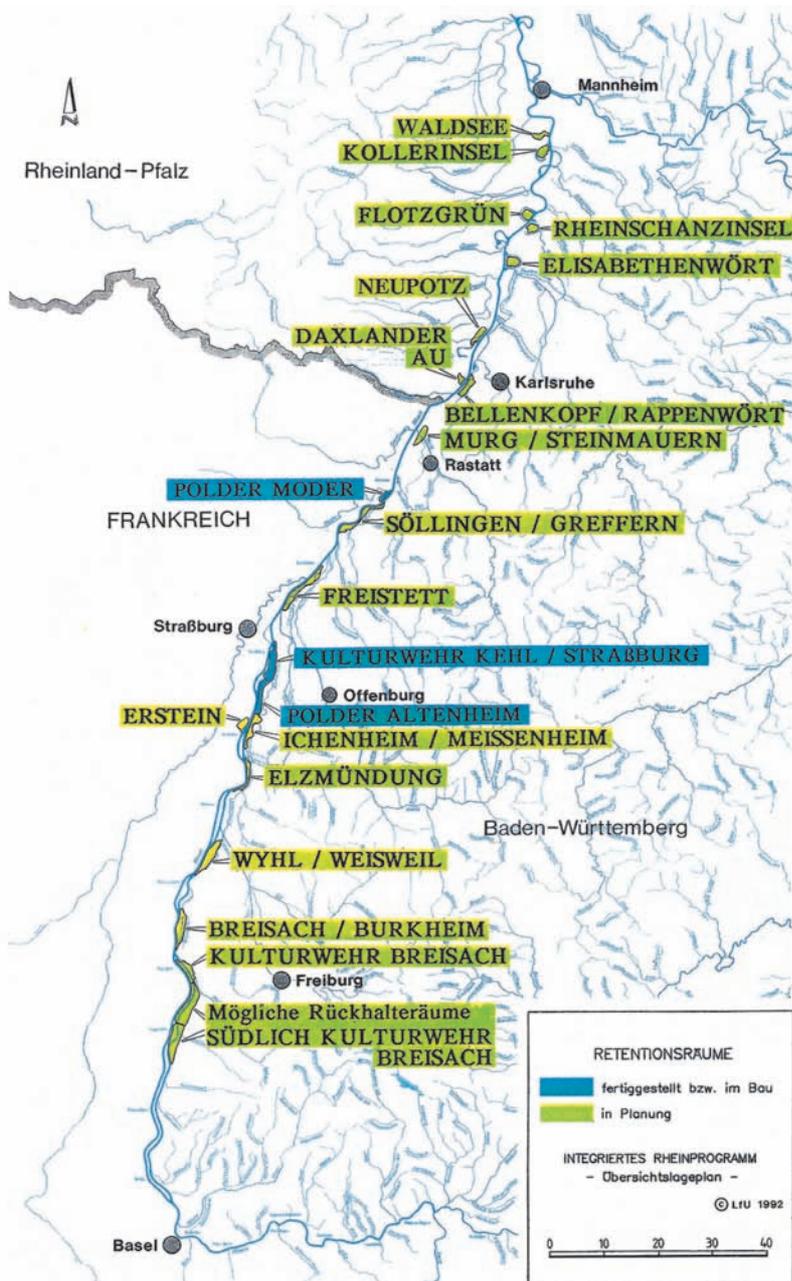


Abb. 12 Bestehende und für den Hochwasserschutz vorgesehene Retentionsräume am Oberrhein (Quelle: LfU)

Integriertes Rheinprogramm (IRP)

rhein gibt es verschiedene mögliche Maßnahmen. Die wichtigsten sind:

- In ausgedeichten Bereichen werden Dämme teilweise zurückverlegt und Flächen an die Hochwasser des Rheins angeschlossen.
- Lokal wird ein naturnahes Abflussregime in der Aue wiederhergestellt, indem man sogenannte Abflusshindernisse beseitigt. Dies sind insbesondere Straßen und Wege in der Aue, die das natürliche Ein- und Ausströmen des Wassers bei steigendem bzw. fallendem Wasserstand behindern. Zwischen Iffezheim und Mannheim haben solche Maßnahmen bereits stattgefunden.
- Die Randsenke in der Oberrheinniederung wird teilweise wieder vernässt.
- Naturnahe Wasserläufe an den Nebengewässern des Rheins werden teilweise wiederhergestellt. Für den nördlichen Oberrhein liegen Vorschläge für die zu renaturierenden Gewässerabschnitte bereits vor.

Naturnahe Entwicklung

Ein Teil der Landschaft ist durch verschiedene Nutzungen irreversibel verändert (z.B. Kiesabbaugebiete) oder so stark beansprucht, daß er nicht mehr in eine naturnahe Auelandschaft zurückgeführt werden kann (z.B. Erholungsschwerpunkte). Soweit es unter den heutigen Rahmenbedingungen möglich erscheint, ist beabsichtigt, auch diese Bereiche naturnah zu entwickeln.

Begleitende Untersuchungsprogramme

Das IRP wird von ökologischen Untersuchungen begleitet. Eine davon, das "Untersuchungsprogramm zu den Auswirkungen der ökologischen Flutungen der Poldern Altenheim", hat die LfU von 1993 bis 1996 in Zusammenarbeit mit der Gewässerdirektion Südlicher Oberrhein/Hochrhein durchgeführt. Bestandteile sind: "Wasserhaushalt", "Beschaffenheit der oberirdischen Gewässer", "Beschaffenheit des Grundwassers", "Pflanzenwelt", "Tierwelt" und "Boden".

Das Untersuchungsprogramm hatte die Ziele:

1. den Beitrag der ökologischen Flutungen zur Auenrenaturierung nachzuweisen,
2. den Beitrag zur Schadensvermeidung bei Hochwasserretention und damit zum umweltverträglichen Hochwasserschutz darzustellen,
3. zu klären, ob es Gründe für eine Besorgnis gegen die ökologischen Flutungen gibt,
4. Empfehlungen zu ihrer Fortführung zu erarbeiten und

5. Schlussfolgerungen für den Betrieb in anderen IRP-Räumen abzuleiten.

Die Ergebnisse sind in einem Bericht veröffentlicht (Materialien zum Integrierten Rheinprogramm, Bd. 9). Sie haben Aussagen zu allen fünf Zielen erbracht.

Auf den von ökologischen Flutungen erreichten Flächen haben sich auentypische Biotope gebildet und auentypische Lebensgemeinschaften angesiedelt (Abb. 13). Die zugehörigen Tier- und Pflanzenarten sind hochwassertolerant und überleben eine naturnahe Überflutung auf Bestandesebene ungefährdet. Einige gefährdete und geschützte Pflanzen- und Tierarten haben in ihren Bestandsdichten zugenommen, so z.B. das *Fleischrote Knabenkraut* in Auenwiesen, der *Eisvogel*

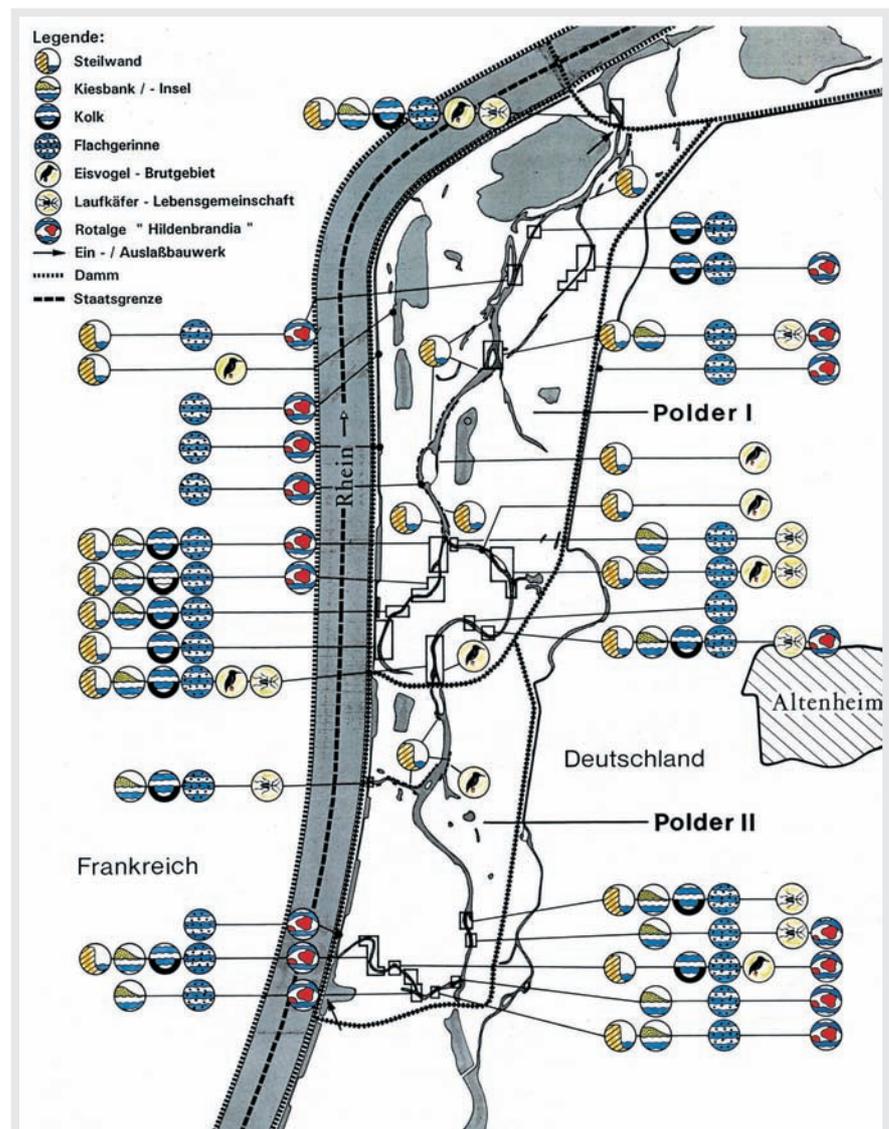


Abb. 13 Auentypische Biotope und ihre Besiedlung nach ökologischen Flutungen in den IRP-Poldern Altenheim (Quelle: LfU)

gel, der in Steilwänden brütet, und der *Laubfrosch*, der sich in Weihern und überfluteten Wiesenbereichen fortpflanzt. Die Entwicklungen sind Teil der angestrebten Auenrenaturierung. Dank ihrer Hochwassertoleranz überleben die Auenarten auch eine Hochwasserretention, wie sich nach zwei Retentionen im Februar und Mai 1999 zeigte. Die ökologischen Flutungen haben Auenarten gefördert, die Biotope und Lebensgemeinschaften an Überflutungen angepasst und dadurch die Voraussetzungen geschaffen, dass Retentionsmaßnahmen weitgehend schadfrei verlaufen. Damit dient die Auenrenaturierung unmittelbar dem umweltverträglichen Hochwasserschutz.

Gründe für eine Besorgnis gegen ökologische Flutungen wurden weder aus hydrologischer noch aus bodenkundlicher Sicht oder im Hinblick auf Pflanzen- und Tierwelt ermittelt. Weder im Oberflächen- und Grundwasser noch in Böden reichernten sich Schadstoffe an. Lokale morphodynamische Erosions- und Sedimentationsprozesse sind auentypische Prozesse und daher ein positiver Beitrag zur Auenrenaturierung. Auch die Bestandszunahmen vieler gefährdeter Arten sind aus Naturschutzgründen positiv zu beurteilen; Rückgänge einzelner nicht auentypischer Arten sind nicht besorgniserregend, da diese Arten im Umfeld der Polder und in der Oberrheinregion oft zahlreich und auf großen Flächen vertreten sind.

Um die erzielten Erfolge dauerhaft zu sichern, müssen die ökologischen Flutungen in Abhängigkeit vom Hochwasserregime des Rheins langfristig fortgeführt werden. Noch bestehende Beschränkungen in der Wasserzuführung sind soweit wie möglich abzubauen. Mit der Beseitigung von Abflusshindernissen werde bereits begonnen; von einer Fortführung der Maßnahmen ist zu erwarten, dass die Überflutungen noch naturnäher ablaufen.

Das Konzept des umweltverträglichen Hochwasserschutzes mit ökologischen Flutungen lässt sich auch auf andere IRP-Polderräume übertragen; auch hier

ist eine Verbindung von Hochwasserschutzmaßnahmen und Auenrenaturierung sinnvoll. Dieses Konzept vermeidet oder vermindert Umweltschäden. Es ist daher auch aus wirtschaftlicher Sicht langfristig effektiver als Hochwasserschutzmaßnahmen, die Umweltwirkungen nicht ausreichend berücksichtigen.

Ökologische Umweltbeobachtung

Das Ökologische Wirkungskataster

In Baden-Württemberg besteht mit dem Ökologischen Wirkungskataster seit 1984 ein landesweites, biologisches Untersuchungsprogramm zur biologischen Umweltbeobachtung. Im Rahmen dieses medienübergreifenden Untersuchungsprogramms untersuchen und bewerten Wissenschaftler Art und Ausmaß von Schadstoffwirkungen auf die belebte Umwelt. Angestrebt wird dabei eine landesweite, möglichst flächendeckende Darstellung der Belastung von Ökosystemen, aber auch von einzelnen Belastungsschwerpunkten, durch Schadstoffe. Hierzu werden verschiedene pflanzliche und tierische Organismen als Zeigerorganismen (Bioindikatoren) u.a. auf Schadstoffgehalte, Schadenssymptome, Artenvielfalt und Populationsdynamik untersucht. Aus diesen Ergebnissen lassen sich Aussagen über den Zustand der Umwelt ableiten. Sie fließen zusammen mit Messnetzdaten aus den Medienbereichen Boden, Wasser, Luft, aus Daten aus dem Natur- und Artenschutz sowie Klimadaten in die im Aufbau begriffene Ökologische Umweltbeobachtung (ÖÜB) in Baden-Württemberg ein. Zusammenhänge und Beziehungen zwischen den einzelnen Medienbereichen sollen auf diese Weise transparent gestaltet werden. Hierzu läuft im Rahmen der ÖÜB bei der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) ein Pilotvorhaben.

Die Untersuchungen zum Ökologischen Wirkungskataster finden landesweit an ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen bzw. Dauerbeobachtungsstellen im Wald, Grünland und in Fließgewässern und

daneben auch in Ballungsgebieten und an ausgewählten Belastungsschwerpunkten statt.

Schwerpunktmäßig wurden an den genannten Untersuchungsflächen u.a. die Schadstoffanreicherung in Pflanzen, Tieren und Böden sowie die Artenvielfalt erhoben. Beispiele aus dem Gesamtprogramm werden in den folgenden Kapiteln dargestellt.

Untersuchungen auf Grünlandflächen

Die LfU unterhält landesweit 18 Grünland-Dauerbeobachtungsflächen in verschiedenen Naturschutzgebieten (Abb.14).

Die Pflanzengesellschaften dieser Grünlandflächen zählen überwiegend zu den Halbtrockenrasen, Heiden und Borstgrasrasen. Sie sind in hohem Maße an die Nährstoffarmut der Standorte angepasst und reagieren daher besonders sensibel auf atmogene Stickstoffeinträge mit ihren eutrophierenden bzw. versauernden Wirkungen. Beispiele für stickstoffbedingte Vegetationsveränderungen sind die zunehmende Vergrasung von Heiden und Kalkmagerrasen und der Rückgang standorttypischer Pflanzen wie des Bergwohlverleibs (*Arnika montana*) auf Borstgrasrasen.

Schwermetall- und Nährstoffgehalte in Pflanzen des Grünlands

Die Messung von Schad- und Nährstoffen in Grünlandpflanzen hat eine besondere Bedeutung, da Pflanzen als Primärproduzenten die Basis für viele zum Teil anreichernde Nahrungsketten darstellen.

Um einen landesweiten Überblick über die Belastungssituation der Grünlandpflanzen mit Metallen zu erhalten, wurden 1999 auf allen 18 Grünlandflächen Aufwuchs-Mischproben genommen und die anorganischen Schad- und Nährstoffgehalte analysiert. Die Flächen liegen in verschiedenen Naturräumen und unterscheiden sich bezüglich ihrer geologischen Standorteigenschaften und ihrer Pflanzengesellschaften zum Teil

Ökologische Umweltbeobachtung

beträchtlich. Diese Unterschiede kommen auch bei den Metall- und Nährstoffgehalten zum Ausdruck.

Beispielsweise liegen die *Mangan*-Gehalte (Mn) der Grünlandpflanzen von Borstgrasrasen und Heiden im Schwarzwald und Albbuch (Bisten, Feldberg, Belchen, Rauhe Wiese) mit 300 bis 630 mg/kg Trockensubstanz (TS) besonders hoch. Auf sauren Böden sind die Löslichkeit und Pflanzenverfügbarkeit von Mn gegenüber basischen Standorten stark erhöht. Mn reichert sich hier insbesondere in den Heidekrautgewächsen (*Ericaceae*) stark an und erreicht Konzentrationen bis zu 1700 mg/kg TS. Dies sind Gehalte beginnender Pflanzen- oder Tiertoxizität, die wesentlich über den Normalgehalten von 10- 200 mg/kg TS liegen.

Molybdän (Mo) als ein weiteres Beispiel ist essentieller Bestandteil einiger Enzyme und für das Pflanzenwachstum erforderlich. Wildpflanzen akkumulieren bis zu 350 mg/kg TS. Konzentrationen von mehr als 10 mg/kg TS in Pflanzen sind ein ernsthaftes Problem für die meisten Nutztiere. Diese Werte werden auf den untersuchten Grünlandflächen nicht erreicht. Mit 2,6 mg/kg TS enthielt die Vegetation der Dauerbeobachtungsfläche Taubergießen im Untersuchungsjahr 1999 die höchsten Mo-Gehalte (Abb. 16).

Ansonsten bewegen sich die Metall-Gehalte der untersuchten Pflanzenproben bei allen Flächen überwiegend im Normalwertbereich. Lediglich beim *Kobalt* (Co) werden die Normalgehalte (0,03-5 mg/kg TS) bei den Flächen Falkenhalde, Taubergießen, Steinbruch Sulzbach und Rauhe Wiese mit Werten von 5,2 bis 16 mg/kg TS übertroffen. Eine Schädigung auf Pflanzen und Tiere konnte jedoch nicht festgestellt werden (Abb. 16).

Heuschrecken - Indikatoren für Pflanzengesellschaften des Grünlandes

Heuschrecken sind typische Insekten von Grünlandgesellschaften wie Wiesen,

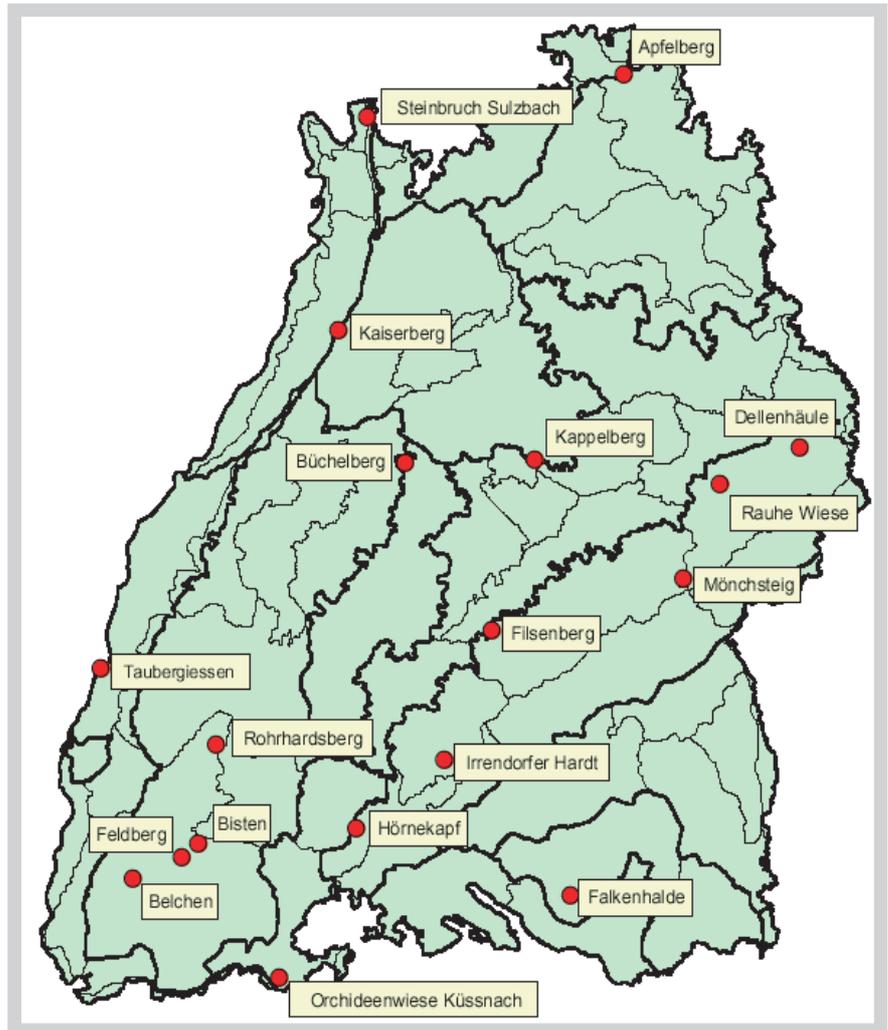


Abb. 14 Naturräumliche Lage der Grünland-Dauerbeobachtungsflächen (Quelle: LfU)

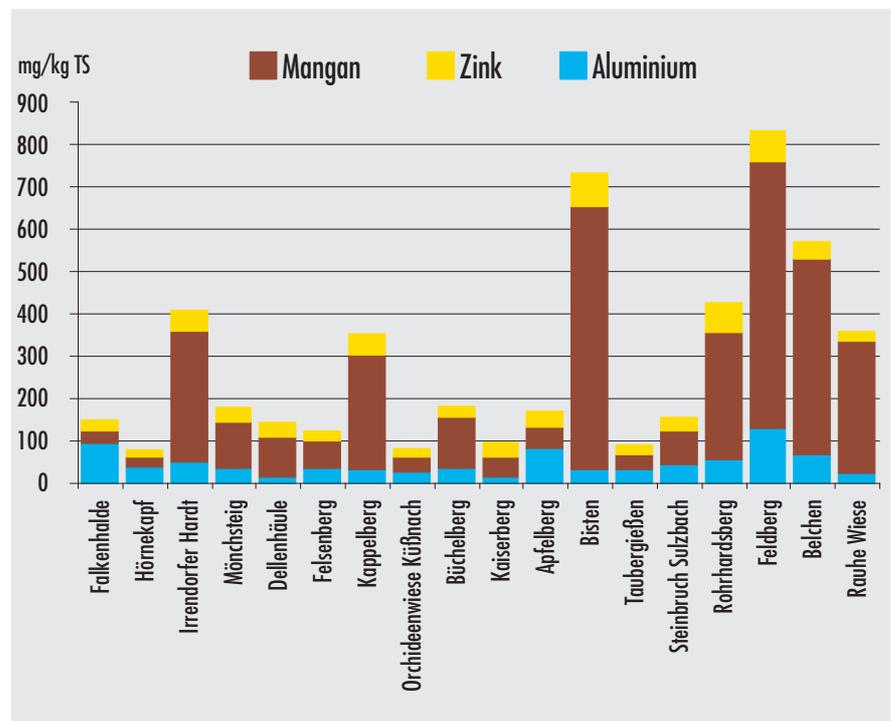


Abb. 15 Metallgehalte von Grünlandpflanzen (Aufwuchsmischproben) der Dauerbeobachtungsflächen 1999 (Quelle: LfU)

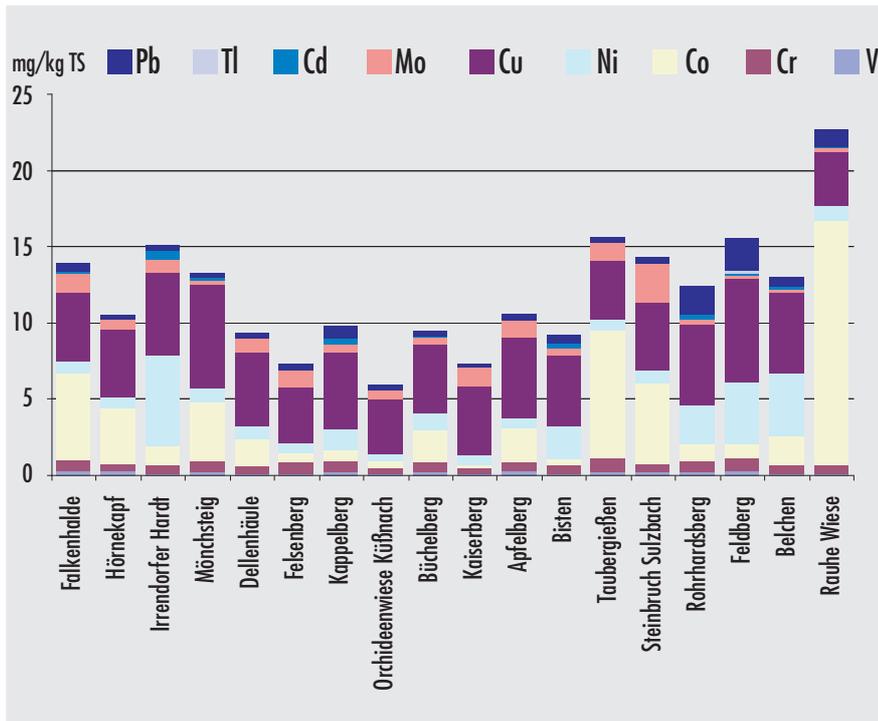


Abb. 16 Metallgehalte von Grünlandpflanzen (Aufwuchsmischproben) der Dauerbeobachtungsflächen 1999 (Quelle: LfU). Angaben in mg/kg Trockensubstanz (TS)

Heiden und Magerrasen. Sie sind Indikatoren, welche auf Veränderungen ihres Lebensraumes infolge Zerstörung, Bewirtschaftung, Düngung und Eintrag luftgetragener Schadstoffe empfindlich reagieren. Darüber hinaus reagieren sie möglicherweise auch auf Klimaveränderungen, wie die zunehmende Verbreitung der Sichelschrecke (*Phaneroptera falcata*) in Deutschland zeigt. Deren Arealgrenzen haben sich in den vergangenen Jahren nach Norden und Osten ausgedehnt. Aus den genannten Gründen ließ die LfU 1998 zur Ergänzung der bereits Mitte der achtziger Jahre begonnenen Vegetationsuntersuchungen auf sämtlichen LfU-Grünland-Dauerbeobachtungsflächen die Heuschreckenfauna erfassen.

Die Wirkungen von anthropogenen Einflussfaktoren wie beispielsweise der Eintrag luftgetragener Schadstoffe untersuchen die Forscher mit einem Biomonitoring in Naturschutzgebieten weiter. Bei der erstmaligen Untersuchung 1998 stellten sie auf den Grünland-Dauerbeobachtungsflächen 37 von insgesamt 68 heimischen Heuschreckenarten fest.

Einige häufige Arten wie der Gemeine Grashüpfer (*Chorthippus parallelus*), der

Nachtigall-Grashüpfer (*C. biguttulus*) und die Rote Keulenschrecke (*Gomphocerippus rufus*) wurden auf den meisten Flächen nachgewiesen, andere nur auf einer oder wenigen Flächen. Ein Beispiel dafür stellt der Gebirgsgrashüpfer (*Stauroderus scalaris*) dar, der in Deutschland nur in Baden-Württemberg (Schwäbische Alb bei Münsingen und Mittlerer und Südlicher Schwarzwald) und an einem Standort in Bayern verbreitet ist. Besonders erwähnenswert ist die Italienische Schönschrecke (*Calliptamus italicus*), von der in Baden-Württemberg lediglich 20 Fundorte mit Schwerpunkt im Tauberland, am südlichen Oberrhein und im Hegau bekannt sind. Auf den LfU-Dauerbeobachtungsflächen war die Art ausschließlich im NSG Apfelberg im Tauberland vertreten.

Untersuchungen an Fließgewässern

Trend-Biomonitoring zur Erfassung von Langzeitwirkungen von Gewässerbelastungen

Veränderungen der biologischen Vielfalt, Artensterben und Ausbreitung eingeschleppter, nicht an das bestehende Nahrungsnetz angepasster Tierarten stellen Auswirkungen diffuser Nährstoff- und Säureinträge sowie klimatischer Veränderungen dar. Die Ökologische Umweltbeobachtung (OUB) verfolgt und bewertet gemäß gesetzlichem Auftrag und Konventionen und Empfehlungen von Fachausschüssen (§ 11 BundesnaturschutzG, § 1 WasserhaushaltsG, Biodiversitätskonvention von Rio de Janeiro, UN, Artikel 7, Systematics Agenda 2000, Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie, EU-Wasserrahmenrichtlinie, Empfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) diese Entwicklungen.

Baden-Württemberg überwacht seit 1995 mit regelmäßigen Untersuchungen

- Überwachung der Qualität der normal genutzten Landschaft und der Biodiversität
- Monitoring der Zustandsentwicklung der Ökosysteme als Reaktion der Wirkungen diffuser stofflicher Einträge auf Lebensraum und Lebewesen; Erkennen und Bewerten langfristiger schleichender Veränderungen
- Referenzdatenbasis, um die Auswirkungen von Unfällen und Havarien zu beurteilen
- Ökologische Beweissicherung an chemisch besonders intensiv überwachten Belastungsschwerpunkten und an naturnahen Referenzmessstellen
- Erkennen von Entwicklungen, die zu Problemen führen können, z. B. Veränderungen infolge Klimaverschiebung (Frühwarnung, Vorsorgeinstrument)
- Ergänzung, Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle bestehender Messprogramme (Gewässergütererhebungen, Grundlagenkartierungen zum Artenschutz)

Tab. 16 Ziele der biologischen Dauerbeobachtung

Untersuchungen an Fließgewässern

(Trendmonitoring) der typischen Fließgewässerlebensgemeinschaft, des Makrozoobenthos (Tiergruppen wie Libellen, Eintagsfliegen, Wasserkäfer, Krebstiere, Schnecken, Würmer) die langfristige Entwicklung der Biodiversität landesweit.

Die Aufgaben des biologischen Trend-Monitorings in Fließgewässern orientieren sich an den Aufgaben der ÖUB (Tab. 16). Umfang und Bestimmungstiefe der Untersuchungen gehen deutlich über die klassischen Gewässergüteuntersuchungen hinaus. Untersuchungen sind daher nur an ausgewählten Stellen im Land durchführbar: 20 Untersuchungsabschnitte liegen an den drei Hauptgewässern Rhein, Neckar, Donau, 80 weitere an Ober- und Unterläufen bedeutender Nebenflüsse dieser Gewässersysteme. Die Beprobung erfolgt vierteljährlich im Hinblick auf die biozönotischen Messgrößen Artenzahl, Artenspektrum und Arthäufigkeit durch halbquantitative Besammlung der Gewässersohle und des Uferbereichs. Erst nach einer Untersuchungsphase von drei bis vier Jahren (je nach Gewässer) liegt eine ausreichende Datenbasis für spätere Vergleiche vor.

Bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts - einmalig für Gewässer in Baden und Württemberg - gab es am Rhein umfangreiche Untersuchungen, die als Vergleichsbasis dienen. An diesem Beispiel können drastische Veränderungen der Lebensgemeinschaft aufgezeigt werden. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts herrschte noch eine artenreiche Fauna im Rhein vor. Hingegen war während der 60er und 70er Jahre nur noch gut ein Drittel dieser Vielfalt feststellbar. Die rapide abgefallene Artenzahl spiegelt die Wirkungen der starken Gewässerverunreinigungen in diesen Jahrzehnten wieder. Die Fauna des Rheins bestand nur noch aus anspruchslosen, verschmutzungstoleranten Arten. Vom Beginn der 80er Jahre bis heute weist die Artenvielfalt im Rhein wieder eine stetig steigende Tendenz auf (Abb. 17).

Allerdings ist die Fauna, gefördert durch die internationale Schifffahrt, heute

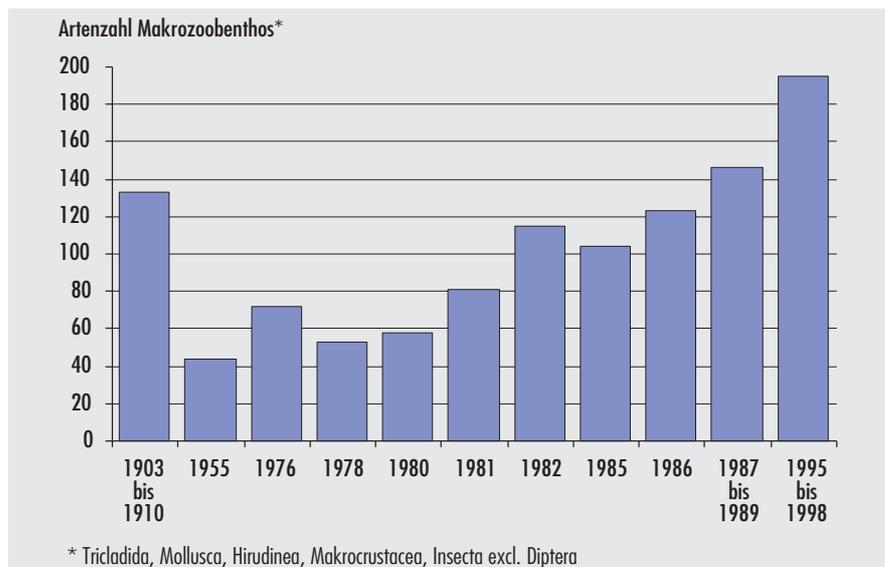


Abb. 17 Die Entwicklung der Artenzahl am Rhein (ausgewählte Gruppen des Makrozoobenthos) (Quelle: LfU)

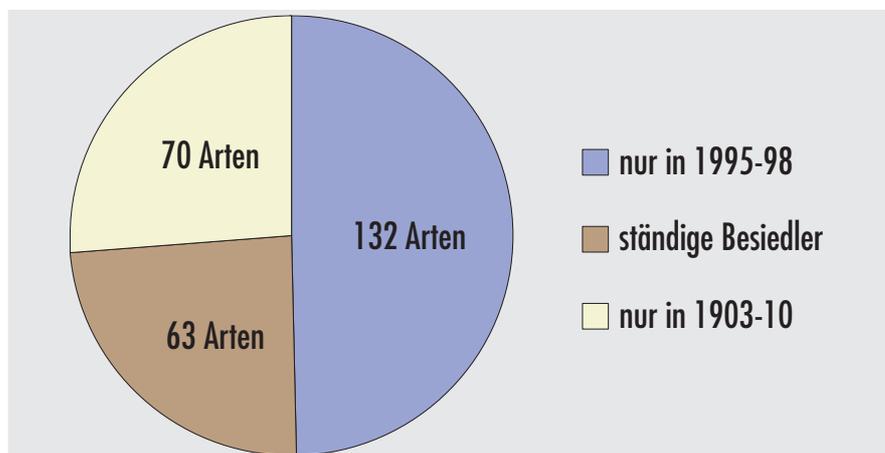


Abb. 18 Die Verschiebung des Artenspektrums im Rhein (Quelle: LfU)

geprägt durch viele gebietsfremde Arten, sog. Neueinwanderer oder Neozoen. Viele der ehemals bodenständigen Arten sind ausgestorben (26 % aller derzeit vom Oberrhein bekannten Arten). Nur 24 % der Arten des heutigen Makrozoobenthos sind identisch mit der Lebensgemeinschaft zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Die Hälfte der jetzt bekannten Rheinfau-na ist erst in den vergangenen fünf Jahren nachgewiesen worden (Abb. 18). Die auch zahlenmäßig bedeutendsten zugewanderten Arten sind die Vertreter der Körbchenmuschel aus dem asiatischen Raum (*Corbicula fluminalis* und *C. fluminea*), die räuberischen und damit die natürliche Artenzusammensetzung empfindlich störenden Flohkrebse *Dikerogammarus villosus* und *D. haemobaphes* sowie die kleine Donauassel *Jaera*

istri, die wie auch die Flohkrebse über den Rhein-Main-Donau-Kanal aus dem Balkan eingeschleppt wurden.

Abb. 19 zeigt, dass vor allem einige Rheinzuflüsse, aber auch Jagst und Kocher eine hohe Biodiversität und damit ein gutes Wiederbesiedlungspotential für die Hauptströme aufweisen.

Aufgrund der Untersuchungstiefe liefern die Ergebnisse des Trend-Biomonitorings auch eine wertvolle Datengrundlage für den Artenschutz: So wurden bisher 533 verschiedene Makrozoobenthos-Arten bestimmt. Von den im Land bekannten 86 Eintagsfliegen-Arten wurden 73 Arten (davon 32 Rote Liste-Arten) durch das Trend-Biomonitoring-Programm erfasst; allein 8 Eintagsfliegen-Arten wurden durch dieses Programm erstmals in

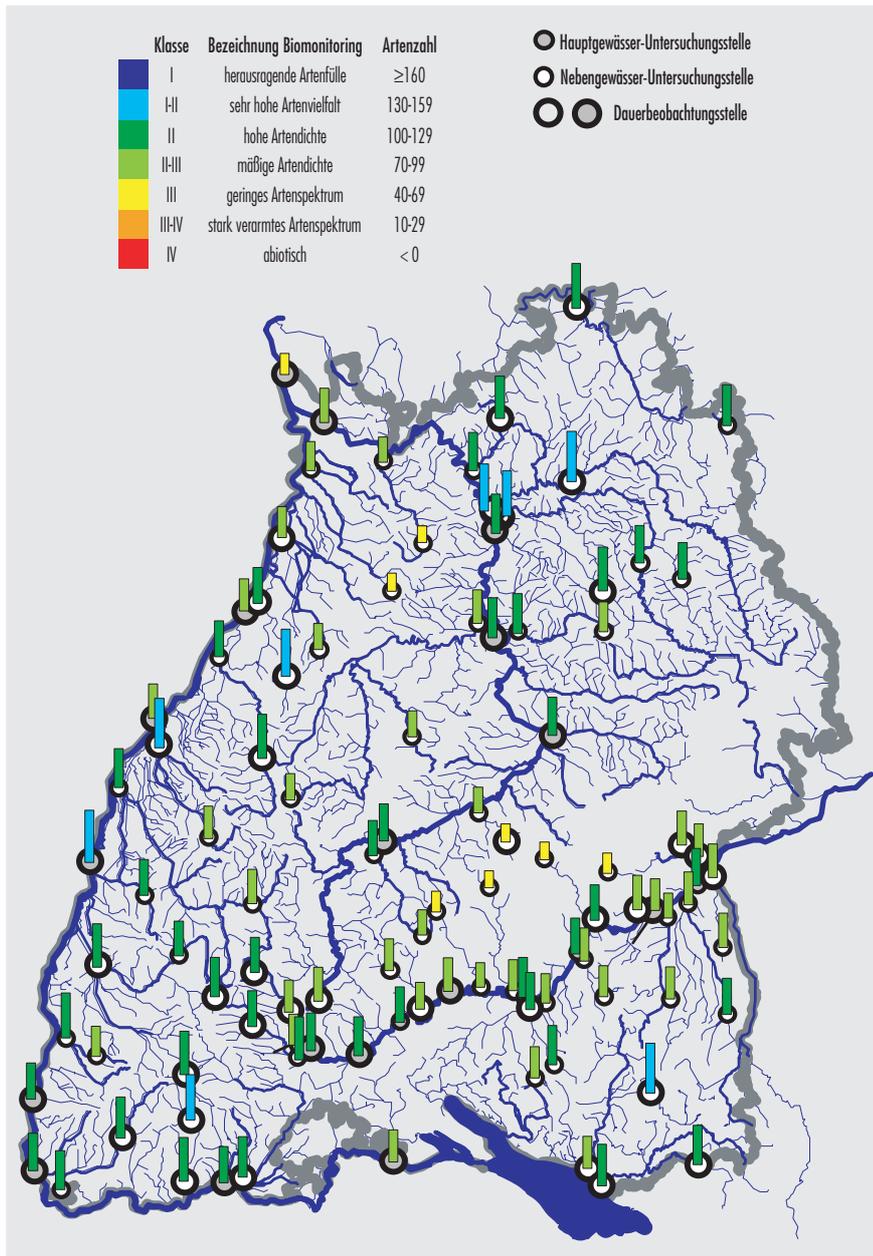


Abb. 19 Die Artenvielfalt an den Fließgewässer-Trendbeobachtungsstellen. Die Höhe der Säule entspricht der Artenzahl nach 12 Beprobungen (Quelle: LfU)

Baden-Württemberg nachgewiesen. Das beschriebene Programm erfasste 50 der 80 Steinfliegen-Arten Baden-Württembergs (darunter 16 Rote Liste-Arten). 6 Arten konnten erstmals für Baden-Württemberg gemeldet werden. 162 der 242 im Land bekannten Köcherfliegen-Arten (55 Rote Liste-Arten) wurden durch die Untersuchungen erneut nachgewiesen, davon 8 Arten erstmals. Bemerkenswert sind die Nachweise

- der lange Zeit für ganz Deutschland ausgestorben gemeldeten Steinfliege *Besdolos imhoffi* in zwei Donauzuflüssen und

- der lange Zeit als hochgradig bedroht eingestuft nach dem ursprünglichen Massenvorkommen im Rhein benannten Eintagsfliege *Oligoneuriella rhena*.

Letztere ist inzwischen aus einigen Rheinzufüssen in sich erholenden Beständen bekannt. Es bleibt abzuwarten, ob sich diese Art den verloren gegangenen Lebensraum Rhein zurückerobert.

Veränderungen in einer Fluss-Landschaft - Böden als Indikatoren

Nutzungs- und Strukturänderungen der Landschaft sind weitere Bewertungsgrößen der ÖB. Böden sind das "Gedächtnis" einer Landschaft. Auenböden eignen sich zur Indikation sowohl von mittel- bis langfristigen Schadstoffanreicherungen durch Hochwässer als auch von auetypischen, die Oberflächen-gestalt formenden (geomorphodynamischen) Prozessen. Dies wird am Beispiel *Ökologischer Flutungen* in der ausgedehnten Aue bei Altenheim/Kehl im Rahmen des Integrierten Rheinprogramms (IRP) beschrieben. Ausführlichere allgemeinere Informationen zu diesem Projekt sowie Auswirkungen auf die Fauna siehe Kapitel IRP.

In den Jahren 1993 bis 1996 wurden insgesamt 31 Ökologische Flutungen mit sehr unterschiedlicher Dauer und maximaler Wassereintragsmenge durchgeführt (LfU/GwD 1999: II9ff). Die Hochwässer bedeckten dabei die Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) unterschiedlich lange; zwei BDF (Nr. 12 und 20) wurden überhaupt nie überflutet. Die vor dem Oberrheinausbau typischen Überflutungshäufigkeiten am Oberrhein, als die Weichholzaue an 70 bis 200 Tagen und die Hartholzaue an 5 bis 100 Tagen (LfU/GwD 1999: II11) überflutet wurden, werden zwar damit noch nicht wieder erreicht. Aber nachdem die Rheinauen dort seit 1970 vollständig von den Überflutungen durch den Rhein abgeschnitten waren, ist es immerhin ein Beginn einer Renaturierung, dessen Wirkungen in einem umfangreichen Untersuchungsprogramm dokumentiert wurden (LfU/GwD 1999).

Schadstoffdynamik

Um die Schadstoffdynamik zu ermitteln, wurden Bodenproben von 11 BDF zu Anfang 1993 und Ende 1996 der Untersuchungen analysiert und miteinander verglichen.

Untersuchungen an Fließgewässern

Die Messergebnisse der Gesamtgehalte von anorganischen und organischen Schadstoffen änderten sich durch die Ökologischen Flutungen kaum oder nicht in Abhängigkeit von Überflutungshäufigkeit bzw. -dauer. Die Werte lagen sowohl am Anfang wie auch am Ende des Untersuchungszeitraumes über den an einer Vielzahl an Böden statistisch ermittelten Hintergrundwerten. Aber nur in knapp 6 % der Analysen wurden die Prüfwerte nach dem Bodenschutzgesetz Baden-Württembergs (BodSchG) überschritten. Bei Überschreitung von Prüfwerten für die Gesamtgehalte sieht das Bodenschutzgesetz weitere Untersuchungen zur Mobilität und Pflanzenverfügbarkeit vor. Abb. 20 zeigt die Ergebnisse dieser Untersuchung bei den Metallen Cadmium, Chrom, Kupfer und Zink. Diese sog. mobilen Gehalte lagen schon 1993 durchweg unter den gesetzlich festgelegten Prüfwerten, in mehr als dreiviertel aller Messungen sogar unterhalb der Hintergrundwerte. In der vierjährigen Probephase der Ökologischen Flutungen nahmen die mobilen Gehalte ab, so dass Überschreitungen der Hintergrundwerte jetzt seltene Ausnahmen (3,4 % aller Messungen) sind.

Eine Anreicherung der Auenböden mit Schadstoffen durch Eintrag schadstoffhaltiger Schwebstoffe des Rheins bei Ökologischen Flutungen konnte nicht ermittelt werden. Die relativ niedrigen Gesamtgehalte und die hohen pH-Werte der Böden bewirken eine sehr geringe Mobilität und damit eine geringe Auswaschungsgefährdung bzw. geringe Pflanzenverfügbarkeit der anorganischen Schadstoffe. Die vielfachen Überschreitungen von Hintergrundwerten bei den anorganischen und organischen Schadstoffen zum Zeitpunkt der Ausgangsuntersuchungen 1993 deuten darauf hin, dass die Böden im Polder Altenheim - ähnlich anderen überfluteten Böden am Rhein - durch frühere natürliche Überflutungen vor dem Bau der Staustufe Iffezheim mit Schadstoffen belastet wurden.

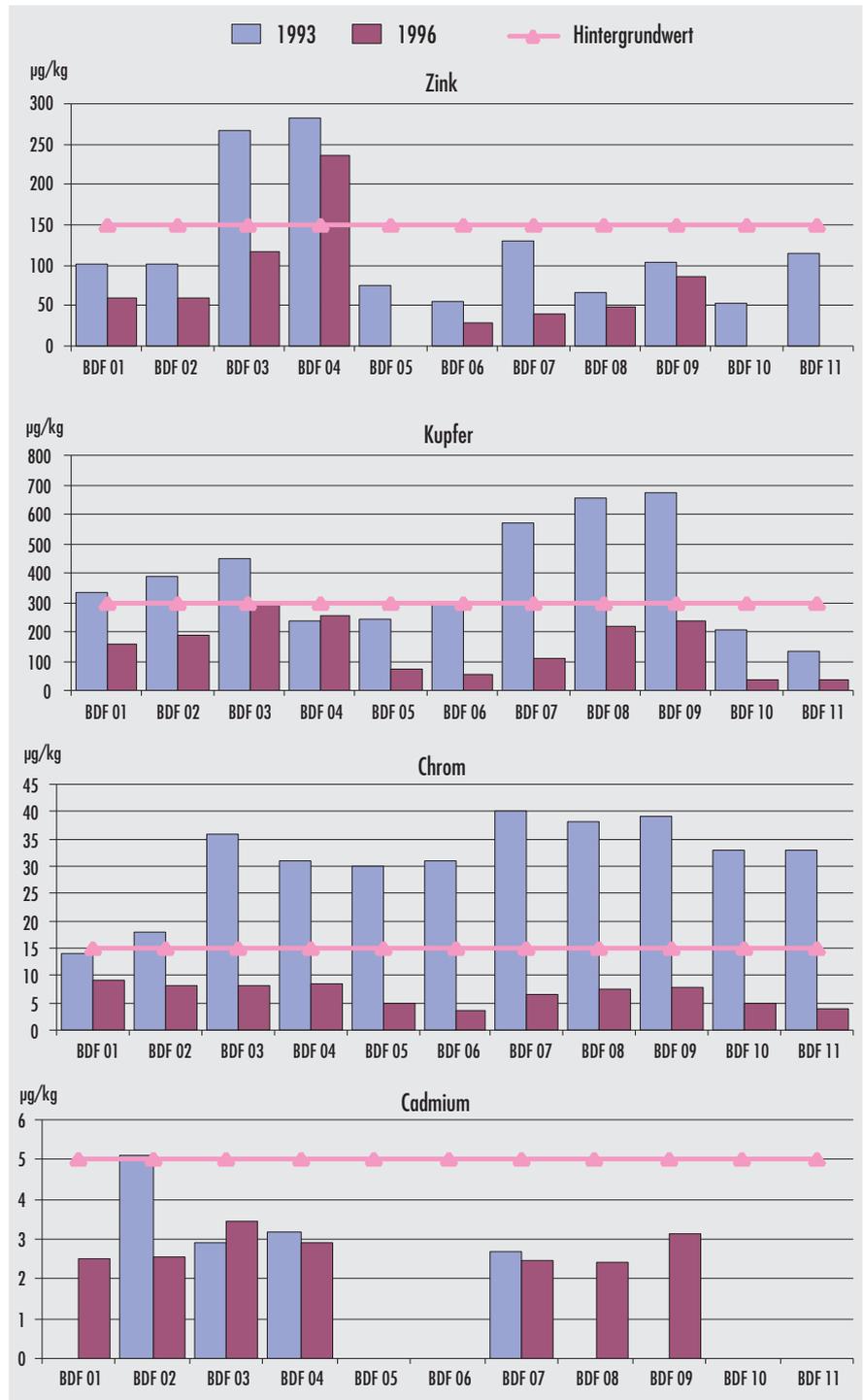


Abb. 20 Mobile (pflanzenverfügbare) Schwermetallgehalte in Oberböden zu Beginn (1993) und am Ende (1996) des Untersuchungsprogramms (Quelle: LfU)

Auf dem vorhandenen relativ niedrigen Konzentrationsniveau kann davon ausgegangen werden, dass durch die im Zuge der Ökologischen Flutungen angeregte mikrobielle Aktivität langfristig mit einem teilweisen Abbau bei den organischen Schadstoffen zu rechnen ist. Die ökologische Aufwertung der Flusslandschaft des Oberrheins durch Überflutun-

gen bewirkt keine Anreicherung der Auenböden mit Schadstoffen.

Die Ergebnisse wurden der für den Bau der Polder zuständigen Behörde, der Gewässerdirektion Südlicher Oberrhein/Hochrhein in Lahr, zur Verfügung gestellt und sind dort erhältlich (LfU/GwD 1999).

Morphodynamik

Morphodynamik wurde beobachtet um herauszufinden, ob es gelingt, das landschaftstypische Wesen der Flusslandschaft am Oberrhein durch die oberflächenverändernden Prozesse im Zuge der Ökologischen Flutungen in Qualität und Ausmaß wiederherzustellen. Denn flussbegleitend waren früher am

gesamten Oberrhein an allen Ufern und Inseln und auch auf der Flusssohle sandig-kiesige Böden verbreitet, wie sie für große Flüsse charakteristisch sind. Über diesen Kies- und Sandböden liegt jetzt fast flächendeckend eine Schicht fruchtbarer, kalkhaltiger Feinlehm.

In den Poldern Altenheim wurden zwischen 1991 und 1997 zwei bereits

vorhandene Kiesinselsysteme viermal trigonometrisch vermessen und Veränderungen mittels Photos dokumentiert (Abb. 21). Durch Ökologische Flutungen wurden die Umrisse und auch die Lage der Kiesinseln immer wieder, wenn auch nicht bei jeder Ökologischen Flutung, leicht verändert. Die dabei entstandenen hellen Kies- und Sandböden, auch Rohböden oder Umlagerungsböden

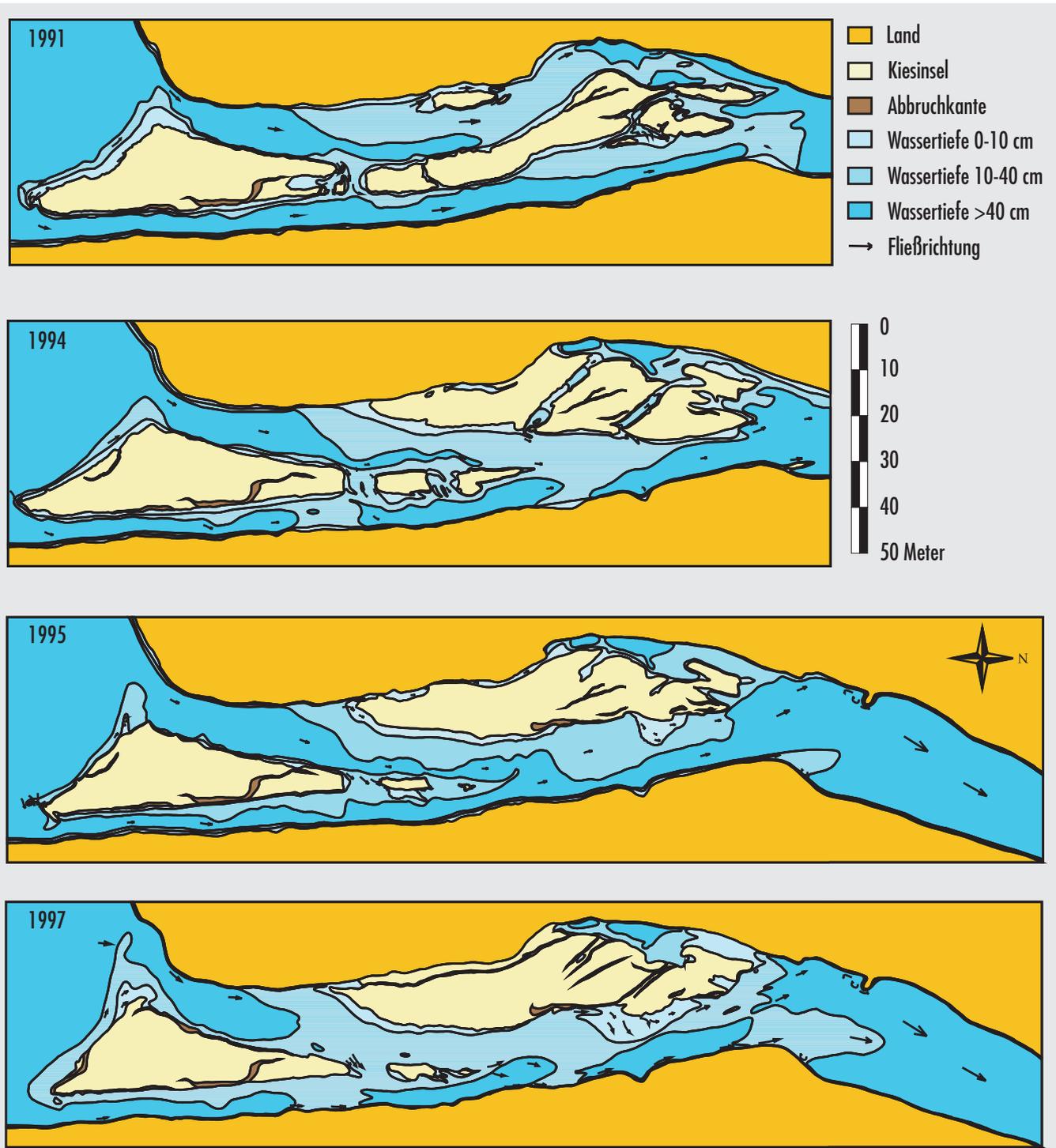


Abb. 21 Geomorphologische Veränderungen des Kiesinselsystems „Lange Schneise“ zwischen 1991 und 1997 (Quelle: LfU)

Untersuchungen an Fließgewässern, Untersuchungen an Verkehrswegen

genannt, haben flächenmäßig weder in dem Gewässerlängsprofil noch im Gewässerquerschnitt wesentlich zugenommen. Darüber hinaus verhindert die Festlegung von Feinsedimenten durch Pflanzenaufwuchs kurz- bis mittelfristig die Erhaltung autotypischer Rohböden.

Die Untersuchungen in den Poldern Altenheim bei Kehl haben gezeigt: Die früher an den Ufern des Rheins von Weil bis über Mannheim hinaus weitverbreiteten hellen, sandig-kiesigen (Umlagerungs-)Böden haben eine Chance, durch Ökologische Flutungen in den Poldern wieder neu zu entstehen. Sie werden aber durch dauerhafte Vegetation, die die Schwebstoffe aus dem Überflutungswasser filtert, bereits innerhalb eines oder spätestens weniger Jahre durch Feinsediment überdeckt, sodass vollkommen andere Auenböden daraus werden. Zwei Gründe spielen dafür die Hauptrolle:

- Die Nährstoffgehalte im Rheinwasser sind so hoch, dass die Vegetation auf den kiesig-sandigen Rohböden ungewöhnlich üppig wächst.
- Die Umgestaltung der Bodenoberfläche (Morphodynamik) ist unzureichend, weil es bei kleineren Hochwässern zu seltenen Überflutungsereignissen kommt, und aufgrund der Unterbrechung Ökologischer Flutungen für die Sicherung möglicher Retentionsflutungen bei extremen Hochwässern.

Unter den derzeit festgelegten Befeuchtungsbedingungen der Polder führte dies bislang nicht dazu, dass sich eine offene (Boden-)Landschaft entwickelte, die für große Flüsse typisch ist.

Bestimmte (Auen-)Böden eignen sich zur Erfolgskontrolle. An ihnen lässt sich ablesen, ob aufgrund der wasserrechtlichen Rahmenbedingungen eine autotypische Morphodynamik möglich ist.

Fachkundige, bodenkundliche Beratung ist eine wertvolle Hilfe bei der Erstellung von Leitbildern zur Entwicklung dieser Flusslandschaft. Aus dem Zusammenspiel der planenden und umsetzenden Behörden ergeben sich Hinweise für Beflu-

tungsregelungen in den Planfeststellungsbeschlüssen für diesen und für weitere geplante Polder. Diese sollten sich nach ökologischen und rheinabflusstypischen Kriterien richten und die Hochwasserschutzkriterien erfüllen. Für das geschilderte Beispiel heißt das, dass man:

- die Polder entsprechend der früher üblichen Häufigkeit fluten und das Befeuchtungssystem mit kontinuierlich dem Abfluss angepassten Wasserdurchflussmengen betreiben sollte,
- natürliche Hindernisse (z.B. umgefallene Bäume) in den Gerinnen lassen und dadurch Änderungen der Strömungsverhältnisse im Gerinnebett ermöglichen sollte,
- Maßnahmen zur Uferunterhaltung (einschließlich Baumpflanzungen) unterlassen sollte, sodass sich eine Sukzession von Uferböden und Ufervegetation ungestört entwickeln kann.

Die ökologische und die ästhetische Aufwertung der Flusslandschaft des Oberrheins durch morphodynamisch wirksame Überflutungen lässt sich gut mit dem Schutz vor Überschwemmungen vereinbaren.

Untersuchungen an Verkehrswegen

Verkehrsstudie

Im Jahr 1999 hat die LfU eine Literaturstudie zu "Wirkungen des Kfz-Verkehrs auf Pflanzen und die Umwelt" erarbeitet, um die Entwicklung und Bedeutung der Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs, die umweltgefährdende Substanzen enthalten, besser einzustufen und bewerten zu können. Diese Studie führte zu folgenden Ergebnissen:

- Trotz ansteigendem Kraftstoffverbrauch und Fahrzeugaufkommen gibt es einen rückläufigen Trend bei den Emissionen des Kfz-Verkehrs. Besonders gilt dies für Blei, leichtflüchtige organische Verbindungen und Stickstoffoxide. Andere Substanzen, wie z.B. Platin, nehmen dagegen zu.

- Die vom Kfz-Verkehr emittierten Gase und Stäube, die über die Luft in die Umwelt gelangen, können Mensch, Tier und Pflanze schädigen. Der luftgetragene Input ist allerdings nicht der einzige Risikopfad. In den Boden gelangt, sind kfz-bürtige Stoffe und deren Umwandlungsprodukte neben anderen Quellen Ursache für Schadstoffanreicherungen in der Nahrungskette. Auch der Endverbraucher Mensch ist letztendlich von solchen Belastungen betroffen.
- Die Kfz-Emissionen mit einer Wirkung auf die belebte Umwelt lassen sich gliedern in solche mit humantoxischer, tiertoxischer und phytotoxischer Relevanz. Das größte Risikopotential für den Menschen bergen derzeit Dieselruß, PAK und Benzol. Die vor allem in früheren Jahren emittierten Polychlorierten Biphenyle (PCB) werden über die Nahrungskette immer noch bis in ökotoxikologisch und toxikologisch wirksame Bereiche angereichert. Eine ausgeprägte phytotoxische Bedeutung unter den Verkehrsemissionen haben Ozon, Stickstoffverbindungen und Ethen.

Schadstoffanreicherungen in Pflanzen

Anreicherung von Platingruppenelementen aus Kfz-Abgaskatalysatoren im Ökosystem

Seit Mitte der 80er 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 dafür, dass Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Stickstoffoxide weitgehend beseitigt werden. Die Freisetzung von Schadstoffen aus dem Straßenverkehr wird durch den Katalysatoreinsatz um über 90 % vermindert. Damit hat die Katalysatortechnik einen großen Anteil an der Verbesserung der Luftqualität.

Neben diesem Nutzeffekt ist die Abgasreinigung aber auch mit der Emission von Platinmetallen (Pt, Rh und Pd) verbun-

den, die durch Temperaturwechsel und Erschütterungen aus dem Katalysator freigesetzt werden und sich in der Umwelt anreichern. Neuere Veröffentlichungen machen deutlich, dass die Umwelt zwar lokal an Straßenrändern belastet wird, die Platingehalte im Boden und in Pflanzen aber mit zunehmender Entfernung von der Straße schnell auf das Hintergrundniveau zurückgehen. Unklar ist, ob diese seit Mitte der achtziger Jahre anstei-

genden Konzentrationen an Edelmetallen schädlich für die Natur und den Menschen sind.

Die LfU hat 1995 über Einträge von Platingruppenelementen aus Kfz-Abgaskatalysatoren in straßennahe Böden einen ersten Bericht vorgelegt. Sodann beauftragte das Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg 1998 die LfU, den Kenntnisstand zur Anreiche-

rung von Platin im Ökosystem zu dokumentieren. Ein Teilaspekt dieses Auftrages sind die Erprobung und Festlegung von Analysemethoden bei Platin in unterschiedlichen biologischen Materialien sowie exemplarische Untersuchungen.

Die Anreicherung von Platin, Rhodium und Palladium wurde in einer Pilotstudie an standardisierten Graskulturen gemessen. Das Verfahren basiert auf einer VDI-Richtlinie; deren Methodik hat ein Arbeitskreis "Bioindikation" der Landesanstalten und -ämter weiterentwickelt. Die Kulturen wurden im Sommer 1999 am Rand der Autobahn A 5 exponiert und anschließend auf die akkumulierten Metalle analysiert. Die Position der Kulturen erfasste einen engen räumlichen Ausschnitt (von 3 m Breite und 2,5 m Höhe) einer Transsekte durch die Autobahntrasse in Lee (abgekehrter Seite) der Hauptwindrichtung. Dabei wurde auch danach geforscht, wie Lärmschutzeinrichtungen die emittentennahe Immission beeinflussen.

Die *Platin*-Konzentrationen betragen unmittelbar am Rand des Straßenbelages im Mittel sechs Mikrogramm pro Kilogramm ($\mu\text{g}/\text{kg}$) getrocknetes Gras und lagen in drei Meter Abstand zum Straßenbelag bei nur noch 70 % dieses Wertes (Abb. 22). Eine hohe leeseitig gelegene Lärmschutzwand reduzierte den Abtransport mit dem Wind und wirkte sich somit erhöhend auf die Platinkonzentrationen vor der Wand aus (ca. 9 $\mu\text{g}/\text{kg}$), veränderte aber nicht das mit der Entfernung abnehmende Emissionsprofil.

Palladium wird erst seit wenigen Jahren anstelle von Platin zur Bestückung der Katalysatoren verwendet. Es erreichte mit zwei bis drei $\mu\text{g}/\text{kg}$ schon ca. ein Drittel bis die Hälfte der Platinkonzentrationen. Vor der Lärmschutzwand ergaben sich Unterschiede in der räumlichen Verteilung zwischen Platin und Palladium gegenüber den Messungen auf freier Strecke: Palladium nahm vor der Wand nicht mit der Entfernung zum Straßenrand ab. Unter dem Vorbehalt der Vorläu-

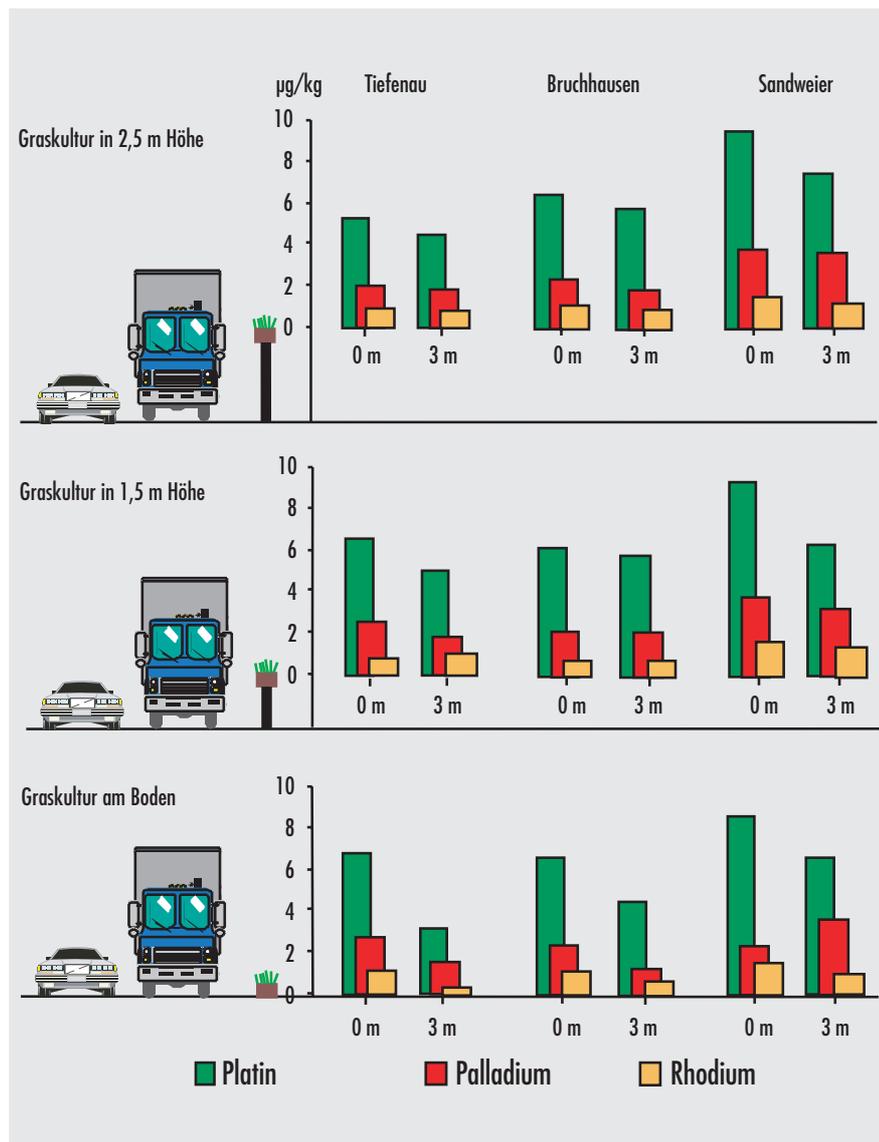


Abb. 22 Anreicherung von Platingruppenelementen in Graskulturen am Rand der A 5 südlich Karlsruhe (in 0 m und in 3 m Abstand vom Fahrbahnrand). Dargestellt sind die Mittelwerte von vier Erntezeitpunkten im Sommer 1999. Die Konzentrationen sind in $\mu\text{g}/\text{kg}$ trockener Blattmasse angegeben. (Quelle: LfU)

Standort Tiefenau: Ohne Lärmschutzeinrichtung

Standort Bruchhausen: Position der Graskulturen zwischen dem Straßenrand und einem 5 m hohen Wall.

Standort Sandweier: Position der Graskulturen zwischen dem Straßenrand und einer 18 m hohen Lärmschutzwand.

Verkehrsaufkommen: ca. 60.000 Kfz/Tag

Untersuchungen an Verkehrswegen

figkeit dieser ersten Ergebnisse lässt sich daraus auf eine größere Mobilität des Palladiums schließen.

Rhodium, das zusammen mit Platin oder Palladium als katalytisch aktives Edelmetall in den Katalysator eingebaut wird, erreichte bei ungestörten Windverhältnissen lediglich Konzentrationen um 1 µg/kg, vor der Lärmschutzwand jedoch um 1,5 µg/kg. Das ermittelte Platin-/Rhodium-Verhältnis von 6:1 entspricht dem herstellungsbedingten Verhältnis im Katalysator und wurde auch in anderen Untersuchungen schon in Straßenstaub- und Bodenproben wiedergefunden.

Zum Vergleich wurden auch *andere Metalle* mitgemessen. Die gute Korrelation der Edelmetalle mit anderen verkehrsbedingten Metallen (Antimon, Blei, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink) belegt die Abhängigkeit der Anreicherung vom Kfz-Verkehr. Bis auf wenige Ausnahmen lässt sich verallgemeinern, dass ein fünf Meter hoher Lärmschutzwall so gut wie keinen Einfluss auf den Transport metallhaltiger Staubpartikel hatte, während die 18 m hohe Lärmschutzwand zu einer deutlichen Anreicherung bei den vor der Wand stehenden Graskulturen führte.

Der Versuch zeigt eine Beladung des Grases mit den Edelmetallen. Eine Beeinträchtigung des Wachstums ist bei den gefundenen Konzentrationen nicht zu erwarten. Da mit den Versuchen erst 1999 begonnen wurde, ist es für eine Aussage über mögliche Trends noch verfrüht. Es wurden jedoch mit diesen Messungen Referenzwerte etabliert, die mit Hilfe weiterer Untersuchungen ein Trend-Monitoring ermöglichen.

Aus der Literatur ist bekannt, dass Platin nur in unmittelbarer Emittentennähe in erhöhten Konzentrationen in Umweltproben gefunden wird und in einer Entfernung von nur wenigen Metern auf "Hintergrundwerte" zurückgeht. Dies wurde bestätigt, soweit der sehr begrenzte Umfang der Untersuchungen dies zuließ.

Für Palladium wurde im Gegensatz zu Platin vor der Lärmschutzwand keine

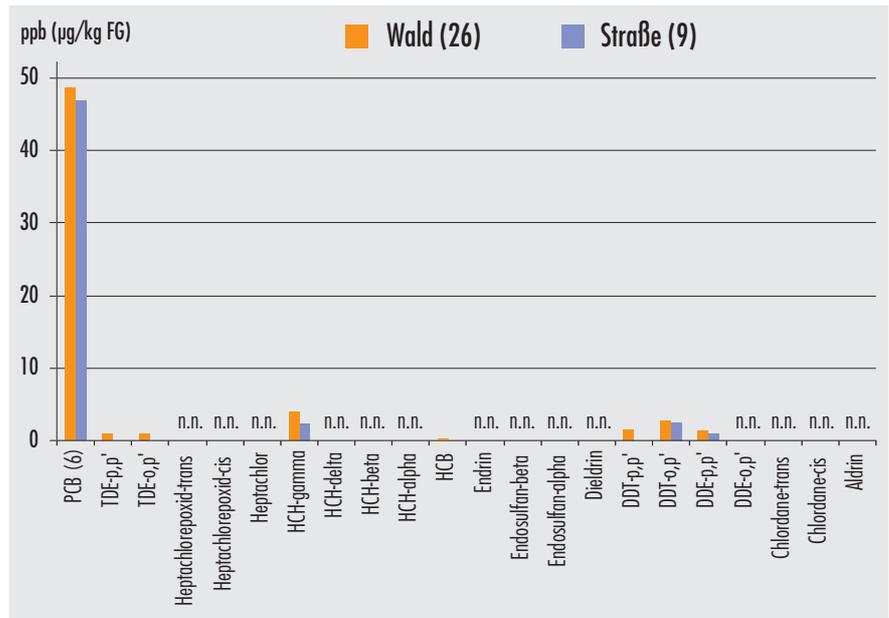


Abb. 23 Mittlere Schadstoffbelastung mit Organchlorverbindungen in Leberproben von Gelbhalsmäusen 1998; Karlsruher Südtangente (Verkehrsaufkommen 1995/96: 73.000 Kfz/24h) und in einem ca. 500 m westlich liegenden Waldgebiet (n.n. = nicht nachweisbar, Bestimmungsgrenze: 2µg/kg) (Quelle: LfU)

Abnahme mit der Entfernung vom Straßenrand verzeichnet. Dieser Befund ist vermutlich mit einer geringeren Dichte der Palladium-Partikel zu erklären, bedarf aber noch der weiteren Erhärtung durch zusätzliche Messungen.

Aus Sicht einer *umwelttoxikologischen Gesamtbewertung* stellen Emissionen aus Kfz-Katalysatoren die größte Quelle für den Eintrag von Edelmetallen in die Umwelt dar. Die auftretenden Konzentrationen sind aber bisher nicht humantoxikologisch relevant. Platin-Konzentrationen in der am höchsten belasteten Luft nahe an stark befahrenen Straßen liegen um ca. den Faktor 150 unter der Schwelle, bei der bei empfindlichen Personen mit der Auslösung allergischer Reaktionen zu rechnen ist. Wegen dieser bekannten sensibilisierenden Wirkung des Platins und des Palladiums ist eine Beobachtung des weiteren zeitlichen Verlaufs der Edelmetallkonzentrationen in der Umwelt jedoch angezeigt.

Schadstoffanreicherungen in Tieren

Ein weiteres Projekt der Biologischen Umweltbeobachtung hat die Analyse und Bewertung der Schadstoffbelastung (Organochlorverbindungen und Schwer-

metalle) bei wildlebenden Kleinsäugerarten zum Inhalt. Dieses Schadstoffmonitoring setzt die 1995 begonnenen Untersuchungen fort. 1998 wurden bei Gelbhals- (Apodemus flavicollis) und Rötelmäusen (Clethrionomys glareolus) an zwei Standorten im Stadtgebiet von Karlsruhe Rückstände untersucht. Ein Standort befindet sich unmittelbar an der Kreisstraße 9697; ein weiterer Standort liegt in einem Waldgebiet, ca. 300 m westlich der Straße.

Die Analytik der Mauslebern hatte, mit Ausnahme der Polychlorierten Biphenyle, relativ geringfügige Belastungswerte zum Ergebnis: Die Gehalte von 18 der 22 untersuchten Substanzen waren nicht nachweisbar (n.n.) bzw. lagen unter der Bestimmungsgrenze von 2 µg/kg.

Die für tierische Lebensmittel nach der Schadstoffhöchstmengenverordnung für PCB zugelassenen Werte (Fleisch: 0,052 ppm; Fett: 0,52 ppm) wurden zwar im Mittel eingehalten; 43 % der untersuchten Tierproben überschritten allerdings diesen Wert um maximal das 3,4-fache.

Frühere Untersuchungen hatten mit zunehmender Fahrbahntfernung eine deutliche Abnahme der Gehalte einiger

Organochlorverbindungen in Tierproben ergeben (Umweltdaten 95/96). Dies konnte im Untersuchungsjahr 1998 nicht festgestellt werden (Abb. 23), was darauf schließen lässt, dass diese Stoffe heutzutage ubiquitär in den Ökosystemen verbreitet sind und der Kfz-Verkehr nicht - oder nur zum Teil (PCB) - Quelle dieser Stoffe ist.

Unter den Organochlorverbindungen sind die PCB nach wie vor die bedeutendsten Kontaminanten in Umweltproben. Das seit mehr als 10 Jahren bestehende Produktions- und weitgehende Anwendungsverbot hat bis heute noch nicht bewirkt, dass PCB in der Umwelt deutlich zurückgeht. Der Grund liegt in der hohen chemischen und thermischen Stabilität und der damit verbundenen schlechten biologischen Abbaubarkeit der PCB. Aufgrund der guten Fettlöslichkeit kommt es zur Anreicherung in den Nahrungsketten. Dies kann z.B. in marinen Ökosystemen (Nordsee) zu einer 80-millionenfachen Anreicherung vom Wasser über das Plankton und die Fische zum Meeressäuger führen.

In terrestrischen Ökosystemen liegen die PCB vor allem in der Auflage von Waldböden in vergleichsweise hohen Konzentrationen vor. Sie werden an der Wachsschicht der Blätter und Nadeln absorbiert und beim Laubfall in den Boden eingetragen. Der Boden enthält rund 90 % aller PCB in der Umwelt West- und Mitteleuropas und stellt somit für diese Substanzklasse einen bedeutenden Langzeitspeicher und eine kontinuierlich emittierende Quelle dar.

Verkehrsbedingte PCB-Immissionen können insbesondere von PCB-verunreinigtem Altöl herrühren. Eine Reduktion des Eintrags und der Gehalte in straßennahe Böden ist zu erwarten, da Kraftfahrzeuge mit Abgasreinigung stetig zunehmen.

Anhang

Quellen- und Literaturhinweise

Reihe "Biotopie in Baden-Württemberg", Karlsruhe:

Breunig, Thomas; Thielmann, Gabriele 1992: Binnendünen und Sandrasen. Band 1

Lüth, Michael 1993: Felsen und Blockhalden. Band 6

Bronner, Gerhard 1995: Höhlen und Dolinen. Band 2

Döler, Hans-Peter; Haag, Cornelia 1995: Wacholderheiden. Band 3

Döler, Hans-Peter; Haag, Cornelia; Genser, Joachim 1995: Magerrasen. Band 4

Kapfer, Alois 1995: Streuwiesen und Naßwiesen. Band 5

Lüth, Michael 1993: Felsen und Blockhalden. Band 6

Späth, Volker 1995: Bruch-, Sumpf- und Auwälder. Band 7

Landesanstalt für Umweltschutz (Hrsg. 3. Auflage) 1998: Kartierung und Schutz. Band 8

Biss, Regina 1999: Quellen und Quellreiche. Band 12

Hölzinger, Jochen 1987-2000: Die Vögel Baden-Württembergs. Band 1: Gefährdung und Schutz. Band 2.2 (mit Boschert, Martin) Nicht-Singvögel. Bände 3.1 und 3.2: Singvögel. Band 4: Folienkarten. Band 5 (mit Bauer, Hans-Günther, und Boschert, Martin): Atlas der Winterverbreitung. Band 7: Bibliographie. Stuttgart

Grimmett, R.F.A.; Jones, T.A. 1989: Import Birds Areas in Europe. Cambridge

Zentrale für Wasservogelforschung und Feuchtgebietsschutz in Deutschland 1993: Die Feuchtgebiete internationaler Bedeutung in der Bundesrepublik Deutschland. Münster, Potsdam, Wesel

Hölzinger, Jochen; Mahler, Ulrich 1994: Kriterien zur Bearbeitung der Brut-, Durchzugs- und Überwinterungsgebiete für Vögel in Baden-Württemberg. Ornith.Schnellmitteilungen für Baden-Württemberg N.F. 42, Februar 1994. Beilage

Hölzinger, Jochen; Berthold, Peter; König, Claus; Mahler, Ulrich: Die in Baden-Württemberg gefährdeten Vogelarten. Rote Liste (4. Fassung, Stand 31.12.1995). Ornith. Jahrb. Baden-Württemberg 9

Bauer, Hans-Günther; Berthold, Peter 1997: Die Brutvögel Mitteleuropas. Bestand und Gefährdung. Wiesbaden

Heath, M.F.; Evans, M.I. (Eds.) 2000: Important Bird Areas in Europe: Priority sites for conservation. 2 vols. Cambridge, UK: Birdlife International

Hölzinger, Jochen, et al. 1999: Singvögel 1. Passeriformes-Sperlingsvögel: Alaudidae (Lerchen) - Sylviidae (Zweigsänger). Stuttgart

Ebert, Günter (Hrsg.): Die Schmetterlinge Baden-Württembergs. Bände 1, 2 (Tagfalter I, II) 1991, 3-7 (Nachtfalter I-V) 1994, 1997, 1998. Stuttgart

Sebald, Oskar; Seybold, Siegmund; Philippi, Georg; Wörz, Arno (Hrsg.) 1993, 1992, 1996, 1998: Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs. Bände 1-8. Stuttgart

Buttler, Karl Peter; Harms, Karl Hermann 1998: Florenliste von Baden-Württemberg. Liste der Farn- und Samenpflanzen. Karlsruhe

Anhang

Breunig, Thomas; Demuth, Siegfried
1999: Rote Liste der Farn- und Samen-
pflanzen Baden-Württemberg. Karlsruhe

Informationsmöglichkeiten

<http://www.mlr.baden-wuerttemberg.de>

Wirth, Volkmar (Hrsg.) 1995: Die Flech-
ten. Bände 1 und 2. 2. Auflage. Stuttgart

[http://europa.eu.int/comm/environ-
ment/nature/natura.htm](http://europa.eu.int/comm/environment/nature/natura.htm)

Detzel, Peter 1998: Die Heuschrecken
Baden-Württembergs. Stuttgart

Sternberg, Klaus; Buchwald, Rainer
(Hrsg.) 1999, 2000: Die Libellen Baden-
Württembergs. Bände 1, 2. Stuttgart

Kriegelsteiner, German J. (Hrsg.) 2000:
Die Großpilze Baden-Württembergs.
Bände 1, 2. Stuttgart

Brechtel, Fritz; Kostenbacher, Hans
(Hrsg.) 2000: Die Pracht- und Hirschkä-
fer Baden-Württembergs. Stuttgart

Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.)
1998: Das europäische Schutzgebietssy-
stem Natura 2000. BfN-Handbuch zur
Umsetzung der Fauna-Flora-Habitat-
Richtlinie (92/43/EWG) und der EU-
Vogelschutzrichtlinie (79/409/EWG).
Schriftenreihe für Landschaftspflege und
Naturschutz. Heft 53. Bonn-Bad Godes-
berg

Stiftung Naturschutzfonds beim Ministe-
rium Ländlicher Raum Baden-Württem-
berg (Hrsg.) 1998: Themenhefte Natur-
schutzfonds: 20 Jahre Stiftung Natur-
schutzfonds

Ministerium Ländlicher Raum/Landes-
anstalt für Umweltschutz (Hrsg.):

Natura 2000:

Umsetzung in Baden-Württemberg.
Faltblatt 1999

Lebensräume und Arten von A bis Z im
Europäischen Verbund. 2000

Karten, Verzeichnis und Daten zu den
Gebieten. CD-Rom. 2000

Beschreibung

Die Umweltökonomie schafft umweltpolitische Rahmenbedingungen, die zu einer wirtschaftlichen Entwicklung im Einklang mit der Natur führen. Aus der amtlichen Statistik interessiert im Kapitel Umweltökonomie zunächst die Ausgabenseite der *öffentlichen Hand* und des *Produzierenden Gewerbes*. Das Produzierende Gewerbe wiederum ist in die Wirtschaftszweige *Verarbeitendes Gewerbe*, *Energiewirtschaft* und Wasserversorgung, Bergbau und Baugewerbe untergliedert. Dabei werden bis 1995 vier Bereiche erfasst: Abfallbeseitigung, Gewässerschutz, Lärmbekämpfung und Luftreinhaltung. Seit 1996 kommen jeweils die Bereiche Naturschutz und Landschaftspflege sowie Bodensanierung hinzu.

Für die übrigen Wirtschaftsbereiche (Dienstleistungen, Kleinverbrauch (Betriebe mit weniger als 20 Beschäftigten), Landwirtschaft und private Haushalte) liegen keine entsprechenden Ergebnisse vor.

Die Ausgaben für Umweltschutzmaßnahmen der *öffentlichen Hand* werden zumeist von den Gemeinden, Kreisen und Zweckverbänden getätigt, wofür das Land Baden-Württemberg vor allem Finanzhilfen leistet.

Die wichtigste statistische Größe sind jeweils die Gesamtausgaben zu jeweiligen Marktpreisen. Diese setzen sich aus den Sachinvestitionen (Umweltschutzinvestitionen: Baumaßnahmen, Erwerb von Vermögen und Beteiligungen) und laufenden Ausgaben, unterteilt in Personal- und laufende Sachausgaben, zusammen.

Für Umweltschutzausgaben und für Umweltschutzinvestitionen liegen seit 1975 jährliche Ergebnisse in eingeschränkt vergleichbarer Form vor. Seit dem Berichtsjahr 1995 sind die Statistiken im Verarbeitenden Gewerbe auf die neue "Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 1993 (WZ 93)" umgestellt. Vergleiche mit vorangegangenen Jahren sind nur eingeschränkt möglich, weil

UMWELTÖKONOMIE

Beschreibung	M – 1
Ausgaben insgesamt	M – 1
Ausgaben der öffentlichen Hand	M – 2
Ausgaben des Produzierenden Gewerbes	M – 3
Investitionen des Verarbeitenden Gewerbes	M – 4
Investitionen der Energiewirtschaft	M – 4
Arbeitsplätze und Markt im Umweltschutz	M – 5
Betriebliches Umweltmanagement	M – 6
Anhang	M – 7

nach der neuen Klassifikation einzelne Wirtschaftszweige (u.a. Reparatur von Kraftfahrzeugen, Augenoptik) nicht mehr zum Erhebungsbereich zählen, während nun das Verlagsgewerbe und die Recyclingbetriebe zum Verarbeitenden Gewerbe gezählt werden. Darüber hinaus hat sich vielfach auch die Zuordnung und Aufteilung von Wirtschaftszweigen geändert. Ab dem Berichtsjahr 1996 werden die *integrierten* Umweltschutzinvestitionen nicht mehr erfasst. Dagegen sind Umweltschutzinvestitionen für die Bereiche Naturschutz und Landschaftspflege sowie Bodensanierung hinzugekommen.

Bei den nachgewiesenen *Umweltschutzinvestitionen* handelt es sich um Maßnahmen, die ausschließlich dem Umweltschutz dienen, oder solche, bei denen der auf den Umweltschutz entfallende Teil beziffert werden kann. Umweltschutzinvestitionen sind Zugänge an Sachanlagen zum Schutz vor schädigenden Einflüssen, die bei der Produktionsstätigkeit entstehen (produktionsbezogene Investitionen), und zur Herstellung von Erzeugnissen, die bei Verwendung oder Verbrauch eine geringere Umweltbelastung hervorrufen (produktbezogene Investitionen).

Andere Maßnahmen für hauptsächlich andere Zwecke, die auch Umweltentlastungen bewirken, sind überwiegend nicht enthalten. Bei produktbezogenen Umweltschutzinvestitionen sind nur diejenigen einbezogen, die auf gesetz-

liche Vorschriften zurückgehen. Die so insgesamt erfassten Beträge stellen deshalb die untere Grenze der erbrachten Umweltschutzinvestitionen dar.

Ausgaben insgesamt

Die gesamten Umweltschutzausgaben in Baden-Württemberg - Aufwendungen der öffentlichen Hand und des Produzierenden Gewerbes - stiegen von 2,13 Mrd. DM 1976 auf den Spitzenwert von 6,54 Mrd. DM 1992 an. Seither sind die Umweltschutzausgaben, insbesondere aufgrund gesunkener Aufwendungen der öffentlichen Hand, rückläufig. Für den Umweltschutz im Land wurden von 1976 bis 1995 insgesamt 8,6 Mrd. DM aufgewendet. Davon entfielen 61 % auf die öffentliche Hand. Lediglich von 1983 bis 1990 kam das Produzierende Gewerbe auf einen Anteil von über 40 % und brachte nur 1986 annähernd gleichviel

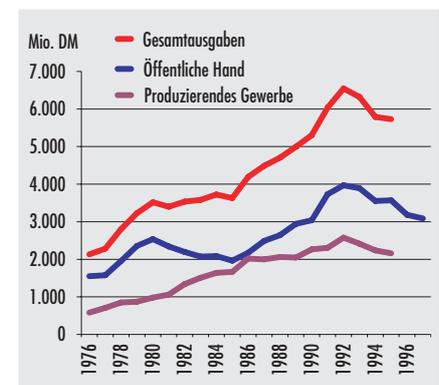


Abb. 1 Umweltschutzausgaben in Baden-Württemberg (Quelle: Statistisches Landesamt)

Ausgaben insgesamt, Ausgaben der öffentlichen Hand

wie die öffentliche Hand für den Umweltschutz auf (Abb. 1).

Während die laufenden Ausgaben von 1976 bis 1993 kontinuierlich zunehmen, sind die Umweltschutzinvestitionen zwischen 1980 und 1985 rückläufig und steigen erst ab dem Jahr 1986 bis auf einen Wert von 2,7 Mrd. DM im Jahr 1992 an. Die laufenden Ausgaben dehnten ihren Anteil von 41,3 % 1977 auf knapp 66 % 1995 aus, ihr Anteil lag von 1976 bis 1995 bei 54,5 % aller Umweltausgaben. Dabei stiegen die laufenden Ausgaben mit Ausnahme von 1984/85 insgesamt kontinuierlich an: von 848 Mio. DM 1976 bis auf knapp 4 Mrd. DM 1993. Der Anteil der öffentlichen Hand an den laufenden Ausgaben nahm seit Mitte der 80er Jahre kontinuierlich zu und erreichte 1992 einen Spitzenanteil von 57 %. Insgesamt wurden für die laufenden Ausgaben im Umweltschutz in Baden-Württemberg von 1975 bis 1993 46,8 Mrd. DM aufgewendet, wobei 62 % auf die öffentliche Hand entfielen (Abb. 2).

Bei den Umweltschutzinvestitionen tätigt die öffentliche Hand den überwiegenden Anteil, nämlich von den insgesamt 42,7 Mrd. DM von 1976 bis 1997 70 %. Dabei waren die Umweltschutzinvestitionen insgesamt von 1981 bis 1985 deutlich rückläufig, was auf die gesunkenen Aufwendungen der öffentlichen Hand zurückzuführen war. Sie erreichten erst 1986 wieder den Stand von Anfang der 80er Jahre. Nach dem Rekordwert von 2,7

Mrd. DM 1992 war 1993 erneut ein deutlicher Rückgang auf 2,4 Mrd. DM und 1994 auf 1,9 Mrd. DM zu verzeichnen. Im Jahr 1997 lagen die Umweltschutzinvestitionen bei 1,7 Mrd. DM.

Ausgaben der öffentlichen Hand

Die Umweltschutzausgaben der öffentlichen Hand werden statistisch in Umweltschutzinvestitionen und laufende Ausgaben unterschieden. Hauptträger der Ausgaben sind die Gemeinden und die Zweckverbände als kommunale Zusammenschlüsse. Dies ist auf die kommunale Zuständigkeit für die aufgabenintensiven Bereiche wie Abwasserreinigung und Abfallbeseitigung zurückzuführen. Das Land Baden-Württemberg ist für die anderen Bereiche – Naturschutz und Landschaftspflege, Reinhaltung der Luft, des Wassers und des Bodens sowie die Forschung – zuständig.

Die unmittelbaren Investitionen des Landes liegen nicht vollständig vor und werden hier nicht berücksichtigt; ihr Umfang liegt bei rund 2 % aller öffentlichen Umweltschutzaufwendungen. Die *Gesamtausgaben* des Landes im Zeitraum 1976 bis 1998 belaufen sich auf insgesamt 61,7 Mrd. DM. Schwerpunkt ist dabei die Abwasserbeseitigung mit einem Anteil von 68 %. Insgesamt erhöhten sich die jährlichen Gesamtaufwendungen der öffentlichen Hand von 1,5 Mrd. DM 1976 auf den Spitzenwert von fast 4 Mrd. DM 1992. Dabei war Anfang und Mitte der

80er Jahre eine rückläufige Tendenz festzustellen. Seit 1992 gingen die Umweltschutzausgaben wieder zurück und lagen 1998 bei 2,9 Mrd. DM.

Die *laufenden Ausgaben* stiegen stetig an, da immer mehr Umweltschutzanlagen und -einrichtungen auch höhere Unterhaltungs- und Verwaltungsausgaben mit sich brachten. Von einer leichten Stagnation 1985/86 abgesehen, stiegen die laufenden Ausgaben gleichmäßig an: von 0,5 Mrd. DM 1976 auf den Spitzenwert von 2,25 Mrd. DM 1993. Danach war ein Rückgang auf 4,8 Mrd. DM 1996 mit einem leichten Anstieg 1997 zu beobachten. Über den gesamten betrachteten Zeitraum verteilten sich die laufenden Ausgaben zu 54 % auf den Abfall- und zu 46 % auf den Abwasserbereich (Abb. 3).

Die Umweltschutzinvestitionen der öffentlichen Hand erreichten 1980 einen Spitzenwert von 1,75 Mrd. DM und gingen dann bis 1985 kontinuierlich zurück (Abb. 4). Mit einem erneuten Ansteigen wurden 1991 und 1992 Spitzenwerte von knapp 1,8 Mrd. DM erreicht. Nach einem deutlichen Rückgang auf 1,4 Mrd. DM bis 1994 war 1995 ein erneuter Anstieg auf 1,5 Mrd. DM festzustellen. Bis 1997 gingen die Investitionen auf 1,3 Mrd. DM zurück. Mit einem Anteil von 90 % über den Zeitraum von 1976 bis 1997 investierte die öffentliche Hand hauptsächlich in die Abwasserbeseitigung.

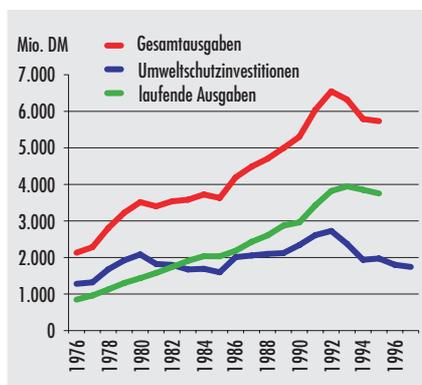


Abb. 2 Umweltschutzausgaben in Baden-Württemberg nach Investitionen/laufenden Ausgaben (Quelle: Statistisches Landesamt)

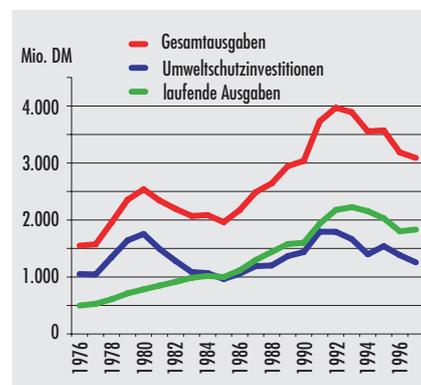


Abb. 3 Umweltschutzausgaben der öffentlichen Hand in Baden-Württemberg (Quelle: Statistisches Landesamt)

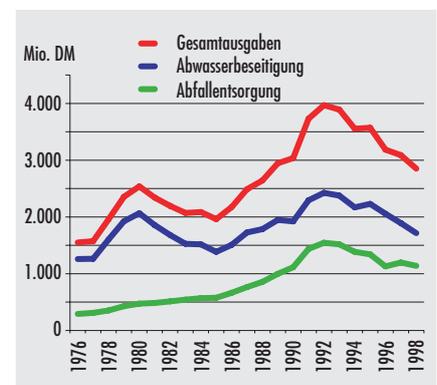


Abb. 4 Umweltschutzausgaben der öffentlichen Hand in Baden-Württemberg nach Bereichen (Quelle: Statistisches Landesamt)

Für die *Abwasserbeseitigung* wurden von 1976 bis 1998 42,1 Mrd. DM aufgewendet. Die Sachinvestitionen erreichten 1980 einen Spitzenwert von 1,68 Mrd. DM. Durch den vollendeten Erstanchluss der Einwohner an biologische Kläranlagen und den damaligen konjunkturellen Einbruch gingen die Investitionen bis 1985 auf den Tiefstwert von 886 Mio. DM zurück. Durch erhöhte Gewässerschutzanforderungen - zusätzliche Reinigungsstufen bei Kläranlagen und Ausbau der Abwasserbeseitigung in ländlichen Gebieten - stiegen die Investitionen 1991 und 1992 wieder auf jährlich über 1,5 Mrd. DM an. Anschließend gingen die Investitionen stetig zurück und lagen 1998 bei 1 Mrd. DM. Die laufenden Ausgaben stiegen im gesamten Zeitraum kontinuierlich an. Sie erreichten mit 972 Mio. DM 1994 rund das Vierfache des Wertes von 1976, um bis 1998 wieder auf 711 Mio. DM abzusinken (Abb. 4).

Im Bereich der *Abfallentsorgung* nahmen die Gesamtausgaben deutlich zu und erreichten 1992 mehr als den fünffachen Wert von 1975. Seit 1990 wurden jährlich über 1 Mrd. DM aufgewendet, wobei seit 1992 mit dem Spitzenwert von 1,54 Mrd. DM die Ausgaben allerdings Jahr für Jahr zurückgingen. Insgesamt wurden von 1976 bis 1998 19,6 Mrd. DM aufgewendet. In der Abfallwirtschaft ist die Kapitalintensität wesentlich niedriger als in der Abwasserbeseitigung. Daher machen die laufenden Aufwendungen - der Verwaltungshaushalt - den Hauptan-

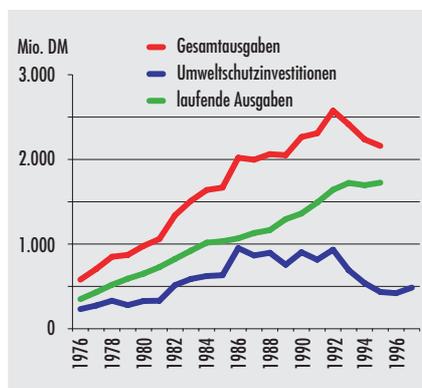


Abb. 5 Umweltschutzausgaben des Produzierenden Gewerbes in Baden-Württemberg (Quelle: Statistisches Landesamt)

teil aus. Seit 1996 geht die Schere zwischen Verwaltungs- und Vermögenshaushalt auffällig auseinander: Im Jahr 1998 betrug der Verwaltungshaushalt 1,1 Mrd. DM, der Vermögenshaushalt dagegen nur mehr 73 Mio. DM.

Ausgaben des Produzierenden Gewerbes

Die Umweltschutzausgaben des Produzierenden Gewerbes (Verarbeitendes Gewerbe, Energiewirtschaft und Wasserversorgung, Bergbau und Baugewerbe) wurden unterteilt in umweltbezogene Investitionen (Anlagen für den Umweltschutz, produkt- und verfahrensbezogene Umweltschutzinvestitionen) und laufende Ausgaben. Berichtspflichtig sind alle Betriebe mit über 20 Beschäftigten. Im Gegensatz zu den *Umweltschutzinvestitionen* liegen für die *laufenden Ausgaben* statistische Daten auf Landesebene nicht vor. Nach einer vom Statistischen Bundesamt entwickelten Methode konnten sie jedoch annähernd ermittelt werden, sind allerdings nur bis 1993/94 erhoben worden. Außerdem beschränken sich diese Angaben auf die Kosten beim Betrieb eigener Umweltschutzanlagen. Die Ausgaben für die Umweltschutzleistungen Dritter sowie Gebühren und Abgaben sind nicht einbezogen.

Das Produzierende Gewerbe hat zwischen 1975 und 1995 33,3 Mrd. DM für den Umweltschutz aufgewendet. Durch



Abb. 6 Umweltschutzinvestitionen des Produzierenden Gewerbes in Baden-Württemberg nach Bereichen (Quelle: Statistisches Landesamt)

konstantes jährliches Anwachsen wurde 1981 die Milliardengrenze überschritten. Der Spitzenwert lag bei *Gesamtausgaben* in Höhe von 2,57 Mrd. DM im Jahr 1992. Die Umweltschutzinvestitionen belaufen sich für den Zeitraum 1976 bis 1998 auf 13,2 Mrd. DM.

Nach einem stetigen Anstieg bis 1986 mit dem Spitzenwert von 951 Mio. DM kam es 1993 zu einem starken Rückgang von 933 auf 691 Mio. DM. Der Anteil der Umweltschutzinvestitionen an den Gesamtinvestitionen lag durchschnittlich bei 3,6 %, wobei 1986 mit 5,2 % der höchste Anteil erzielt wurde. Der Anteil lag 1993 bei 3,8 % und ging 1994 auf 3,2 % zurück.

Die *laufenden Ausgaben* stiegen seit 1976 von 404 Mio. DM bis 1993 auf 1,72 Mrd. DM an, wobei 1984 die Milliardengrenze überschritten wurde. Mit Ausnahme von 1986 bis 1988 lag der Anteil der laufenden Ausgaben an den gesamten Umweltschutzausgaben stets über 60 %, 1993 erreichte er zum ersten Mal mehr als 70 % (Abb. 5).

Dabei liegt über den gesamten Zeitraum von 1975 bis 1994 der Schwerpunkt auf der Luftreinhaltung, für die 54 % aller Umweltschutzinvestitionen aufgewendet wurden. Lediglich bis 1982 wurde für den Gewässerschutz noch mehr aufgewendet. Der Gewässerschutz umfasst 33 % der Umweltschutzinvestitionen von 1976 bis 1994. Es folgen Abfallbeseitigung und Lärmschutz mit Anteilen von 12 bzw. 4 % (Abb. 6).

Investitionen des Verarbeitenden Gewerbes, Investitionen der Energiewirtschaft

Investitionen des Verarbeitenden Gewerbes

Die Umweltschutzinvestitionen des *Produzierenden Gewerbes* von 1977 bis 1995 entfielen zu zwei Drittel auf das Verarbeitende Gewerbe und zu 32 % auf die Energiewirtschaft. Das Baugewerbe fällt mit einem Anteil von gut 1 % kaum ins Gewicht (Abb. 7).

Die Statistik unterteilt die Umweltschutzinvestitionen des *Verarbeitenden Gewerbes* seit 1996 in die sechs Bereiche Abfallbeseitigung, Gewässerschutz, Lärmbekämpfung, Luftreinhaltung, Naturschutz und Landschaftspflege sowie Bodensanierung. Das Verarbeitende Gewerbe brachte von 1975 bis 1998, bei starken jährlichen Schwankungen, 9,4 Mrd. DM für Umweltschutzinvestitionen auf. Der Höchstwert lag mit 707 Mio. DM im Jahr 1990, der Tiefstwert mit 238 Mio. DM 1979. Nach einem ersten Rückgang 1992 gingen die Umweltschutzinvestitionen 1995 drastisch um 13 % gegenüber 1994 zurück und fielen mit 369 Mio. DM auf den Stand von 1986. Dabei sank 1995 auch die Quote der Umweltschutzinvestitionen an den Gesamtinvestitionen auf knapp 2,7 %, gegenüber 3,4 % im Vorjahr. Mittlerweile haben sich die Umweltschutzinvestitionen zwischen 350 und 400 Mio DM eingependelt.

Schwerpunkt bildete der *Gewässerschutz* mit einem Gesamtanteil von 43 %. Die *Luftreinhaltung* weist einen Anteil von 40 % auf, der besonders in den 80er

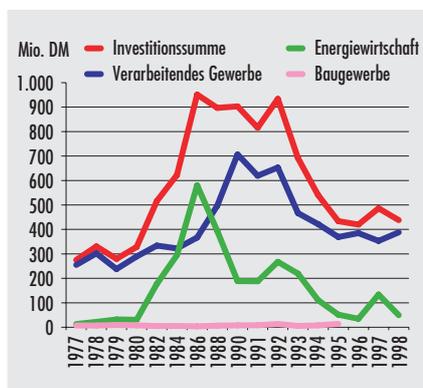


Abb. 7 Umweltschutzinvestitionen des Produzierenden Gewerbes in Baden-Württemberg nach Sektoren (Quelle: Statistisches Landesamt)

Jahren durch die Großfeuerungsanlagenverordnung und die TA Luft stark anstieg. Mit großem Abstand folgen die *Abfallbeseitigung* mit einem Anteil von 12 % und die *Lärmbekämpfung* mit 4 %.

Für das Verarbeitende Gewerbe wurden ab dem Berichtsjahr 1995 durch eine EU-weite Harmonisierung die Statistiken umgestellt, so daß Vergleiche mit früher nur noch eingeschränkt möglich sind. Die Umweltschutzinvestitionen von 1975 bis 1998 wurden auf der Grundlage der neuen EU-weiten Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 93) von 1995 und des neuen Erhebungskonzepts (Wegfall der Frage zu den integrierten Umweltschutzinvestitionen, ferner Einbeziehung von Naturschutz und Landschaftspflege sowie Bodensanierung) von 1996 erhoben (Abb. 8).

Seit 1995 rangiert der Gewässerschutz vor der Luftreinhaltung, der Abfallbeseitigung und der Lärmbekämpfung. Im Jahr 1998 belaufen sich die Umweltschutzinvestitionen im Verarbeitenden Gewerbe (einschließlich Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden) auf 388,4 Mio. DM, wovon auf den Gewässerschutz 143,2, die Luftreinhaltung 125,7 und die

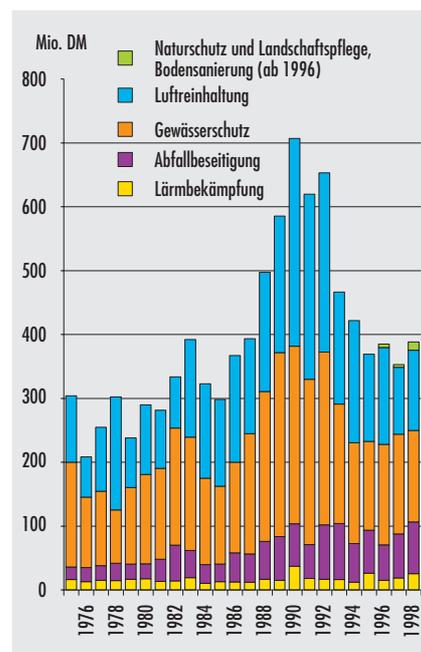


Abb. 8 Umweltschutzinvestitionen des Verarbeitenden Gewerbes in Baden-Württemberg nach Umweltbereichen (Quelle: Statistisches Landesamt)

Abfallbeseitigung 81,1 Mio. DM entfallen. Der Anteil der ausschließlich oder überwiegend dem Umweltschutz dienenden Investitionen an den Gesamtinvestitionen der Betriebe liegt im Durchschnitt bei 2,4 %.

Der seit 1990 zu beobachtende Rückgang der Umweltschutzinvestitionen hat sich nicht weiter fortgesetzt. Allerdings ist daraus eine Sättigung ablesbar. Diese erklärt sich einerseits aus den relativ hohen und beständigen Investitionen in den vergangenen 10 Jahren und andererseits dadurch, daß Umweltschutzanforderungen immer stärker von vornherein bei der Produktion berücksichtigt werden und in den vergangenen Jahren keine grundsätzlich neuen Umweltschutzanforderungen an die Industrie gestellt wurden.

Investitionen der Energiewirtschaft

In der Energiewirtschaft (Elektrizitäts-, Gas-, Fernwärme- und Wasserversorgung) beliefen sich die Umweltschutzinvestitionen von 1975 bis 1998 auf 4 Mrd. DM. Dabei lag der Schwerpunkt mit einem Anteil von 82 % eindeutig bei der Luftreinhaltung. Auf den Gewässerschutz

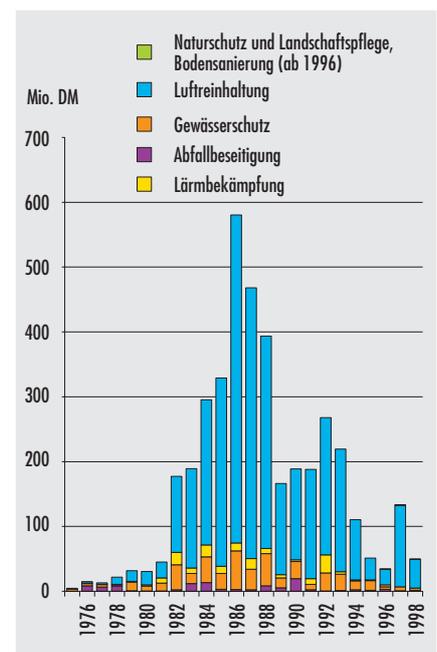


Abb. 9 Umweltschutzinvestitionen der Energiewirtschaft in Baden-Württemberg nach Umweltbereichen (Quelle: Statistisches Landesamt)

entfielen 11,2, die Lärmkämpfung 4 und die Abfallbeseitigung 2,6 %. Durch die gesetzlichen Auflagen zur Luftreinhaltung lag 1986 mit einem Spitzenwert von 580 Mio. DM der Anteil der Umweltschutzinvestitionen an den Gesamtinvestitionen bei 15,7 %. Mit dem Auslaufen der Umsetzungsfristen der Großfeuerungsanlagenverordnung 1993 gingen die Investitionen 1994 deutlich auf 110 Mio. DM zurück und sanken 1995 auf 51,4 Mio. DM und 1996 auf 34,7 Mio. DM. Aufgrund immenser Zuwächse bei der Luftreinhaltung (125,5 Mio. DM) erreichten dann die Investitionen 1997 den hohen Stand von 133,5 Mio. DM (Abb. 9).

Das *Baugewerbe* brachte von 1977 bis 1995 134 Mio. DM für den Umweltschutz auf, wobei 1992 mit 12,9 Mio. DM und 1995 mit 13,6 Mio. DM Spitzenwerte erzielt wurden. Schwerpunkt ist der Bereich Abfall mit 38,3 %, der besonders 1994 und 1995 mit Anteilen von 62 bzw. 70 % die Ausgaben dominierte. Mit einem Anteil von 30,2 % folgt die Luftreinhaltung. Auf die Lärmbekämpfung entfallen von 1977 bis 1995 23 % und auf den Gewässerschutz 8,4 %. Seit 1996 liegt keine weitere genaue Statistik vor.

Produzierendes Gewerbe	421.100	(44,0%)
Land- und Forstwirtschaft	2.900	(0,3%)
Dienstleistungen	532.000	(55,7%)
darunter:		
Dienstleistungsgewerbe	268.600	(28,1%)
Gebietskörperschaften	253.300	(26,5%)

Tab. 1 Umweltschutzbeschäftigte in Deutschland (Quelle: BMU; Stand: 1996)

Umweltindustrie:	80.000	(92,0%)
Zuliefer- und Dienstleistungsindustrie:	5.000	(5,7%)
Erneuerbare Energien:	1.000	(1,1%)
Neue Energie- und Kraftwerke:	500	(0,6%)
Prozesstechnik:	500	(0,6%)

Tab. 2 Umweltschutzbeschäftigte in Baden-Württemberg (Quelle: Kaiser Unternehmensberatung, Stand 1996)

Arbeitsplätze und Markt im Umweltschutz

Arbeitsplätze

Nach einer 1996 vom Bundesministerium für Umwelt herausgegebenen Studie waren 1994 in Deutschland 956.000 Beschäftigte im Umweltschutz tätig. Berücksichtigt wurden nur die Bereiche Luftreinhaltung, Gewässerschutz, Abwasserbehandlung, Natur- und Artenschutz, Bodenschutz, Altlastensanierung, Lärmschutz und Schutz vor Strahlen bzw. Gefahrstoffen. Eine neuere Untersuchung ist nicht bekannt.

Dabei mussten die Beschäftigten in der staatlichen Umweltschutzverwaltung in den alten Bundesländern geschätzt werden. Für Baden-Württemberg liegen für den öffentlichen Sektor keine Zahlen vor.

In Baden-Württemberg umfasste 1996 die Umweltschutzindustrie etwa 87.000 Arbeitsplätze (Tab. 2). Unter „Umweltindustrie“ werden die Bereiche Abfallwirtschaft, Trink- und Abwasser sowie Schlamm-, Mess-, Regel- und Analysetechnik, Luft sowie Boden- und Altlastensanierung erfasst. Bei der Zuliefer- und Dienstleistungsindustrie sind u.a. Ingenieurbüros enthalten. Der Bereich

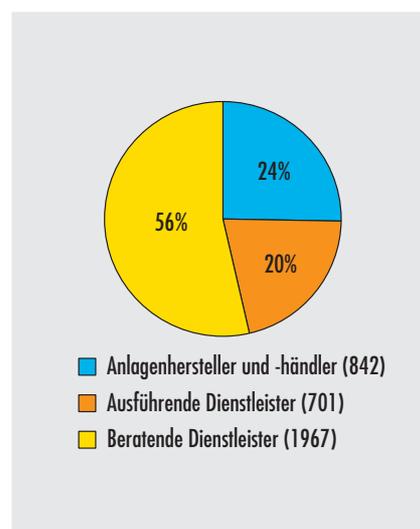


Abb. 10 Umweltschutzanbieter gesamt (Absolutwerte in Klammern) (Quelle: UMFIS der Industrie- und Handelskammern in Baden-Württemberg; Stand 5/2000)

Erneuerbare Energien umfasst zusätzliche Energiesysteme (insbesondere Wind-, Solaranwendungen, Biomasse, Biogas und Wasserstoff).

Markt

Eine Übersicht der Industrie- und Handelskammern weist im Jahr 1996 für den Umweltschutzmarkt Baden-Württemberg 3.510 Anbieter aus, die nach drei Hauptgruppen aufgeschlüsselt werden (Abb. 10).

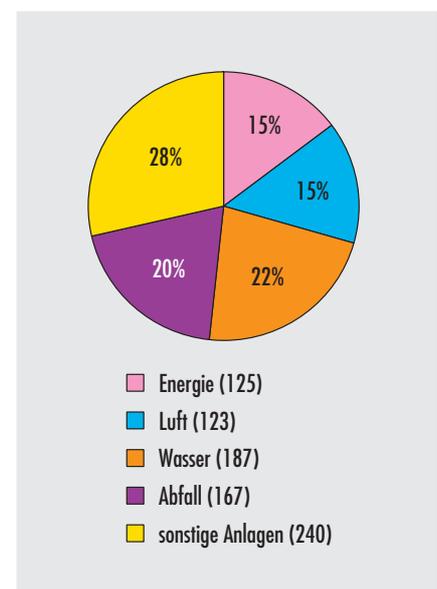


Abb. 11 Anlagenhersteller und -händler (Absolutwerte in Klammern) (Quelle: UMFIS der Industrie- und Handelskammern in Baden-Württemberg; Stand 5/2000)

Anlagenhersteller und Anlagenhändler sind Hersteller und Händler von Anlagen, Anlagenkomponenten, Apparaten, Geräten und anderen Investitionsgütern für den Umweltschutz. Sie konzentrieren sich im Wesentlichen auf die Schwerpunkte Abfall (Abfallwirtschaft, Wertstoffgewinnung, Reststoffverwertung), Wasserreinhaltung und Wassereinsparung, Luftreinhaltung und Energie (Einsparung, rationelle Verwendung, erneuerbare Energien) (Abb. 11).

Im Bereich *ausführende Dienstleister* mit insgesamt 701 Anbietern sind die Verwerter, Entsorger und Transporteure von Abfällen, Wertstoffen und Gefahrgü-

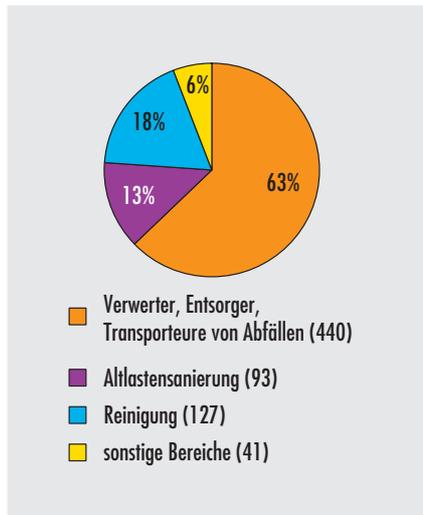


Abb. 12 Ausführende Dienstleister (Absolutwerte in Klammern)
(Quelle: UMFIS der Industrie- und Handelskammern in Baden-Württemberg; Stand 5/2000)

tern mit 440 Anbietern am stärksten vertreten, mit einem Anteil von 63 %. Hinzu kommen die Sparten Altlasten (Abbau, Ausbau, Sanierung) (93 (13 %) und Reinigung bzw. Abtransport mit 127 ausführenden Dienstleistern (18 %) (vgl. Abb. 12).

Berater und Planer sind mit 1967 Dienstleistern mehr als die Hälfte der Umweltschutzanbieter im Land. Zu diesen

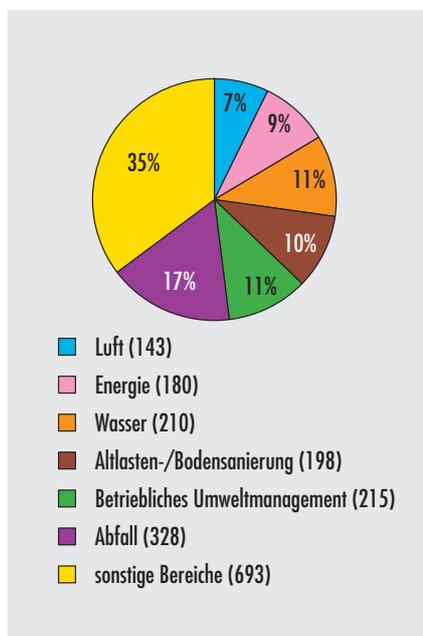


Abb. 13 Beratende Dienstleister (Absolutwerte in Klammern)
(Quelle: UMFIS der Industrie- und Handelskammern in Baden-Württemberg; Stand 5/2000)

Dienstleistern zählen die Tätigkeiten Beratung, Planung, Projektierung, Analytik sowie Forschung und Entwicklung. Thematische Schwerpunkte sind Abfall (Abfallwirtschaft, Wertstoffgewinnung, Reststoffverwertung), Betriebliches Umweltmanagement, Altlasten- und Bodensanierung, Wasserreinhaltung und -einsparung, Energie (Einsparung, rationelle Verwendung, erneuerbare Energien) und Luftreinhaltung (Abb. 13).

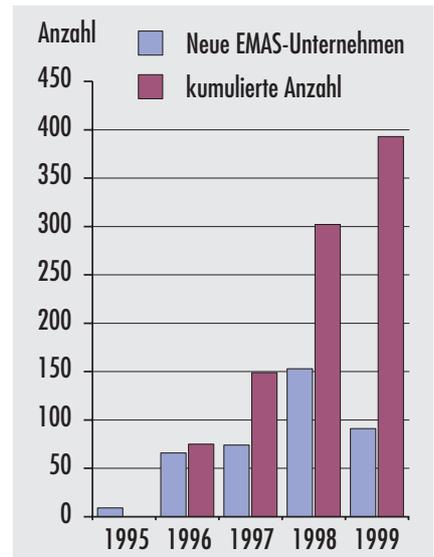


Abb. 14 Nach der EG-Öko-Audit-Verordnung (EMAS) registrierte Unternehmensstandorte in Baden-Württemberg nach Zahlen. (Quelle: DIHT, Stand 3/2000)

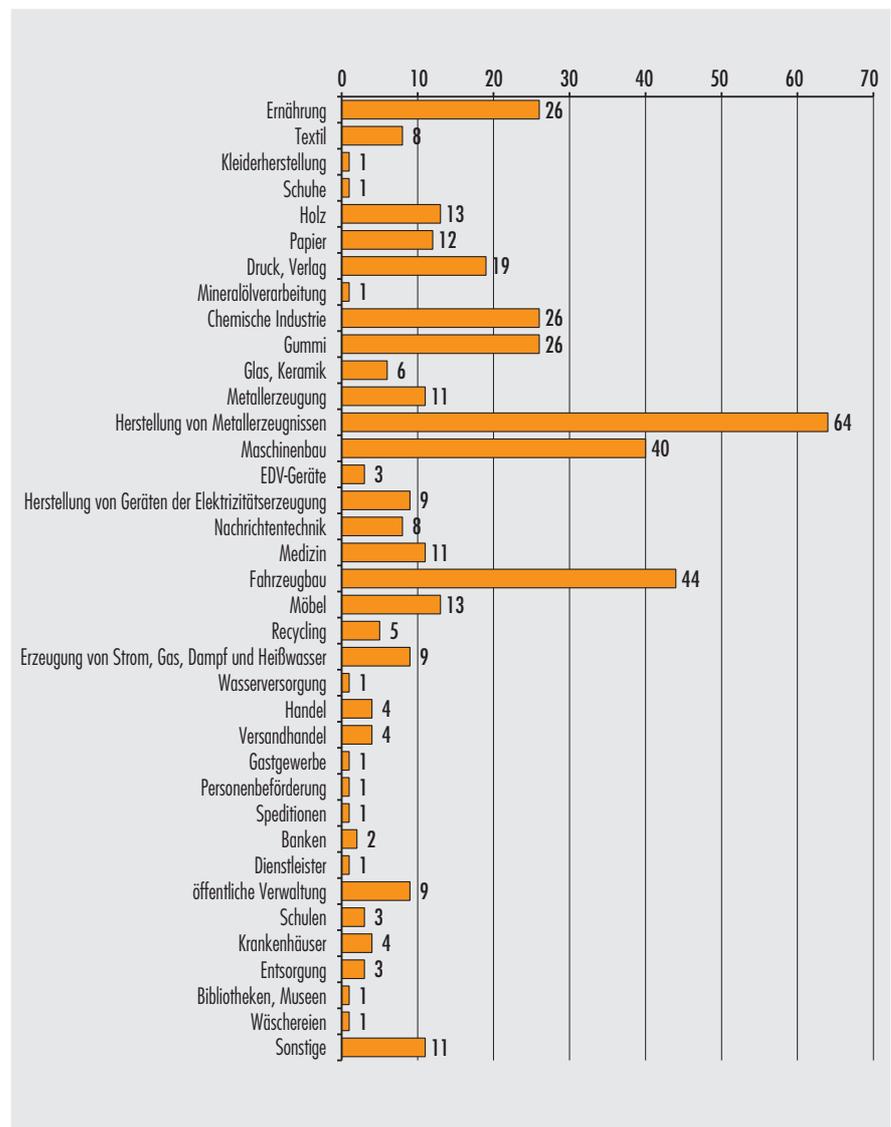


Abb. 15 Nach der EG-Öko-Audit-Verordnung (EMAS) registrierte Unternehmensstandorte in Baden-Württemberg nach Branchen. (Quelle: UVM; Stand 3/2000)

Betriebliches Umweltmanagement

In der Vergangenheit bedeutete Umweltschutz für die Unternehmen im Wesentlichen Einbau von Filtern und Reinigungsstufen ("End-of-pipe-Technologien"). Schadstoffe wurden zurückgehalten, doch am umweltschädigenden Produktionsprozess wurde nichts geändert. Heute geht der Trend zum produktionsintegrierten Umweltschutz. Mehr und mehr Unternehmen erkennen, dass sich Umweltschutz auch wirtschaftlich lohnen kann, wenn Produktionsprozesse so modifiziert werden, dass Schadstoffe erst gar nicht oder nur in geringer Menge entstehen.

Unternehmen, die sich dazu verpflichten, den betrieblichen Umweltschutz kontinuierlich zu verbessern, können sich nach der *EG-Öko-Audit-Verordnung* (auch EMAS (Environmental Management and Audit Scheme) genannt) prüfen und zertifizieren lassen. Die Validierung nach der EG-Öko-Audit-Verordnung zählt zu den freiwilligen ökologischen Steuerungsinstrumenten.

Die nach der EG-Öko-Audit-Verordnung registrierten Unternehmensstandorte im Land haben im Jahr 2000 die Zahl 400 überschritten. (Im Jahr 1998 wurden 153 Standorte zusätzlich registriert, 1999 waren es 91 Standorte (Abb. 14).)

Die Beliebtheit des Öko-Audits variiert von Branche zu Branche (Abb. 15). Entsprechend der Branchenverteilung zeigt sich ein Schwerpunkt bei den metallbe- und metallverarbeitenden Branchen sowie beim Fahrzeugbau. Darüber hinaus sind Unternehmen aus den Bereichen Nahrungsmittel sowie chemische Industrie und Gummierstellung stark vertreten.

Anhang

Quellen- und Literaturhinweise

Umweltbundesamt (Hrsg.): Umweltschutz – ein Wirtschaftsfaktor, Berlin 1993

Wicke, Lutz: Umweltökonomie. Eine praxisorientierte Einführung. Vierte, überarbeitete und aktualisierte Auflage, München 1993

Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Umweltökonomische Gesamtrechnungen - Ausgaben und Anlagevermögen für Umweltschutz (Umwelt, Fachserie 19, Reihe 6), Wiesbaden 1995

Arbeitsgemeinschaft der Industrie- und Handelskammern in Baden-Württemberg (Hrsg.): Handbuch der Berater und Planer, Handbuch der Verwerter und Entsorger, Handbuch der Anlagenersteller und Händler, Augsburg Verlag, 1. Auflage Oktober 1996

Bundesministerium für Umweltschutz, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Aktualisierte Berechnung der umweltschutzinduzierten Beschäftigung in Deutschland, Reihe Umweltpolitik, Bonn September 1996

Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (Hrsg): Der Umweltkompaß für die Wirtschaft. Öko-Audit als ein Instrument der umweltorientierten Unternehmensführung. 2., ergänzte Auflage, Stuttgart 1998

Verordnung (EWG) Nr. 1836/93 des Rates vom 29. Juni 1993 über die freiwillige Beteiligung gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung (EG-Öko-Audit-Verordnung; in Kraft getreten am 13. Juni 1993; ABl der EG Nr. L 168/1 - 18)

Dazu Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg über administrative Erleichterungen für Standorte, die nach den Vorschriften der Verordnung (EWG) Nr. 1836/93 registriert werden, vom

21.12.1998 (Az. 23-8809.01/Audit/28 (GABl vom 26.2.1999, S.203))

Umweltfirmeninformationssystem (UMFIS) der Industrie- und Handelskammern in Baden-Württemberg

Informationsmöglichkeiten

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg:
<http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/>

Statistisches Bundesamt Wiesbaden:
<http://www.statistik-bund.de/>

Der Erfolg und die Effizienz von Umweltpolitik werden bislang noch nicht durch gängige und allgemein anerkannte Messgrößen beurteilt. Die Entwicklung solcher Messgrößen (Indikatoren) ist jedoch für ein wirksames Controlling unerlässlich. Während z. B. das Brutto-sozialprodukt, die Arbeitslosenquote und die Inflationsrate eine zentrale Rolle in der politischen Diskussion spielen, etablieren sich handhabbare Indikatoren für die Umweltpolitik erst zögerlich. Sie sollen die komplexe Aussagevielfalt reduzieren, zu einer politisch brauchbaren Übersicht verhelfen und somit Informationsgrößen für Entscheidungen sein.

Bereits 1997 wurden in den Umweltdaten 95/96 die ersten Bewertungen anhand von Umweltindikatoren von der Landesanstalt für Umweltschutz veröffentlicht. Der wissenschaftliche und durch politische Vorgaben definierte Ausgangspunkt für die Palette der Umweltindikatoren hat sich seither etwas verschoben, was sich in einer teilweise veränderten Indikatorenzusammenstellung zeigt.

Definitionen und Zielsetzung

Informationen, die Indikatoren vermitteln, sollen schnell greifbar, signifikant, einfach verständlich und auf das Wesentliche beschränkt sein. Die dargestellten Trends sollen unmittelbar in politisches Handeln einfließen können.

Definitionen

Nachhaltigkeit sindikatoren sind Kenngrößen für die Trendbeschreibung zentraler Problemfelder einer nachhaltigen Entwicklung in der ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimension. Sie dienen als Monitoring für die Umsetzung der Agenda 21.

Umweltindikatoren sind Mess- oder Kenngrößen für die Bewertung und Trendbeschreibung der Umweltsituation. Mit wenigen Schlüsselgrößen werden Belastungen und Zustand der Umwelt in einer komprimierten und generalisierten Form dargestellt.

UMWELTINDIKATOREN

Definitionen und Zielsetzung	N – 1
Entwicklungen	N – 1
Umweltindikatoren Baden-Württemberg	N – 2
Anhang	N – 8

Alle Aktivitäten bezüglich der Indikatoren gehen auf den Gedanken der Nachhaltigkeit zurück. Teilweise umfassen Indikatoren die gesamten Aspekte einer nachhaltigen Entwicklung (ökologische, soziale, wirtschaftliche sowie politisch-institutionelle) oder sind reduziert auf nur eine Dimension, wie z.B. "Umwelt". Daneben werden häufig zur Bewertung sektoraler Problemfelder (z.B. Verkehr, Landwirtschaft) Indikatorensets ausgewiesen.

Entwicklungen

Internationale Aktivitäten

Die OECD (*Organization for Economic Cooperation and Development*) hat bereits 1991 wichtige Arbeiten zur Ausweisung von Umweltindikatoren geleistet, die heute in vielen Staaten als Orientierungshilfe genutzt werden. Ziel dieses Indikatorsystems ist es, nationale Umweltindikatoren als Grundlage für internationale Kooperationen und Konventionen zu entwickeln. Drei Hauptkategorien von Umweltindikatoren werden unterschieden:

- Belastungsindikatoren ("pressure") - Belastungen der Umwelt durch menschliche Aktivitäten
- Zustandsindikatoren ("state") - Beschreibung von Umweltzustand und Umweltqualität
- Reaktionsindikatoren ("response") - gesellschaftliche Antwort auf die Umweltproblematik.

Der OECD-Ansatz wählt eine Einteilung nach Umweltproblemen, Umweltmedien und Umweltressourcen. 1996 hat das Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung im Auftrag des

Umweltbundesamtes die Studie "Weiterentwicklung von Umweltindikatorensystemen für die Umweltberichterstattung" zur Konkretisierung des OECD-Ansatzes für Deutschland fertiggestellt. Darin schlägt das Fraunhofer-Institut für ein deutsches Umweltindikatorensystem 14 Problembereiche mit 140 Einzelindikatoren vor.

Die Europäische Kommission hat eine Liste "umweltspezifischer Kernindikatoren" erarbeitet, deren Datenbasis statistische Kennzahlen sein sollen. Daneben wurden "Integrationsindikatoren für Umweltbelange" ausgewiesen, die Probleme ausgewählter Sektoren beleuchten. Am weitesten entwickelt sind die Indikatoren für den Verkehrsbereich (TERM = Transport & Environment Reporting Mechanism). Aber auch Indikatoren für die Sektoren Energie, Landwirtschaft und für die Nachhaltigkeit bis hin zur städtischen Ebene sind in der Diskussion. Das fünfte Aktionsprogramm der EU von 1993 nennt die Entwicklung von Umweltindikatoren als Zielvorgabe bis zum Jahr 2000 und hat erforderliche organisatorische Strukturen geschaffen. Das Indikatorensystem der EEA (European Environment Agency) fasst in dem Bericht "Environmental signals 2000" die Kernindikatoren und die sektoralen Indikatoren zu einer kompakten Palette von vorläufig 8 Headline-Indicators zusammen.

Das auf der Konferenz für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro verabschiedete Aktionsprogramm Agenda 21 forderte die Entwicklung von Indikatoren für nachhaltige Entwicklung auf nationaler, regionaler und globaler Ebene. Die zur Umsetzung der Rio-

Entwicklungen, Umweltindikatoren Baden-Württemberg

Beschlüsse eingesetzte *Kommission für nachhaltige Entwicklung (Commission for Sustainable Development, CSD)* legte einen Indikatorenset vor. Methodisch wurde der "pressure-state-response"-Ansatz der OECD übernommen, lediglich der Begriff "pressure" wurde durch "driving force" ersetzt.

Nationale Umsetzungen

Seit 1997 wird im Rahmen nationaler Aktivitäten der Indikatorenset der CSD in Deutschland und anderen Pilotländern erprobt. *BMU (Bundesministerium für Umwelt)* und *UBA (Umweltbundesamt)* haben dazu 1999 der CSD einen Zwischenbericht mit rund 250 Indikatoren vorgelegt. Davon stehen 55 Indikatoren für die ökologischen Aspekte einer nachhaltigen Entwicklung. Die weiteren sind umweltpolitisch relevante Indikatoren besonders aus dem Bereich Wirtschaft zum Ressourcen- und Energieverbrauch. Insgesamt hat rund die Hälfte der Indikatoren einen umweltpolitischen Bezug.

Neben den beschriebenen Aktivitäten müssen noch die Arbeiten des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU), des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt und Energie, des Wissenschaftlichen Beirats Globale Umweltveränderungen (WBGU) beziehungsweise des Potsdamer Instituts für Klimaforschung (PIK) erwähnt werden, die sich alle in unterschiedlicher Art und Weise mit dem Thema Indikatoren befassen. Das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie entwickelte 1996 in seiner Studie "Zukunftsfähiges Deutschland" ein vorsorgeorientiertes System von Umweltbelastungsindikatoren. Es besteht aus 8 Indikatoren für die wichtigsten gesundheits- und umweltrelevanten Stoffemissionen, die möglichst wirkungsbezogen zusammengefasst werden. Ein weiterer Schwerpunkt wird auf die Ressourcenentnahme mit insgesamt 8 hoch aggregierten Verbrauchsgrößen für Material, Energie, Wasser und Fläche gelegt.

Das Umweltbundesamt hat neben den verfolgten Indikatorensets im Rahmen eines "Deutschen Umweltindex" (DUX) Kennwerte für Bodenverbrauch, Luftverunreinigungen, klimarelevante Schadgase, Wasserbelastungen, Energie- und Rohstoffverbrauch berechnet. Der DUX soll ein plakatives Instrument für umweltpolitische Anforderungen sein und jährlich wiederkehrend die Trends aufzeigen.

Entwicklungen in Baden-Württemberg

Entwicklungen speziell in Baden-Württemberg hat neben der *Landesanstalt für Umweltschutz (LfU)* die *Akademie für Technikfolgenabschätzung (TA-Akademie)* vorangetrieben. Sie hat in ihrem Statusbericht "Nachhaltige Entwicklung in Baden-Württemberg" 1997 einen 30 Indikatoren umfassenden Katalog zur Messung der Nachhaltigkeit vorgelegt, der sich an der OECD-Einteilung in Umweltbereiche orientierte. Kritisch zu betrachten war dabei das Konzept einer "schwachen Nachhaltigkeit", bei dem der Rückgang des natürlichen Kapitals durch das künstliche Kapital (gemessen am Nettoanlagevermögen) ausgeglichen werden kann. Diesen stark ökonomisch geprägten Ansatz hat die TA-Akademie mittlerweile aufgegeben. Zeitgleich mit der TA-Akademie wurden von der LfU die Umweltdaten 96/97 mit einem 16 Umweltindikatoren umfassenden Bericht publiziert. Seit Mitte des Jahres 2000 arbeiten beide Institutionen mit einem gemeinsam erstellten Indikatorenset.

Kommunale Ebene

Das Ministerium für Umwelt und Verkehr (UVM) hat 1999 die Landesanstalt für Umweltschutz mit einem Projekt zur Entwicklung von "Nachhaltigkeitsindikatoren für die Lokale Agenda 21" beauftragt. Diesem Projekt haben sich die Bundesländer Bayern, Hessen und Thüringen als Projektpartner angeschlossen. Aufbauend auf die vorhandenen Informationen des Bundes und der

Länder wurden 24 Nachhaltigkeitsindikatoren ausgewiesen. Die Entwicklung des Indikatorensets mündet jetzt in die Erarbeitung eines Leitfadens. Mit diesem werden Gemeinden und Kreise, die sich in Lokalen Agenda 21-Prozessen engagieren, ein Handwerkszeug erhalten, um den vorgeschlagenen Indikatorenset selbst für ihr jeweiliges Gebiet ausfüllen zu können. Die Arbeit an diesem Leitfaden wird 2000 abgeschlossen.

Umweltindikatoren Baden-Württemberg

Aufbauend auf Vorarbeiten aus dem Jahr 1997 haben die LfU und die TA-Akademie gemeinsam einen Vorschlag für einen Umweltindikatorenset für das Land Baden-Württemberg erarbeitet, der Grundlage für die nachfolgenden Ausführungen ist.

Neben den international vorgesehenen Indikatorenvorschlägen der CSD/OECD, die im Wesentlichen fünf Belastungsindikatoren bzw. Zustandsindikatoren als eine Art Schlüsselindikatoren ausweisen (Wasserverbrauch, Abfallaufkommen, Energieverbrauch, Kohlendioxid-Emissionen, Flächenverbrauch), wurden ressourcenorientierte und durch sektorale Umweltthemen geprägte Indikatoren zu einem Satz von 19 Basisindikatoren zusammengefasst. Für drei dieser Parameter, nämlich Mobilität, Lärm und Landschaftszerschneidung (Jaeger 2000), gibt es bislang keine flächendeckenden, aussagekräftigen und zielführenden Zeitreihen. Diese Indikatoren sollen erst in zukünftigen Berichten wieder aufgegriffen werden. Im Hinblick auf eine Erweiterung des Umweltindikatorensets zu einem Fächer an Nachhaltigkeitsindikatoren können in einem nächsten Schritt ökonomische und soziale Indikatoren angegliedert werden. Problemspezifisch und temporär begrenzt ist es möglich, das Spektrum an Basis-Indikatoren durch sogenannte optionale Indikatoren zu ergänzen.

Als Beginn des Betrachtungszeitraumes für die Indikatoren wurde, soweit

möglich, das Jahr 1977 gewählt und als Ende das Jahr 2000. Für diese Zeitspanne werden alle verfügbaren und jeweils methodisch einheitlich erhobenen Daten (einer Datenquelle) in Diagramm-Kurven, möglichst in Jahreswerten, abgebildet. Auf die Datenlage, den Erhebungszeitraum und die Quelle wird bei den einzelnen Indikatoren hingewiesen. Dort finden sich auch eine kurze Definition und Beschreibung des jeweiligen Indikators. Abschließend wird der Trend nach den Kategorien "positiv", "stagnierend/konstant" oder "negativ" bewertet. Die Bewertung der Trends entstand in Zusammenarbeit mit Fachkräften der TA-Akademie. Sowohl das Belastungsniveau als auch ihre Entwicklung werden beurteilt und unter "Trend" einer von drei möglichen Kategorien zugeordnet.

Umweltindikatoren Baden-Württemberg

- Abfallaufkommen
- Gebrauch von Wasserressourcen
- Biologischer Gütezustand der Fließgewässer
- Nährstoffgehalte in Fließgewässern
- Nitratgehalte im Grundwasser
- Flächenanteil von Naturschutzgebieten
- Waldschadensflächen
- Landnutzungsformen
- Bodennahes Ozon (O₃)
- Kohlendioxid (CO₂)
- Stickstoffoxid (NO_x)
- Stickstoffdioxid (NO₂)
- Stickstoff-Depositionen
- Schwefeldioxid (SO₂)
- Primärenergieverbrauch
- Gesamtwirtschaftliche Energieproduktivität
- als zukünftige Weiterentwicklung vorgesehen:
- Landschaftszerschneidungsindex
- Mobilität
- Lärm

**1. Abfallaufkommen
(in Kilogramm pro Einwohner)**

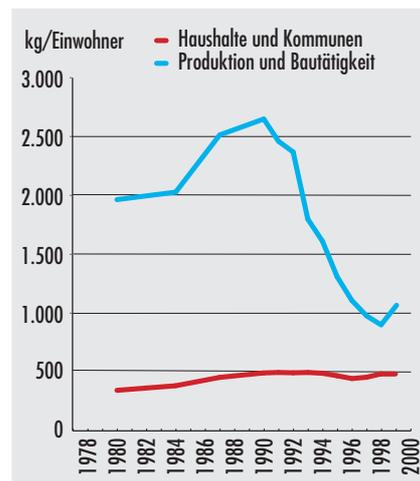
Abfallvermeidung steht im Mittelpunkt der Abfallpolitik. Besonders das Recycling von Bauabfällen und Bodenaushub führt zu einer wesentlichen Abfallreduktion. Die Statistik für den gewerblichen Sektor ist seit Inkrafttreten des Kreislaufwirtschafts-Abfallgesetzes 1996 lückenhaft, da Abfälle vermehrt auf privatwirtschaftlichem Weg entsorgt werden können und den öffentlichen Entsorgern nicht mehr überlassen werden.

Angegeben wird das jährliche Abfallaufkommen aus den Sparten Produktion und Bautätigkeit sowie Haushalt und Kommunen in Kilogramm/Einwohner.

Die Daten werden jährlich seit 1990 im Rahmen der Abfallbilanz durch das Statistische Landesamt erhoben und vom Umweltministerium veröffentlicht.

Trend: stagnierend

Das Gewerbe- und Baustellen-Abfallaufkommen ist seit 1990 ständig gesunken. Dagegen stagnieren die Gesamtabfallmengen der Haushalte und Kommunen. Der in dieser Gesamtmenge enthaltene Restmüll hat stetig abgenommen, während die getrennt erfassten Wertstoffe und Bioabfälle zunehmen.



**2. Gebrauch von Wasserressourcen
(in Mio. m³ insgesamt)**

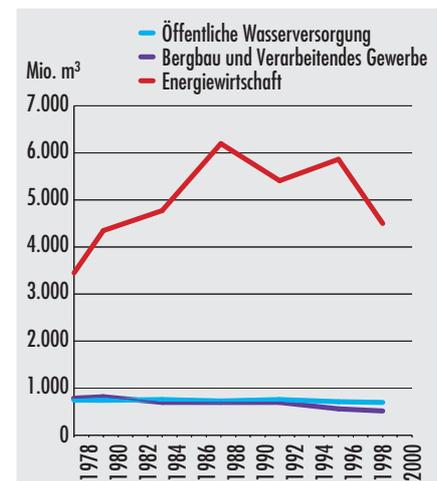
Wasser ist eine lebenswichtige, erneuerbare Ressource, deren Nutzung sich an ihrem Regenerationsvermögen orientieren muss.

Angegeben wird die gesamte Wasserverwendung. Darin enthalten sind die öffentliche Wasserversorgung für Haushalte, Kleingewerbe und öffentliche Einrichtungen, die Kühl- und Produktionswässer von Bergbau und Verarbeitendem Gewerbe sowie der Energiewirtschaft und der Landwirtschaft. Die Daten erhebt das Statistische Landesamt.

Der höchste Wassergebrauch ist im Sektor Energiewirtschaft für Kühlzwecke zu verzeichnen. Die öffentliche Wasserversorgung, der Bergbau und das Verarbeitende Gewerbe sind zusammen nur ca. zu einem Viertel am Wassergebrauch beteiligt.

Trend: positiv

Der gesamte Gebrauch der Wasserressourcen ist seit 1987 wieder rückläufig und zum gegenwärtigen Stand mit 1979 zu vergleichen. Die positive Tendenz ist primär auf die Reduktion der Kühlwassermengen zurückzuführen.



3. Biologischer Gütezustand der Fließgewässer

(Anteil Güteklassen der Fließgewässer „unbelastet“ bis „mäßig belastet“ in %)

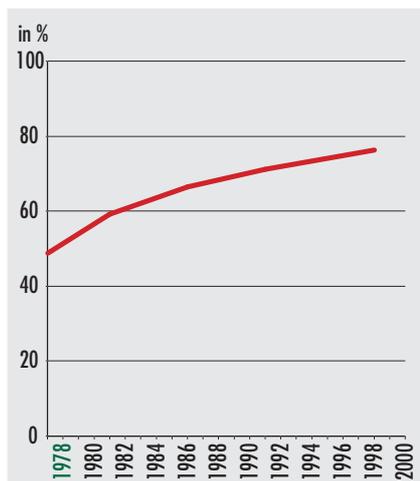
Die biologische Gewässergüte lässt vor allem Beeinträchtigungen von Fließgewässern durch biologisch leicht abbaubare Stoffe und hieraus sich ergebende Defizite des Sauerstoffgehaltes erkennen. Die Bewertung erfolgt anhand von Indikatororganismen (Tiere und Pflanzen) in sieben Güteklassen.

Die biologische Gewässergüte der abwasserbelasteten Fließgewässer wird weitgehend flächendeckend untersucht und kartiert. Dies geschieht seit 1968 in etwa fünfjährigem Abstand an ca. 1600 Erhebungsstellen als „Landesgütekarte“ durch die Landesanstalt für Umweltschutz.

Angegeben wird der Anteil der Untersuchungsstellen, an denen das Güteziel des Landes - die Gewässergüteklasse II und besser - bereits erreicht wird.

Trend: positiv

Die biologische Gewässergüte der Fließgewässer hat sich kontinuierlich verbessert. 1998 sind 76,4 % der Fließgewässer als unbelastet bis mäßig belastet einzustufen.



4. Nährstoffgehalte in Fließgewässern

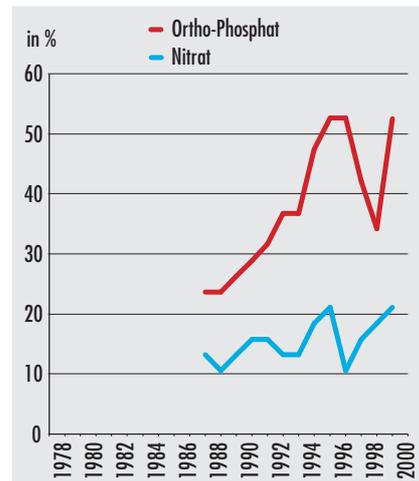
(Anteil Güteklassen der Fließgewässer „unbelastet“ bis „mäßig belastet“ in %)

Hohe Konzentrationen von Nitrat und Phosphat führen zu einem unnatürlich starken Pflanzenwachstum in den Fließgewässern (Eutrophierung) und müssen deshalb begrenzt werden. Während der pflanzenverfügbare Phosphor überwiegend aus dem Abwasser stammt, gelangt Nitrat (vor allem aus der Landwirtschaft) über das Grundwasser in die Fließgewässer.

Angegeben wird der Anteil der untersuchten Fließgewässer-Messstellen, an denen die Zielvorgaben der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für ortho-Phosphat bzw. Nitrat eingehalten werden. Insgesamt liegen der Bewertung Daten von Messstellen an den größeren Fließgewässern zugrunde.

Trend: stagnierend (trotz zunehmender Verringerung der belasteten Fließgewässer wird das Belastungsniveau als hoch eingestuft).

Die Fließgewässerbelastung mit Nitrat und Ortho-Phosphat ist gemessen an den LAWA-Zielvorgaben teilweise immer noch zu hoch.



5. Nitratgehalte im Grundwasser

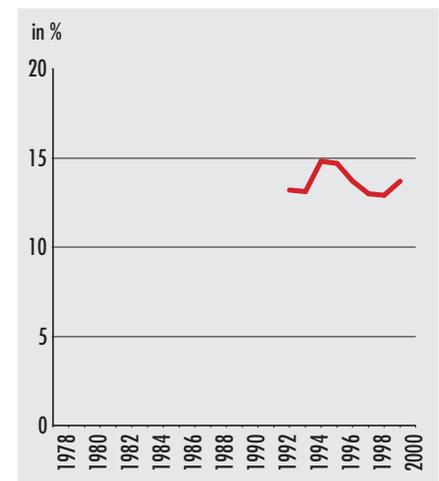
(Anteil der Grundwassermessstellen, die den Grenzwert von 50 mg/l überschreiten)

Nitrat ist vor allem in landwirtschaftlich genutzten Gebieten ein Hauptbelastungsfaktor des Grundwassers.

Aus dem Grundwasserüberwachungsprogramm der LfU wird der Anteil von 1238 konsistenten Messstellen angegeben, die den Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 50 mg/l überschreiten.

Trend: stagnierend

Die Nitratbelastung ist nach wie vor flächenhaft hoch. Der zwischen 1995 und 1998 fallende Anteil an Messstellen mit Werten über dem Grenzwert ist 1999 wieder leicht angestiegen.



6. Flächenanteil von Naturschutzgebieten

(Flächenanteil an der Landesfläche in %)

Naturschutzgebiete nach dem Bundesnaturschutzgesetz bilden die höchste Schutzkategorie von Natur und Umwelt. Es sind rechtsverbindlich festgesetzte Gebiete, in denen ein besonderer Schutz von Natur und Landschaft in ihrer Ganzheit oder in einzelnen Teilen erforderlich ist.

Angegeben wird der Flächenanteil der festgesetzten Naturschutzgebiete an der gesamten Landesfläche in Prozent.

Die Daten erhebt jährlich die Landesanstalt für Umweltschutz.

Trend: stagnierend (trotz steigender Kurve, da die Zielerreichung noch nicht als zufriedenstellend angesehen wird)

Der Anteil der Naturschutzgebiete an der Landesfläche hat sich in den vergangenen 22 Jahren vervierfacht. Jedoch ist damit noch kein ausreichender Schutz für gefährdete Arten und Biotope erzielt. Wünschenswert ist ein Zielwert bei 10 % Naturschutzfläche (einschließlich flächenhafter Naturdenkmale, Bannwälder etc.) von der gesamten Landesfläche.



7. Waldschadensflächen

(Flächenanteil der Schadstufen 2 bis 4 an der gesamten Waldfläche in %)

Der Gesundheitszustand des Ökosystems Wald ist ein wichtiger Indikator für den Zustand von Natur und Umwelt und wird in den erfassten Waldschäden deutlich.

Angegeben wird der Flächenanteil der Schadstufen 2 bis 4 (Anteil von Nadel- und Blattverlust 26 % und höher) an der gesamten Waldfläche in Prozent. Dies entspricht den Empfehlungen des Forschungsbeirates Waldschäden/Luftverunreinigungen, wonach nur noch diese Schadstufen als Grundlage für die Interpretation der Waldschadensentwicklung herangezogen werden.

Die Waldschäden werden seit 1983 durch die Terrestrische Waldschadensinventur (TWI) und Untersuchungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) Baden-Württemberg ermittelt und jährlich veröffentlicht.

Trend: negativ

Mit einem Anteil von 25 % deutlich geschädigter Waldfläche ist das Schadensniveau trotz stagnierendem Kurvenverlauf weiterhin hoch einzustufen (Waldzustandsbericht 1999).



8. Landnutzungsformen

(Wald, Agrarbereich, Siedlungen in %)

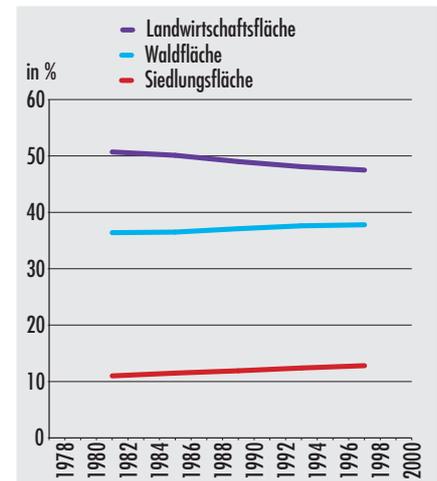
Die Bodennutzung ist vielfältig. Unterschiedliche Nutzungsintensitäten, z.B. der Waldbau bis hin zur Überbauung mit Siedlungs- und Verkehrsflächen, bedeuten unterschiedliche Grade der Beeinflussung und Zerstörung des Bodens.

Angegeben werden die Anteile der Flächennutzungsarten "Wald, Landwirtschaft und Siedlung" in Hektar.

Die Daten ermittelt das Statistische Landesamt aus Flächenerhebungen seit 1979 in der Regel alle vier Jahre. Die Daten von 1978 stammen aus der Bodennutzungshaupterhebung.

Trend: negativ

Die Flächenversiegelung nimmt seit 1978 kontinuierlich zu. Täglich verliert Baden-Württemberg 11 ha Boden durch Siedlungs- und Straßenbau.



9. Bodennahes Ozon (O₃)

(mittlere Anzahl der Stunden mit Überschreitungen des Stundenmittelwertes für Ozon von 120 µg/m³ Luft)

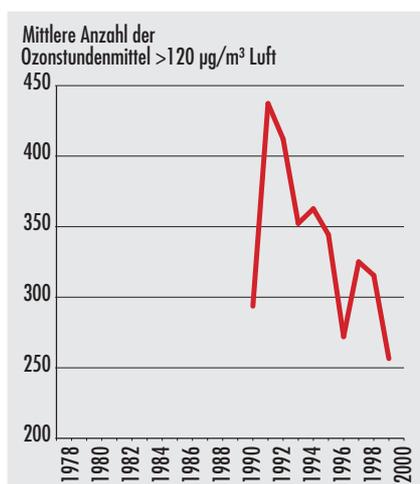
Stickstoffoxide und Kohlenwasserstoffverbindungen lassen in jedem Sommer bei geringem Luftaustausch und hohen Temperaturen erhöhte Ozonwerte entstehen. Hauptemittenten der Vorläufersubstanzen sind Verbrennungsmotoren. Rund 65 % der Stickstoffoxidemissionen und ca. 31 % der leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffemissionen entstammen dem Straßenverkehr.

Angegeben wird die mittlere Anzahl der Stunden, in denen Ozon den vorgegebenen Wert von 120 µg/m³ Luft überschreitet. Dies ist ein Richtwert, der vom VDI (Verein Deutscher Ingenieure) vorgegeben wurde.

Die Daten stammen von der Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen mbH (UMEG), die seit 1990 kontinuierlich 45 Stationen in Baden-Württemberg betreut.

Trend: stagnierend (trotz fallender Kurve, da immer noch hohes Belastungsniveau)

Erkennbar ist zwar eine abnehmende Tendenz. Diese ist aber im Hinblick auf Gesundheits- und Vegetationsschäden noch nicht als nachhaltig einzustufen.



10. Kohlendioxid (CO₂)

(Emissionen in 1000 Tonnen)

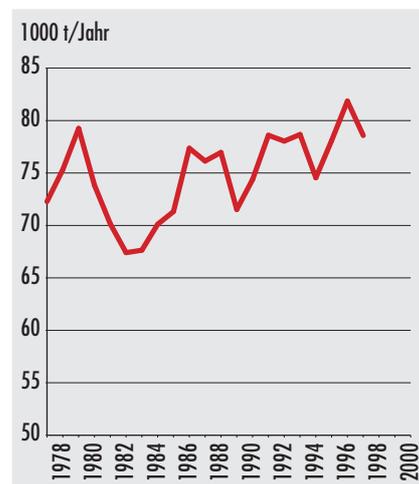
CO₂ bildet das mit Abstand wichtigste Treibhausgas. Die Reduzierung der Emissionen ist ein wichtiger Indikator für den Klimaschutz. Ziel in Baden-Württemberg ist es, den Kohlendioxidausstoß von derzeit 77 Millionen Tonnen pro Jahr auf 65 Millionen Tonnen im Jahr 2010 zu senken.

Angegeben werden die CO₂-Emissionen in tausend Tonnen.

Die Emissionen werden aus der Energiebilanz und einem CO₂-Emissionsfaktor vom Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung Stuttgart für jedes Jahr berechnet und im Energiebericht des Wirtschaftsministeriums veröffentlicht.

Trend: negativ

Bis 1996 sind die Kohlendioxidwerte bei schwankendem Verlauf gestiegen. Insgesamt sind die Emissionen, trotz rückläufiger Tendenzen, im Sinne eines nachhaltigen Klimaschutzes zu hoch.



11. Stickstoffoxid (NO_x)

(Emissionen in 1000 Tonnen)

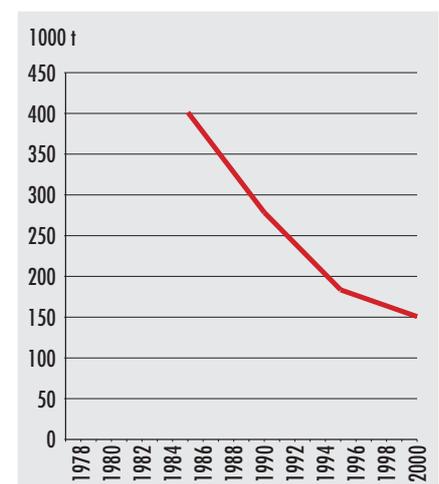
Stickstoffoxide spielen eine dominante Rolle bei der Entstehung von Ozon. Der Anteil des Straßenverkehrs an den NO_x-Emissionen liegt nach Angaben des UVM von 1998 bei ca. 65 %. Daneben sind Emissionsquellen der Kraftwerke von Bedeutung.

Angegeben werden die Emissionen in tausend Tonnen.

Die Daten ermittelt in einem fünfjährigen Turnus die Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen mbH (UMEG). Der Wert für das Jahr 2000 stammt aus einer Hochrechnung.

Trend: stagnierend (trotz fallender Kurve, da immer noch hohes Belastungsniveau)

Die Stickstoffoxidemissionen sind 1980-1995 um ca. 40 % durch die Katalysator-technik gesunken, was jedoch durch gestiegene Fahrleistungen in den vergangenen Jahren wieder kompensiert wurde. Ziel in Baden-Württemberg ist die Abnahme von NO_x-Emissionen um 45 % bis 2005 und um 60 % bis 2010 ausgehend vom Bezugsjahr 1995 (Entwurf des Umweltplans Baden-Württemberg).



12. Stickstoffdioxid (NO₂)

(Entwicklung an städtischen Messstationen)

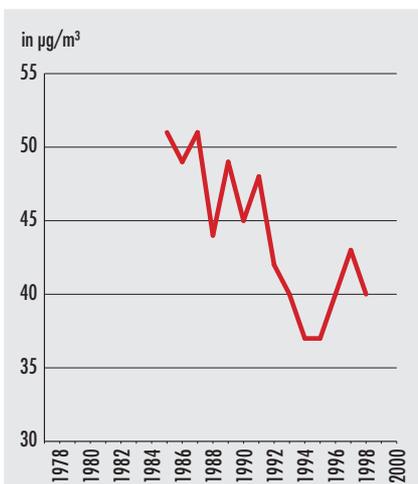
Der Dioxidanteil an den Stickstoffoxidverbindungen steigt in der wärmeren Jahreszeit von 25 % auf 60 %. Die Konzentrationen sind in der Nähe von verkehrsreichen Straßen am höchsten.

Angegeben werden die Konzentrationen von 17 städtischen Messstationen in µg/m³.

Die Daten erhebt die Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen mbH (UMEG) für jedes Jahr.

Trend: stagnierend (trotz fallender Kurve, da immer noch hohes Belastungsniveau)

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit sieht die EU einen Jahresmittel-Grenzwert für Stickstoffdioxid-Konzentrationen von 40 µg/m³ Luft vor. Diese Werte werden zwar in manchen Jahren erreicht bzw. auch leicht unterschritten, sind aber im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu wenig konstant, um schon positiv bewertet werden zu können.



13. Stickstoff-Depositionen

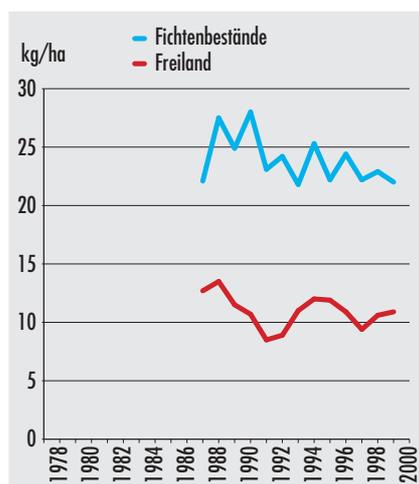
(in Fichtenbeständen und im Freiland)

Neben Nitrat spielen bei der Stickstoffdeposition Ammoniakverbindungen eine Rolle. Vor allem die Tierhaltung trägt dazu bei, dass sich die Ammoniakkonzentrationen in der Atmosphäre erhöhen.

Die Daten stammen aus jährlichen Messungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) Baden-Württemberg. In die Auswertungen integriert sind 6 Freilandstationen und 7 Stationen in Fichtenbeständen.

Trend: negativ (trotz fallender Kurve, da immer noch hohes Belastungsniveau)

Während die Höhe der Freilanddepositionen stark von den Niederschlägen dominiert wird, sind die Werte der Fichtenbestände infolge des "Auskämmeffektes" der Baumkronen ein Spiegel der Stickstoffemissionen von Nahemittenten. Insgesamt werden sowohl für Waldflächen als auch für natürlicherweise nährstoffarme Ökosysteme die Grenzen der Belastbarkeit (Critical loads: 15-20 kg/ha*a) überschritten.



14. Schwefeldioxid (SO₂)

(Emissionen in 1000 Tonnen)

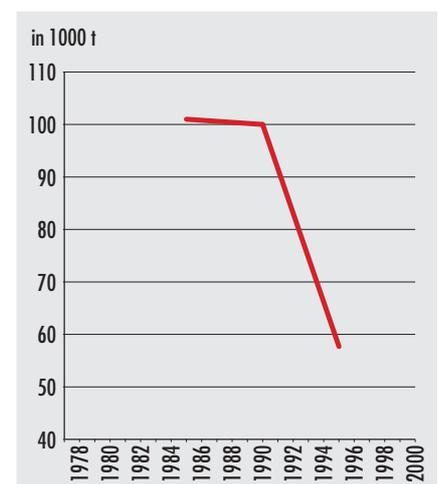
Schwefeldioxid hat seine Bedeutung als wichtigster Luftschadstoff weitgehend verloren, ist aber noch ein Indikator für die Versauerung von Wasser und Boden.

Angegeben werden die Emissionen in tausend Tonnen.

Die Daten ermittelt die Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen mbH (UMEG) in einem fünfjährigen Turnus.

Trend: positiv

Die Schwefeldioxidemissionen sinken kontinuierlich und deutlich um insgesamt zwei Drittel seit Anfang der 80er Jahre.



15. Primärenergieverbrauch

(in Millionen Tonnen Steinkohleeinheiten)

Der Energieverbrauch bildet einen Schlüsselindikator für den Ressourcen- und Rohstoffverbrauch von Wirtschaft und Gesellschaft. Nachhaltige Ressourcennutzung bedeutet ein Strecken von Vorräten.

Angegeben wird der Primärenergieverbrauch (Verbrauch bzw. Absatz von Energieträgern, die noch keiner Umwandlung unterworfen sind, z.B. Rohöl oder Steinkohle) in Millionen Tonnen Steinkohleeinheiten (SKE: Umrechnungsgröße, die der Energiemenge entspricht, die beim Verbrennen der jeweiligen Menge Steinkohle freigesetzt wird, um so den Energiegehalt der Energieträger vergleichen zu können).

Die Daten werden für jedes Jahr vom Statistischen Landesamt ermittelt und im Energiebericht des Wirtschaftsministeriums veröffentlicht.

Trend: negativ

Der Primärenergieverbrauch nimmt weiterhin zu. Beim Mineralöl gibt es zwar einen rückläufigen Trend, dafür nimmt aber der Verbrauch bei der Kernenergie ständig zu (1973: 2,2 %; 1997: 26,8 %).



16. Gesamtwirtschaftliche Energieproduktivität

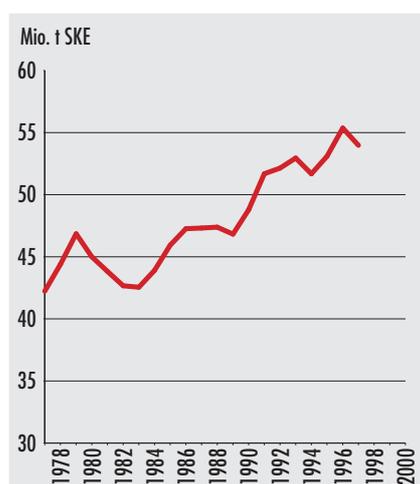
(BIP/PEV)

Die Energieproduktivität ist ein Maßstab für die Effizienz im Umgang mit Energieressourcen.

Angegeben wird das Bruttoinlandsprodukt (BIP) in konstanten Preisen im Verhältnis zum Primärenergieverbrauch (PEV). Die Daten werden für jedes Jahr vom Statistischen Landesamt ermittelt und im Energiebericht des Wirtschaftsministeriums veröffentlicht.

Trend: stagnierend

In den Berichten zum Deutschen Umweltindex (DUX) wird als Ziel die Verdoppelung der Energieproduktivität bis 2020 auf der Basis von 1990 angegeben. In Baden-Württemberg hat die Energieproduktivität bis 1990 zwar zugenommen, ist jedoch in den vergangenen 10 Jahren konstant geblieben.



Anhang

Quellen- und Literaturhinweise

Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg: Nachhaltige Entwicklung in Baden-Württemberg. Statusbericht. Stuttgart 1997

BUND/MISEREOR (Hrsg.): Zukunftsfähiges Deutschland. Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung. Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie. Basel 1996

European Environment Agency: Environmental signals 2000. Copenhagen 2000.

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe: Weiterentwicklung von Indikatorensystemen für die Umweltberichterstattung. Forschungsvorhaben 101 05 016 des Umweltbundesamtes. Karlsruhe August 1996

Jaeger, J.: Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation.- Landscape Ecology 15 (2), p. 115-130, 2000

Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg/Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Umweltdaten 95/96. Karlsruhe 1997

United Nations: Indicators of Sustainable Development - Framework and Methodologies. New York 1996

Informationsmöglichkeiten

Welche Umweltindikatoren realisiert wurden, kann mit dem Umweltdatenkatalog recherchiert werden. Dieser ist im Internet erreichbar über

<http://www.umweltdatenkatalog.de>

Einleitung

Die Entwicklung der Elektrizität hat das Leben der Menschen nachhaltig verändert. Zu den in unserer Umwelt seit jeher vorhandenen natürlichen statischen Feldern kamen in rasch wachsender Zahl vom Menschen erzeugte Wechselfelder im Wohnbereich, an Arbeitsplätzen und in der Umwelt hinzu.

Ohne Unterstützung durch elektrische Energie wäre unser heutiger Lebensstandard nicht möglich. Man denke dabei nur an die zahlreichen Erleichterungen im Haushalt durch diverse elektrische Geräte, an die diagnostischen und therapeutischen Möglichkeiten in der Medizin, an die Verbreitung und Nutzung moderner Kommunikationsmittel oder an die Möglichkeiten der Mobilität und Freizeitgestaltung

Auf der anderen Seite ist aber auch seit Jahrzehnten bekannt, dass durch die Einwirkung starker elektromagnetischer Felder akute gesundheitliche Beeinträchtigungen ausgelöst werden können. In verschiedenen technischen Normen und Richtlinien wurden deshalb schon vor vielen Jahren Grenzwerte zur Vermeidung gesundheitlicher Beeinträchtigungen festgelegt. Deutschland hat dabei seither einen hohen und weltweit anerkannten Sicherheitsstandard erreicht.

Physikalische und elektrotechnische Grundlagen

Neben den mechanischen Kräften, der Gravitationskraft und den Kernkräften gibt es in der Natur als weitere Elementarkräfte die elektrischen und magnetischen Kräfte, die auf elektrisch geladene Teilchen bzw. Körper einwirken. Elektrische und magnetische Kräfte sind vektorielle Größen, deren Wirkungen durch Feldlinien dargestellt werden, die in jedem Punkt des Raumes den Betrag und die Richtung der Feldstärke angeben.

Der physikalische Begriff der elektromagnetischen Felder bzw. Wellen umfasst einen weiten Frequenzbereich (Abb. 1).

ELEKTROMAGNETISCHE FELDER

Einleitung	0 – 1
Physikalische und elektrotechnische Grundlagen	0 – 1
Natürliche elektromagnetische Felder	0 – 3
Künstliche elektromagnetische Felder	0 – 3
Hochfrequente elektromagnetische Felder	0 – 8
Grenzwerte	0 – 9
Anhang	0 – 10

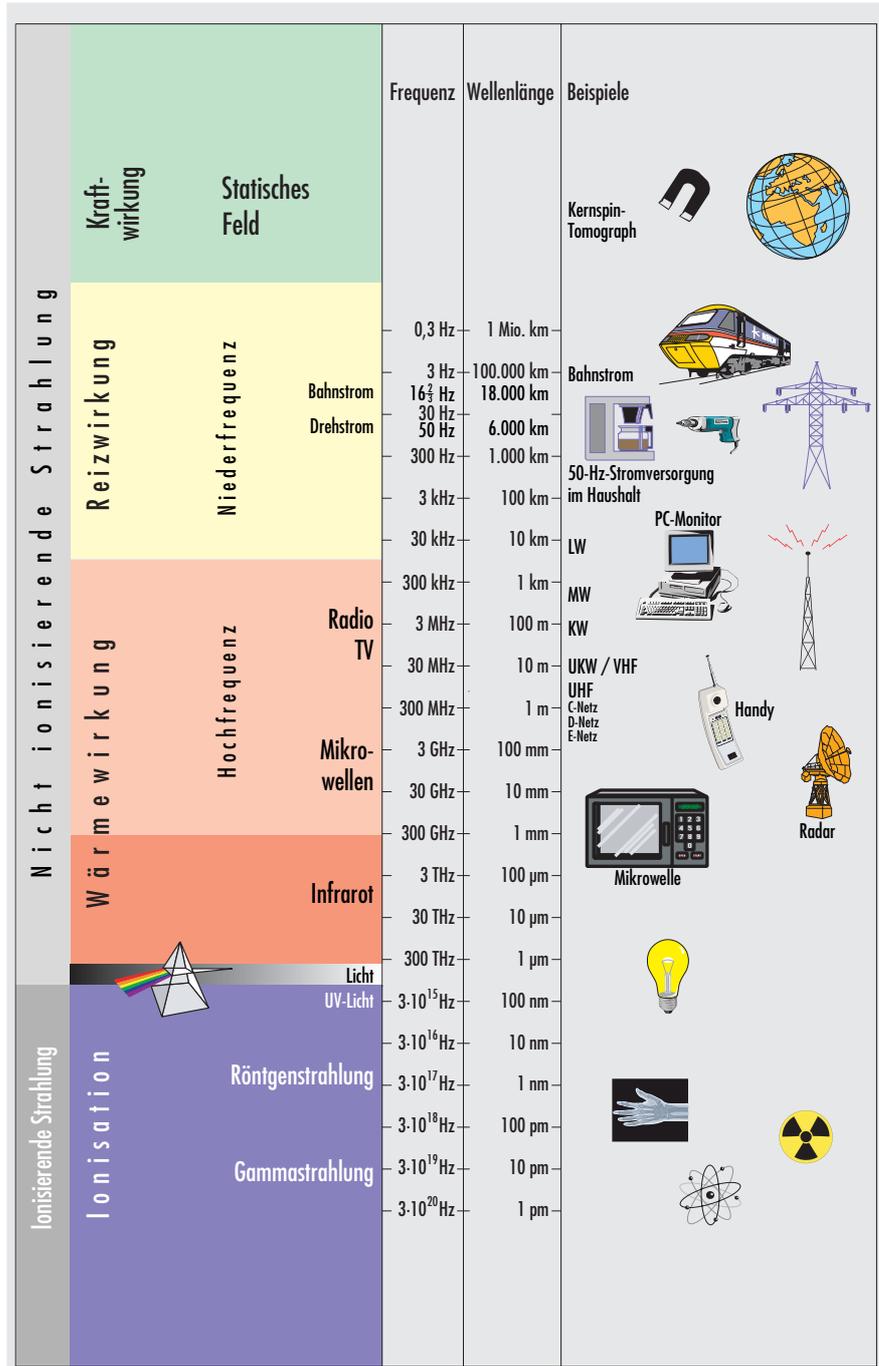


Abb. 1 Frequenzspektrum elektromagnetischer Felder mit Beispielen

Elektrisches Feld

Ein elektrisches Feld entsteht überall, wo auf Grund getrennter Ladungsträger eine Potenzialdifferenz, d. h. eine elektrische Spannung, vorhanden ist. Dies ist auch dann der Fall, wenn kein Strom fließt. Die Einheit der elektrischen Feldstärke ist Volt pro Meter [V/m]. Die Stärke des elektrischen Feldes nimmt mit zunehmender Spannung zu und mit zunehmendem Abstand von der Quelle ab. Hat die Feldstärke an jedem Ort des Feldes den gleichen Betrag und die gleiche Richtung, so handelt es sich um ein homogenes Feld (Abb. 2), wie es beispielsweise in einem Plattenkondensator auftritt. Im Unterschied dazu sind Betrag und Richtung in einem inhomogenen Feld (Abb. 3), beispielsweise bei einem zweiadrigen Stromkabel, abhängig vom jeweiligen Ort.

Wird ein leitfähiges Objekt in ein ungestörtes elektrisches Feld gebracht, hat dies eine Verzerrung des Feldes zur Folge. Die Feldverzerrung hängt dabei von der Leitfähigkeit des Objektes und von dessen Größe und Form ab. So ist beispielsweise die Verzerrung um so größer, je spitzer das Objekt ist. Abb. 4 zeigt diese Wirkung an einer metallischen Spitze. Neben den gelben Feldlinien sind noch sog. Äquipotenziallinien (rot) eingezeichnet, womit eine besonders anschauliche Darstellung elektrischer Felder erreicht wird. Äquipotenziallinien sind gedachte Verbindungslinien gleicher Potenzialdifferenz.

Das elektrische Feld wird stark durch seine Umgebung beeinflusst, da jedes leitfähige Objekt das elektrische Feld verändert. Ursache hierfür ist die unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes in einem leitfähigen Objekt bewirkte Ladungstrennung, auch *Influenz* genannt. Im Falle eines geschlossenen Käfigs (sog. „Faradayscher Käfig“) führt dies dazu, dass das elektrische Feld im Innern praktisch Null ist (Abb. 5). Auch Gebäude schirmen ein von außen einwirkendes elektrisches Feld nahezu vollständig ab, sodass im Gebäudeinneren die

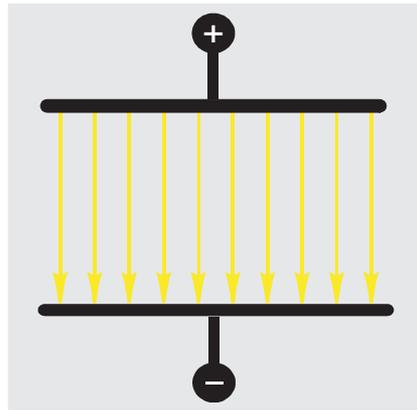


Abb. 2 Feldlinien eines homogenen elektrischen Feldes

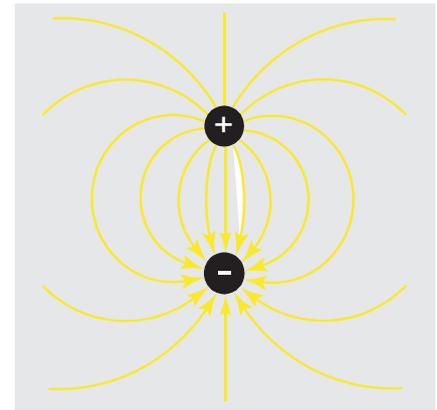


Abb. 3 Feldlinien eines inhomogenen elektrischen Feldes

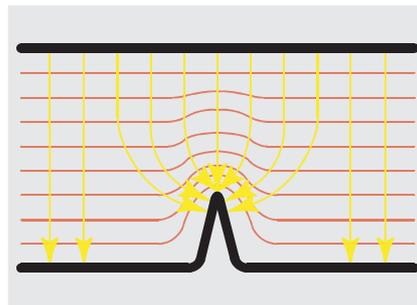


Abb. 4 Verzerrung eines elektrischen Feldes an einer metallischen Spitze

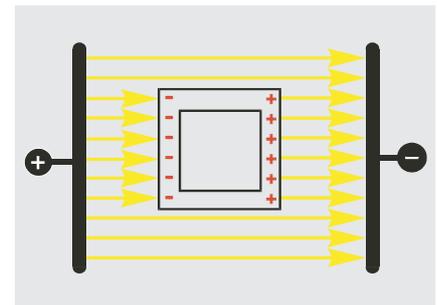


Abb. 5 Vollständige Abschirmung durch einen Faradayschen Käfig

elektrische Feldstärke vernachlässigbar gering ist. In umgekehrter Weise kann auch ein im Innern eines leitfähigen Objektes erzeugtes elektrisches Feld, z. B. in einem Mikrowellenherd, nach außen hin abgeschirmt werden.

Wirkt ein zeitlich sich änderndes elektrisches Feld von außen auf ein leitfähiges Objekt ein, führt der ständig wiederkehrende Austausch elektrischer Ladungen im Innern des Objektes zu frequenzproportionalen Strömen bzw. Stromdichten. Die Stromdichte kann man aus der elektrischen Feldstärke durch Multiplikation mit der elektrischen Leitfähigkeit des Objektes ermitteln. Die Einheit der elektrischen Stromdichte ist Stromstärke (Ampere) pro Fläche [A/m²].

Magnetisches Feld

Ein magnetisches Feld entsteht überall, wo elektrische Ladungen bewegt werden, d. h. wo ein elektrischer Strom fließt. Die Einheit der magnetischen Feldstärke ist Stromstärke pro Meter [A/m] oder, angegeben als magnetische Induktion, Tesla [T]. Die magnetische Induktion ist

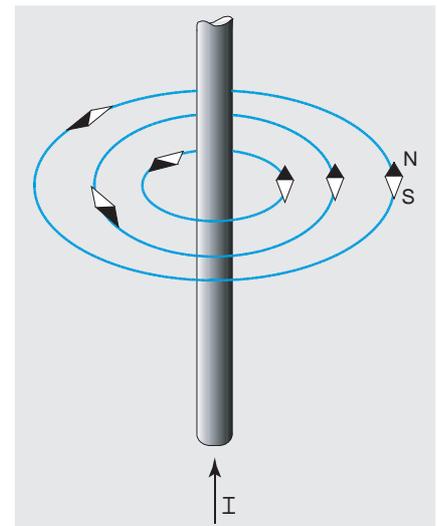


Abb. 6 Magnetfeldlinien eines geraden Leiters und einer Zylinderspule

proportional zur magnetischen Feldstärke (in Luft entspricht 1 A/m 1,257 Mikrottesla (μT)). Die Stärke des Magnetfeldes nimmt mit zunehmender Stromstärke zu und mit zunehmendem Abstand von der Quelle ab. Beispiel für ein magnetisches Feld sind die Magnetfeldlinien eines geraden, stromdurchflossenen Leiters (Abb. 6).

In elektrisch leitfähigen Objekten verursachen zeitlich veränderliche Magnetfel-

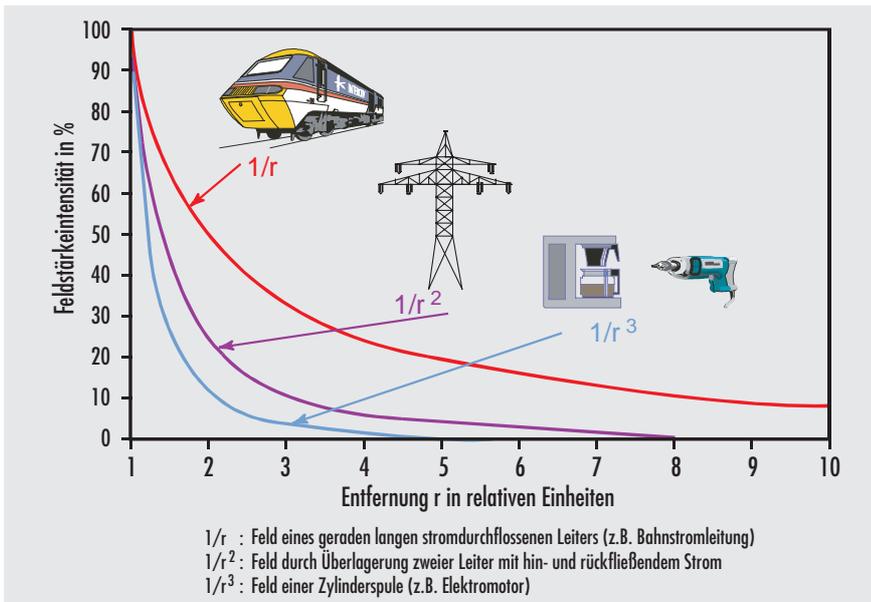


Abb. 7 Abnahme des magnetischen Feldes mit der Entfernung für verschiedene Quellen

Zu natürlichen elektromagnetischen Feldern kommt es in der Natur fast ausschließlich in Form von Wärmestrahlung, Licht und ionisierender Strahlung, also im Bereich sehr hoher Frequenzen im elektromagnetischen Spektrum (Abb. 1). Als bedeutendste natürliche Quelle strahlt die Sonne auf Grund ihrer hohen Oberflächentemperatur (ca. 6000 °C) hauptsächlich sichtbares Licht und UV-Strahlung auf die Erde ab. Die Erde hat im Vergleich zur Sonne mit durchschnittlich ca. 15 °C eine weit niedrigere Oberflächentemperatur, weshalb sie ausschließlich langwellige Wärmestrahlung mit einer Wellenlänge von 10-100 µm abstrahlen kann.

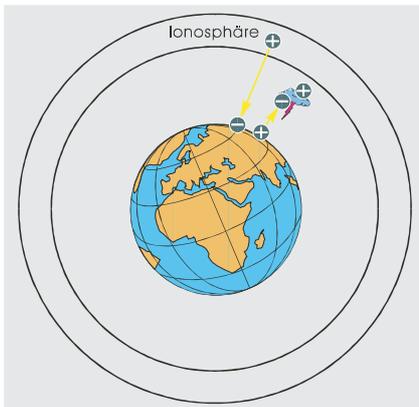


Abb. 8 Elektrisches Feld der Erde

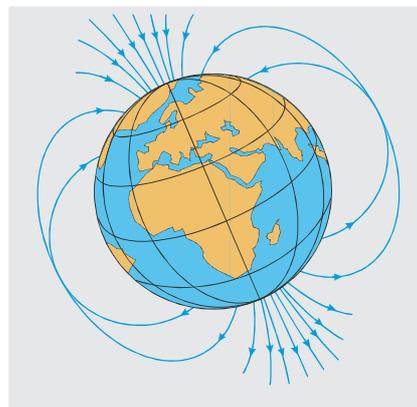


Abb. 9 Erdmagnetfeld

der einen elektrischen Wirbelstrom und damit eine bestimmte Stromdichte, was als *Induktion* bezeichnet wird. Das Magnetfeld hat im Gegensatz zum elektrischen Feld die Eigenschaft, dass es die meisten Materialien nahezu unvermindert durchdringt. Eine Abschirmung ist, wenn überhaupt, nur mit großem Aufwand und teuren Spezialwerkstoffen zu erreichen. Dagegen lässt sich in Abhängigkeit von der Art des jeweiligen Stromkreises eine mit zunehmender Entfernung von der Quelle deutliche Abnahme der magnetischen Feldstärke erreichen (Abb. 7).

Natürliche elektromagnetische Felder

Zwischen dem Erdboden und der elektrisch gut leitfähigen Ionosphäre in ca. 70 km Höhe besteht eine Potenzialdif-

ferenz von bis zu 300 kV. Dadurch bildet sich ein statisches elektrisches Feld über der Erdoberfläche aus, dessen Feldstärke an schönen Tagen ca. 130 V/m beträgt (Abb. 8). Bei Gewitter dagegen können über ebenem Gelände Feldstärken von bis zu 20 kV/m auftreten, an Spitzen (Blitzauslösung) bis zu 300 kV/m.

Das statische Erdmagnetfeld umgibt die ganze Erde vom Südpol bis zum Nordpol (Abb. 9). Es hat je nach geologischem Untergrund und Breitengrad eine Feldstärke zwischen 30 und 60 µT, in Baden-Württemberg im Mittel ca. 47 µT. Zu diesem Erdmagnetfeld tragen in geringem Maße auch die etwa 1 Mio Blitze bei, die pro Stunde auf der Erde auftreten. In unmittelbarer Nähe eines Blitzes können Feldstärken bis zu 1 T herrschen.

Künstliche elektromagnetische Felder

Gleichfelder

Gleichfelder sind insbesondere die Straßen- und S-Bahnen im Nahverkehrsbereich. Sie werden größtenteils in Gleichstromnetzen mit einer Fahrdrachtspannung von 600 V betrieben. Im Fahrzeuginnenraum tritt lediglich ein magnetisches Feld auf (Tab. 1), das elektrische Feld wird nahezu vollständig abgeschirmt.

Andere künstliche Gleichfelder spielen eine eher untergeordnete Rolle: Entweder sind die Feldstärken vernachlässigbar gering, z. B. bei Batterien und Akkumulatoren, oder aber die Exposition betrifft nur einen begrenzten Personenkreis, z. B. Arbeitsplätze in der Elektrochemie oder in der Medizin (Tab. 1).

Fahrgastraum einer Straßen- oder S-Bahn	ca.	80 µT
Kernspintomographie		
- Bedienungspersonal im Umfeld der Geräte	bis	100.000 µT
- Patienten während der Untersuchung	bis	4.000.000 µT
Schwelle für messbare EKG-Veränderung		300.000 µT

Tab. 1 Typische Werte für statische Magnetfelder

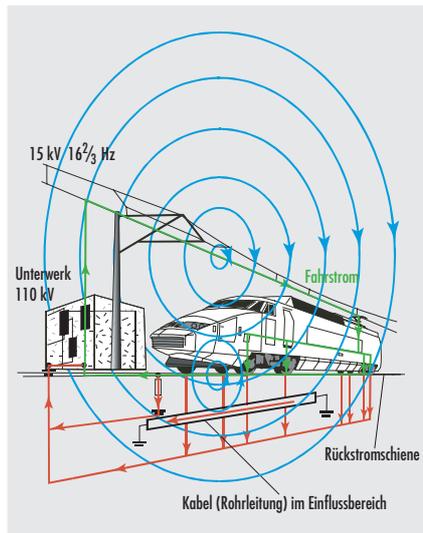


Abb. 10 Stromkreise des Bahnstroms

Bahnstromanlagen der Deutschen Bahn

Die Deutsche Bahn AG (DB) betreibt ihr elektrisches Netz aus historischen Gründen mit Wechselstrom der Frequenz $16 \frac{2}{3}$ Hz. Gleichartige Netze gibt es in Österreich, der Schweiz, Schweden und Norwegen. In anderen europäischen Ländern wird entweder 50 Hz-Wechselstrom oder Gleichstrom verwendet.

Das Stromsystem der DB besteht aus ca. 12.000 km Oberleitungen mit 15 kV-Versorgungsspannung und einem ca. 5.500 km langen eigenen Hochspannungsnetz mit 110 kV-Freileitungen, die häufig parallel zu den Bahntrassen verlaufen.

Zur Versorgung der Züge mit Energie wird der Strom über die 15 kV-Oberleitung zugeführt, als Rückleiter dient die Schiene (Abb. 10). Durch den im Gegensatz zu Hochspannungsfreileitungen verhältnismäßig großen Abstand zwischen Hin- und Rückleiter kompensieren sich die entgegengerichteten magnetischen Felder in geringerem Umfang, die Feldstärke nimmt daher mit dem Abstand langsamer ab (vgl. Abb. 7, rote Linie). Hinzu kommt, dass aus Sicherheitsgründen die Schienen geerdet sind, damit dort keinesfalls eine Spannung gegen Erde anliegen kann, die bei Berührung gefährlich werden könnte. Ein Teil des Rückstromes von den Bahnschienen fließt daher über das

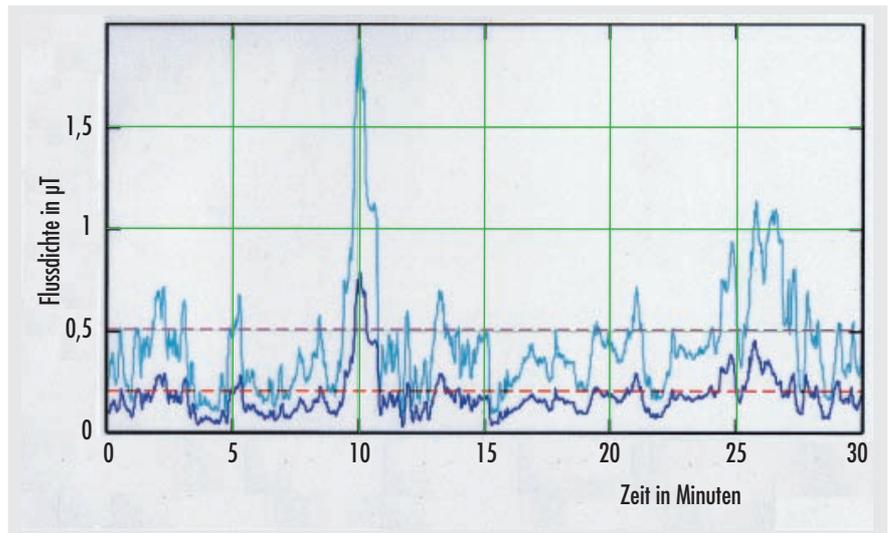


Abb. 11 Zeitlicher Verlauf der magnetischen Feldstärke an einer Eisenbahnstrecke in 12,5 m (oben) und in 25 m (unten) Entfernung (Quelle: LfU)

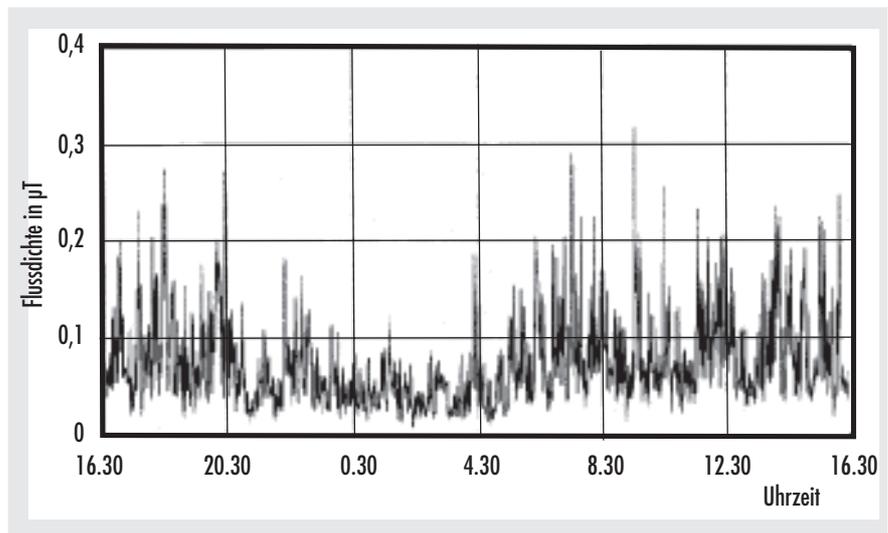


Abb. 12 Tagesgang der magnetischen Flussdichte an der Oberrheintal-Bahnstrecke (Quelle: LfU)

Messpaar	Messung 1	Faktor	Spitzenwerte	Faktor	Messung 2	Faktor
12,5/25 m	0,50/0,21	2,4	1,9/0,78	2,4	1,06/0,44	2,4
25/50 m	0,28/0,1	2,7			0,55/0,25	2,2
50/100 m	0,12/0,05	2,3			0,30/0,14	2,2

Tab. 2 Magnetische Feldstärke in μT an Bahnstrecken in unterschiedlichen Abständen (Entfernungsverdoppelung) (Quelle: LfU)

Erdreich ab (in Abb. 10 rot eingezeichnet). Dies vermindert die Kompensation des magnetischen Feldes zusätzlich.

Zur Ermittlung der Abnahme des Magnetfeldes mit der Entfernung von der Quelle hat die Landesanstalt für Umweltschutz die Magnetfeldstärke in der Nähe einer Bundesbahnstrecke gemessen. In insgesamt 6 Messreihen (Tab. 2) wurde an jeweils 2 Messpunkten gleichzeitig die magnetische Flussdichte bestimmt, wobei

die Entfernung zwischen beiden Messpunkten immer doppelt so groß war.

Den zeitlichen Verlauf der magnetischen Flussdichte in 12,5 bzw. 25 m Abstand veranschaulicht Abb. 11. Aus den guten Übereinstimmungen der zeitlichen Verläufe von Effektiv- und Spitzenwerten ließ sich so für den Nahbereich (Entfernung zur Fahrleitung bis 100 m) eine Feldverringerung bei Entfernungsverdop-

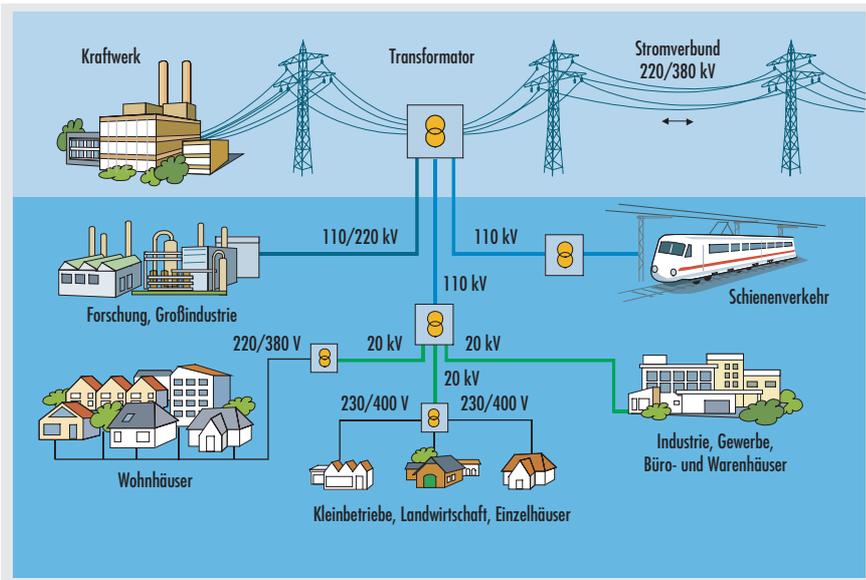


Abb. 13 Aufbau der Stromversorgung vom Kraftwerk zum Verbraucher (Quelle: Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft)

pelung im Mittel um den Faktor 2,4 feststellen.

Ferner ermittelten die Messtechniker an der stark befahrenen Rheintalstrecke mit ca. 290 Zügen pro Tag den Tagesverlauf der magnetischen Flussdichte in 30 m Abstand (Abb. 12). Nach Angaben der Deutschen Bahn können im Extremfall kurzzeitige Flussdichtespitzen auftreten, die bis zum Zehnfachen höher liegen als die von der LfU gemessenen Minutenmittelwerte. Ursache dafür ist u.a., dass die Stromeinspeisung in die Oberleitung in Abständen von 25 bis 80 km Länge stattfindet. Fährt in einem solchen Versorgungsabschnitt kein Zug, fließt folglich auch kein Strom, und das magnetische Feld ist Null. Fahren dagegen mehrere Züge gleichzeitig auf dem betreffenden Streckenabschnitt, ist der Stromfluss und damit auch die Stärke des entstehenden Magnetfeldes entsprechend größer. Dabei sind insbesondere bei Beschleunigungsvorgängen eine hohe Stromaufnahme und damit eine erhöhte Magnetfeldstärke zu beobachten. Diesen Effekt kann man in Abb. 12 gut nachvollziehen. Da die Nachtzeit deutlich weniger Personenverkehr mit vielen Halt- und Beschleunigungsvorgängen aufweist, nehmen demzufolge auch die Magnetfeldstärken in diesem Zeitraum deutlich ab.

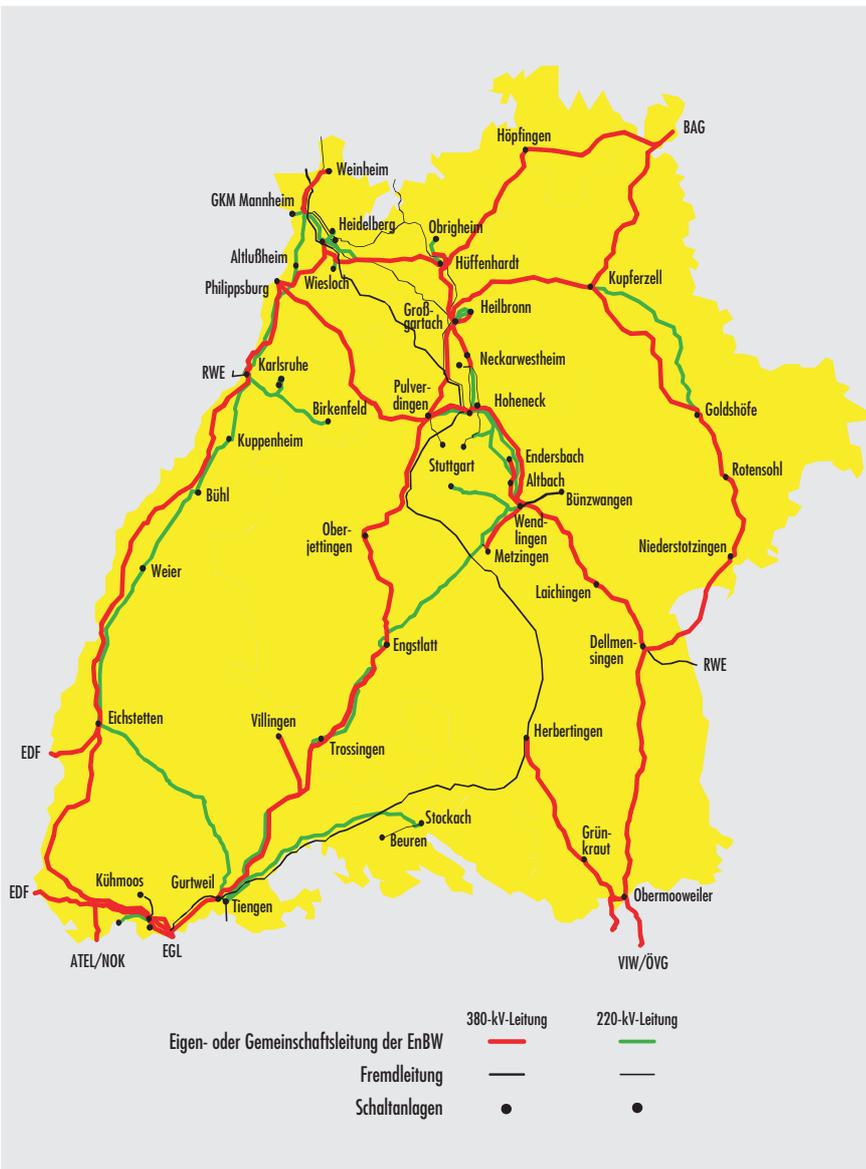


Abb. 14 Hochspannungsnetz in Baden-Württemberg (Quelle: EnBW; Stand 1998)

Öffentliche Stromversorgung

In Deutschland wird für die Versorgung mit elektrischer Energie Drehstrom mit einer 50 Hz-Frequenz eingesetzt. Ein weitverzweigtes Transport- und Verteilernetz sorgt dafür, dass alle Endverbraucher jederzeit mit ausreichend Strom versorgt werden (Abb. 13).

Damit die Verluste auf dem Weg vom Erzeuger zum Verbraucher möglichst gering bleiben, wird der Strom auf einem hohen Spannungsniveau transportiert. Für die Hochspannungsebenen 110, 220 und 380 kV werden Überlandnetze zum Transport großer Leistungen über weite Entfernungen eingesetzt. Die Länge der Hochspannungsfreileitungen beträgt bundesweit ca. 110.000 km. Hinzu

Künstliche elektromagnetische Felder

kommen noch ca. 4.500 km Hochspannungserdkabel vorwiegend im Bereich von Städten. Das 220/380 kV-Verbundsystem in Baden-Württemberg zeigt schematisch Abb. 14.

In der Nähe der Städte transformieren Umspannwerke den Strom auf die *Mittelspannungsebene* von meist 10 kV oder 20 kV herunter. Das regionale Mittelspannungsnetz umfasst ca. 185.000 km Freileitungen und ca. 288.000 km Erdkabel. Die Mittelspannungsnetze wiederum versorgen kommunale Versorgungsnetze und Gewerbe- und Industriebetriebe, in denen der Strom in Niederspannungsnetzstationen auf die *Niederspannungsebene* von 400 V bzw. 230 V transformiert wird und letztendlich bei privaten und gewerblichen Endverbrauchern ankommt. Das regionale Niederspannungsnetz umfasst ca. 229.000 km Freileitungen und ca. 697.000 km Erdkabel. Zum Betrieb dieses Netzes sind insgesamt ca. 567.000 Transformatoren installiert.

Durch den Einsatz unterschiedlicher Sicherungssysteme ist auch bei Ausfall von Kraftwerken, Leitungen und Umspannwerken die Versorgungssicherheit der Verbraucher weitgehend gewährleistet. So werden beispielsweise Hochspannungsleitungen mit einer ausreichend großen Leistungsreserve (durchschnittliche Auslastung ca. 30 %) betrieben. Daneben können im Bedarfsfall Reservesysteme eingesetzt werden.

Die Leistung, die auf einer Leitung transportiert wird, wird in Mega-Volt-Ampere (MVA) oder in Mega-Watt (MW) angegeben. 1 MVA oder MW entspricht 1.000.000 VA bzw. 1.000.000 W.

Bei der Berechnung der *Feldstärken* im Bereich einer Hochspannungsfreileitung wird die höchste betriebliche Anlagenauslastung zugrunde gelegt. Die Hochspannungsleitungen werden in der Regel mit einer Auslastung von maximal 30 % betrieben. Wie Messungen ergeben haben, ist daher die tatsächlich auftretende

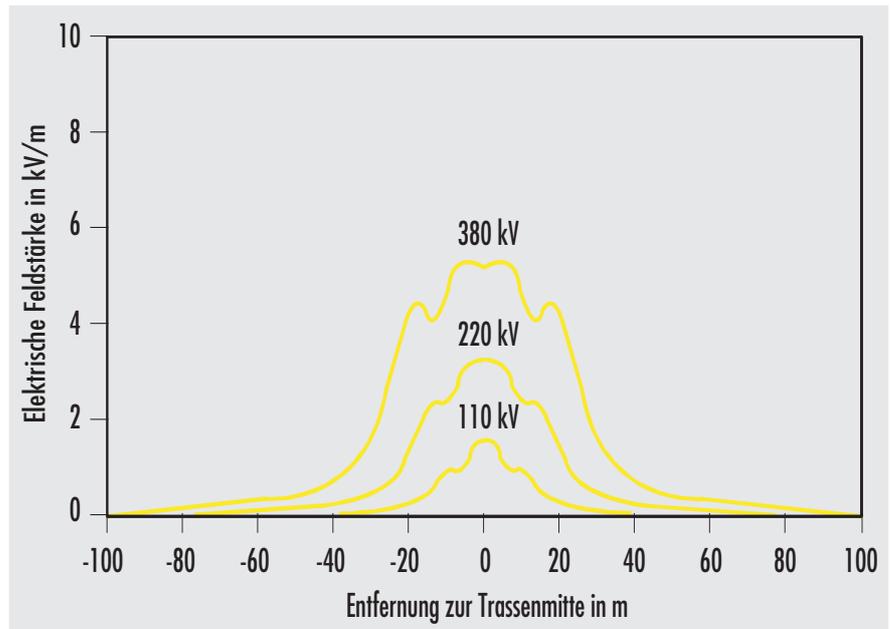


Abb. 15 Elektrische Feldstärke bei Freileitungen in 1 m Höhe über Erdboden

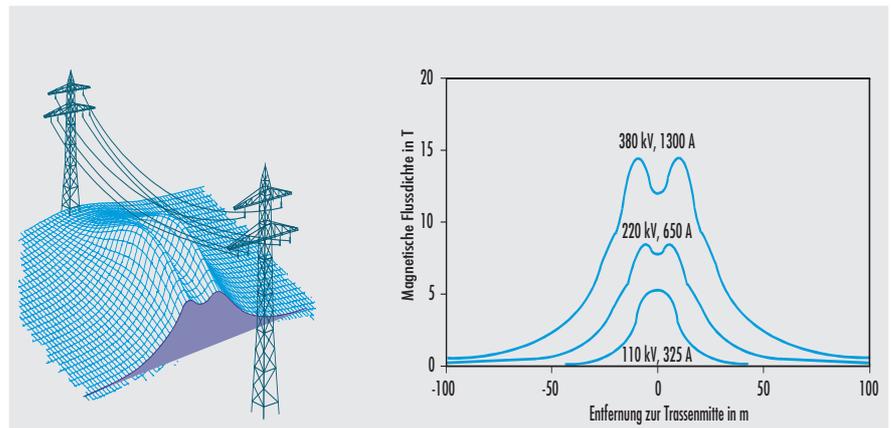


Abb. 16 Magnetische Feldstärke (räumlicher Verlauf) und Feldstärkeangabe in 1 m Höhe über Erdboden

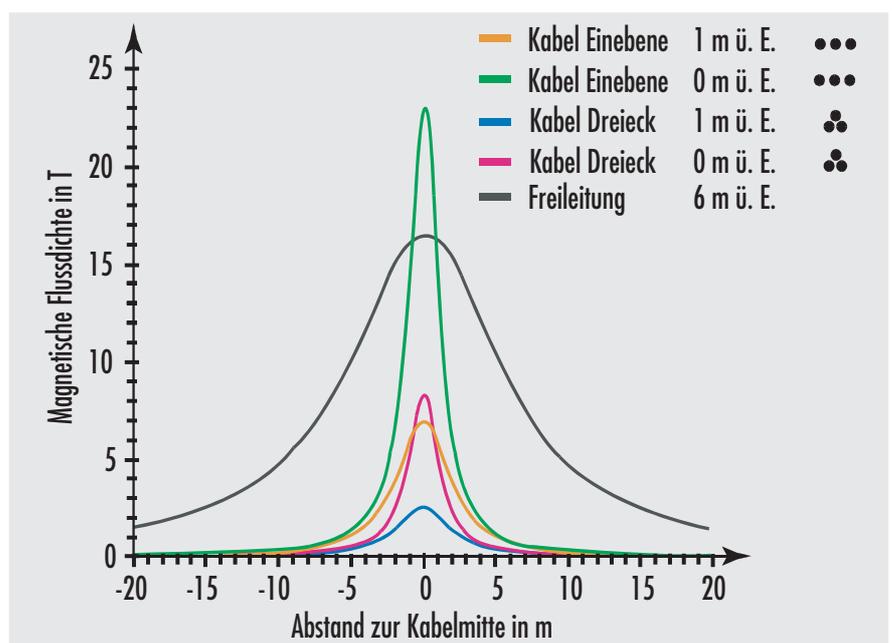


Abb. 17 Magnetische Flussdichte in der Umgebung eines Erdkabels bei unterschiedlicher räumlicher Anordnung

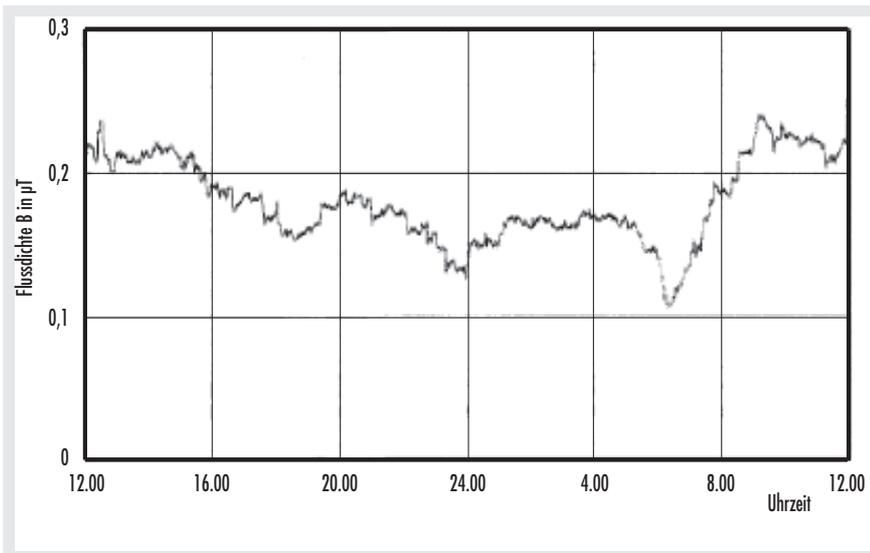


Abb. 18 Tagesgang der magnetischen Flussdichte an einer Hochspannungsfreileitung (Quelle: LfU)

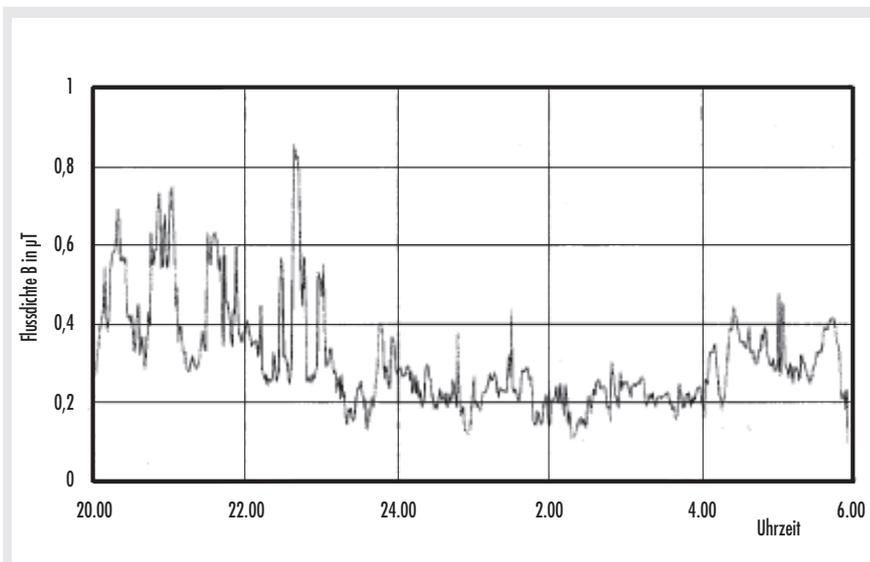


Abb. 19 Zeitverlauf der magnetischen Flussdichte nachts im Dachgeschoss unter einer Niederspannungsleitung (Quelle: LfU)

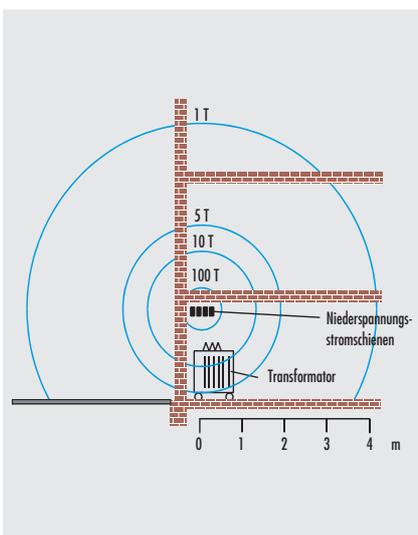


Abb. 20 Magnetische Flussdichte in der Umgebung einer 50-Hz-Transformatorstation

Feldstärke des Magnetfeldes deutlich niedriger (etwa Faktor 3).

Die *elektrische Feldstärke* in der Nähe von Hochspannungsfreileitungen ist in Bodennähe (Abb. 15) um so größer, je höher die elektrische Spannung der Leitung ist, je weiter die einzelnen Leiter voneinander entfernt sind und je geringer der Abstand zum Einwirkungsort ist. Sie ist ferner abhängig von der Phasenbelegung, d. h. der Anordnung und Anzahl der Phasen auf den Masten. Am höchsten sind die Felder somit an der Stelle des maximalen Seildurchhangs.

Die *magnetische Feldstärke* in Bodennähe und nah an einer Hochspan-

nungsfreileitung hängt u. a. von der Stromstärke, der Leiteranordnung, dem Abstand der Leiter untereinander, der Phasenbelegung und insbesondere der Entfernung von den Leiterseilen ab (Abb. 16).

Im Vergleich dazu zeigt Abb. 17 die *magnetische Flussdichte* am Erdboden und in 1 m Höhe im Bereich von Hochspannungserdkabeln bei unterschiedlicher räumlicher Anordnung. Die Leiter liegen dabei entweder nebeneinander in einer Ebene oder im Dreieck. Belastet sind sie jeweils mit dem thermischen Grenzstrom von 645 A. Zum Vergleich ist die magnetische Flussdichte einer 110 kV-Freileitung mit 645 A Belastung bei der Mindesthöhe der Leiterseile von 6 m über Grund dargestellt.

Die magnetische Feldstärke einer Versorgungsleitung ändert sich mit den tageszeitlichen Schwankungen des Strombedarfs. Ein Beispiel sind die Schwankungen der magnetischen Flussdichte in einem Kindergarten in der Nähe einer Hochspannungstrasse über einen Zeitraum von 24 Stunden (Abb. 18). Die tageszeitliche Schwankungsbreite liegt etwa beim Faktor 3.

Im Vergleich dazu zeigt Abb. 19 ein Beispiel aus dem Niederspannungsnetz: den zeitlichen Verlauf nachts in einer Wohnung im Dachgeschoss eines Hauses, das von einer Niederspannungsleitung überspannt ist.

Im Bereich von Transformatoren treten höhere Magnetfeldstärken nur bei der Niederspannungsableitung und auch nur unmittelbar an der Außenwand auf (Abb. 20). So hat die LfU bei einer Transformatorstation mit einer Leistung von 400 kVA und einer Auslastung von 80 bis 90 %, in der eine Spannung von 20 kV auf 400/230 V heruntertransformiert wird, Werte für die magnetische Flussdichte bis zu 200 µT direkt an der Wand gemessen. In 2 m Abstand traten jedoch nur noch maximal 1,2 µT auf.

Quelle	Frequenz	Abstand	Typische Werte für die Exposition	Bemerkungen
Mikrowellenkochgerät	2,45 GHz	5 cm 30 cm	0,62 W/m ² <0,06 W/m ²	Mittelwert aus 130 Messungen
Verkehrsradar	9-35 GHz	3 m 10 m	<250 mW/m ² <10 mW/m ²	Leistung 0,5-100 mW
Diebstahlsicherung	0,9-10 GHz		<2 mW/m ²	im Nutzstrahl
CB-Funk, Walkie-Talkies	27 MHz	5 cm 12 cm	bis 1000 V/m bis 0,2 A/m bis 200 V/m bis 0,1 A/m	Leistung wenige Watt
Starke Rundfunk- und Fernsehsender:				
Mittelwelle	1,4 MHz	50 m 300 m	450 V/m 90 V/m	bei 1,8 MW Leistung
Kurzwele	6-10 MHz	50 m 220 m	112 V/m 27,5 V/m	bei 750 kW Leistung
UKW	88-108 MHz	~1,5 km	<50 mW/m ²	bis 100 kW Leistung
VHF-TV Band I und II	54-88 MHz	~1,5 km	<20mW/m ²	100-300 kW Leistung
VHF-TV Band III	174-216 MHz			
UHF-TV	470-890 MHz	~1,5 km	<5mW/m ²	bis 5 MW Leistung
HF-Belastung in Ballungsgebieten	Rundfunk- und Fernsehsender		100-400 mW/m ²	Höchstwerte an einigen Orten in deutschen Großstädten (1985)
Flugüberwachungs- und Militärradars	1-10 GHz	0,1-1 km >1 km	0,1-10 W/m ² <0,5 W/m ²	Leistung 0,2-20 kW

Tab. 3 Typische Werte der Exposition durch Hochfrequenzfelder in Wohnung und Umgebung (Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz)

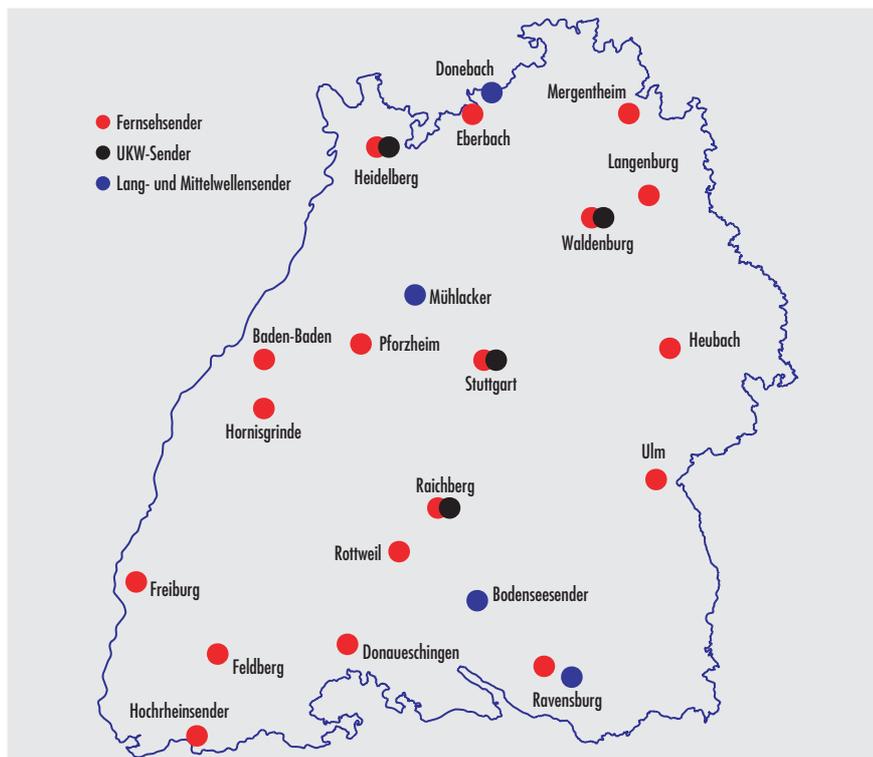


Abb. 21 Rundfunk- und Fernsehsender mit mindestens 100 kW Sendeleistung (Quelle: Deutsche Telekom; Stand 1999)

Hochfrequente elektromagnetische Felder

Die *nieder*frequenten Felder sind meist unerwünschte Nebeneffekte bei der Nutzung elektrischer Energie. Bei den *hoch*frequenten Feldern dagegen ist es gerade umgekehrt: Sie werden in der Regel gezielt erzeugt

- zur Übertragung von Informationen (z. B. Radio, TV, Funk, Mobilfunktelefon)
- zum Erheben von Informationen (z. B. Diebstahlsicherungsanlagen, Messungen, Radar)
- zum Erhitzen von Gegenständen (z. B. Induktionsöfen, Hochfrequenz-Schweiß- oder Mikrowellengeräte).

Einige typische Werte für die Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder in Wohnungen und Umgebung enthält Tab. 3.

Zur Belastung der Bevölkerung durch hochfrequente elektromagnetische Felder hat in den Jahren 1994 und 1995 im Auftrag des Umwelt- und Verkehrsministeriums Baden-Württemberg das Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik, Freiburg, zwei Studien erarbeitet. Hierbei wurden beispielhaft für Freiburg und Umgebung die Gesamtbelastung (Rundfunk, Fernsehen, Radar, Mobilfunk) und der Anteil des Mobilfunks ermittelt. Die *Gesamtbelastung* in der Fläche lag bei maximal 0,15 % des nach der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) geltenden Grenzwertes. Den stärksten Beitrag liefern die Rundfunk- und Fernsehsender. Dagegen ist der *Anteil des Mobilfunks*, abgesehen von Bereichen in der unmittelbaren Nähe von Sendestationen, relativ gering.

Abb. 21 stellt die Standorte von Rundfunk- und Fernsehsendern mit einer Sendeleistung von mindestens 100 kW dar. Insgesamt gab es 1998 im Land 2163 Rundfunk- bzw. Fernsehsendeanlagen mit einer Gesamtsendeleistung von rund 10 MW.

Die Nutzung von Mobilfunk hat in den vergangenen Jahren eine geradezu explosionsartige Steigerung erfahren. Die Zahl der Mobilfunkteilnehmer in Deutschland hat sich seit 1993 mehr als verzehnfacht (Abb. 22). Entsprechend schnell wurde auch der Ausbau der zum Betrieb notwendigen Mobilfunknetze vorangetrieben. 1999 betrug die Anzahl der ortsfesten Sendestationen bundesweit rund 35.000, wovon sich knapp 4.000 in Baden-Württemberg befinden. Wegen der geringen Sendeleistung - sie beträgt in Wohngebieten typischerweise 10 Watt - beträgt die Gesamtsendeleistung der Mobilfunknetze weniger als 1 % der Rundfunk- und Fernsehsender.

Für die Erzeugung hochfrequenter Felder gibt es in Deutschland Grenzwerte. So bedürfen ortsfeste Funksendeanlagen mit einer Sendeleistung von 10 Watt oder mehr einer Betriebsgenehmigung. Voraussetzung dafür ist eine Standortbescheinigung der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP), die diese Anlagen auch überwacht. Diese Bescheinigung legt Leistungsbeschränkungen und Abstrahlwinkel mit den daraus sich ergebenden Sicherheitsabständen zu allgemein zugänglichen Bereichen verbindlich fest.

Abb. 23 zeigt am Beispiel eines großen Sendeturms die in der Genehmigung festzulegenden horizontalen und vertikalen Sicherheitsabstände. Im Horizontaldiagramm ist ersichtlich, dass über den für alle Richtungen geltenden Mindestabstand hinaus für einzelne Hauptabstrahlrichtungen Sicherheitsabstände vorgeschrieben sind; diese ergeben sich aus der Richtwirkung einzelner Antennen. Aus dem Vertikaldiagramm kann man erkennen, dass der dargestellte Sendeturm am Erdboden bis in 14 m Höhe keine Sicherheitsabstände benötigt. Daraus folgt: Probleme können hier erst dann auftauchen, wenn im horizontalen Sicherheitsbereich Gebäude mit größerer Höhe als 14 m errichtet werden.

Grenzwerte

Regelungen in Deutschland

Die in der Verordnung über elektromagnetische Felder vom 16.12.1996 (26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, 26. BImSchV) festgelegten Immissionsgrenzwerte basieren auf den anerkannten Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzvereinigung (IRPA), der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierenden Strahlen (ICNIRP) und der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK).

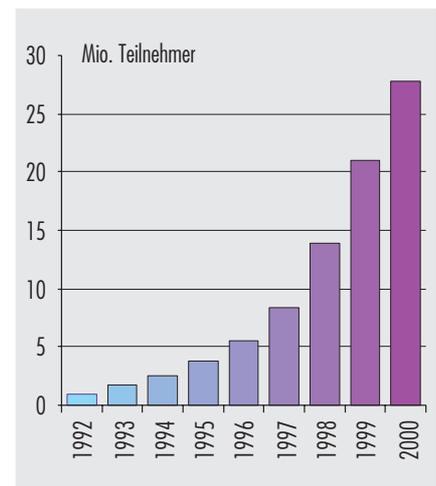


Abb. 22 Mobilfunkteilnehmer in Deutschland (Quelle: Focus)

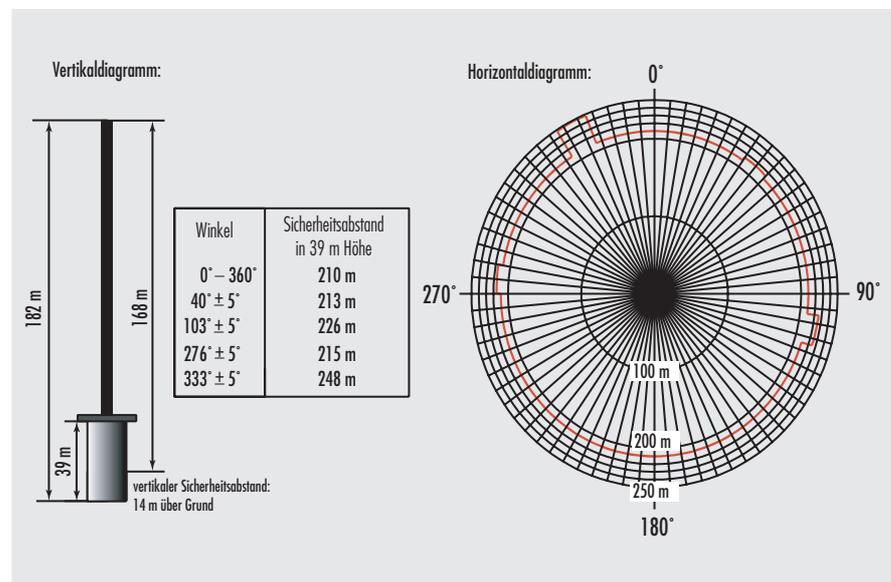


Abb. 23 In der Standortbescheinigung festgelegte horizontale und vertikale Sicherheitsabstände am Beispiel eines Fernmeldeturms (Quelle: Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post)

Frequenz in Hertz (Hz)	Elektrische Feldstärke Effektivwert in kV/m	Magnetische Flussdichte Effektivwert in µT
50-Hz-Felder	5	100
16 2/3-Hz-Felder	10	300

Tab. 4 Grenzwerte für Niederfrequenzanlagen gemäß 26. BImSchV

Frequenz in Megahertz (MHz)	Effektivwert der Feldstärke, quadratisch gemittelt über 6-Minuten-Intervalle	
	Elektrische Feldstärke in Volt pro m (V/m)	Magnetische Feldstärke in Ampere pro m (A/m)
10-400	27,5	0,073
400-2.000	1,375 f	0,0037 f
2.000-300.000	61	0,16

Tab. 5 Grenzwerte für Hochfrequenzanlagen gemäß 26. BImSchV

Die Verordnung enthält Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb von Niederfrequenz- und Hochfrequenzanlagen, die gewerblichen Zwecken dienen oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen Verwendung finden und nicht einer Genehmigung nach § 4 BImSchG bedürfen.

Die Anlagen sind so zu errichten und betreiben, dass in ihrem Einwirkungsbereich in Gebäuden oder auf Grundstücken, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung und unter Berücksichtigung von Immissionen durch andere Nieder- bzw. Hochfrequenzanlagen die festgelegten Grenzwerte eingehalten werden (vgl. §§ 2,3 der 26. BImSchV).

Niederfrequenzanlagen

Für Niederfrequenzanlagen zeigt Tab. 4 die Grenzwerte für 16 2/3 Hz- und 50 Hz-Felder. Dabei bleiben gemäß § 3 außer Betracht

- kurzzeitige Feldstärke- oder Flussdichtespitzen, die insgesamt nicht mehr als 5 % eines Beurteilungszeitraums von 1 Tag ausmachen und die die Grenzwerte nach Tab. 6 jeweils um nicht mehr als 100 % überschreiten,
- kleinräumige Überschreitungen der Grenzwerte der elektrischen Feldstärke um nicht mehr als 100 % außerhalb von Gebäuden,

soweit nicht im Einzelfall hinreichende Anhaltspunkte für Belästigungen durch Berührungsspannungen bestehen, die für die Nachbarschaft unzumutbar sind.

Zum Zwecke der Vorsorge werden an die Errichtung oder wesentliche Änderung von Niederfrequenzanlagen in der Nähe von Wohnungen, Kindergärten usw. weitergehende Anforderungen gestellt. So dürfen dort die in Tab. 4 aufgeführten Grenzwerte für die Dauerbelastung weder kurzzeitig noch kleinräumig überschritten werden.

Hochfrequenzanlagen

Starke hochfrequente elektromagnetische Felder können das Wohlbefinden des Menschen beeinträchtigen oder sogar gefährlich sein. Die Forschung setzt sich seit Jahren mit der Problematik der Einwirkung solcher Felder auf den menschlichen Organismus auseinander. Ihre Ergebnisse werden laufend von nationalen Gremien wie der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK) und internationalen Gremien wie der Weltgesundheitsorganisation (WHO) oder der ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) bewertet.

Die Beurteilungsbasis bilden die derzeit nachgewiesenen thermischen Effekte (Wärmewirkungen). Auf dieser Grundlage werden Grenzwertempfehlungen erarbeitet; dabei wird eine sehr geringe Erwärmung des Körpers durch die Mobilfunkfelder um höchstens 0,1 Grad Celsius als ungefährlich eingestuft. Mögliche nichtthermische Effekte werden bei der Festlegung von Grenzwerten nicht berücksichtigt, da sie bisher nicht eindeutig wissenschaftlich belegt wurden. Tab. 5 zeigt die Grenzwerte für den Frequenzbereich von 10 Megahertz bis 300 Gigahertz.

Wie Messungen unter praktischen Bedingungen gezeigt haben, liegen die Stärken der Felder von Handys in allen Netzen unter diesen Werten. Die Stärken der Felder von Sendemasten sind in der Regel um einen Faktor 100 bis 1000 schwächer.

Anhang

Glossar

Absorption

Aufnahme der Strahlungsleistung oder eines Teiles davon (und Umwandlung in Wärme).

Äquipotenziallinien

Gedachte Linien im elektrischen Feld, die Punkte gleichen Potentials verbinden.

Amplitude

Maximaler Wert einer Feldstärke. Neben den sinusförmigen Wellen können auch andere Signalformen wie Rechteckimpulse oder in der Amplitude veränderliche (modulierte) Signale auftreten.

Effektivwert

Quadratischer Mittelwert einer zeitlich veränderlichen Größe. Im Falle eines sinusförmigen Verlaufes ist der Effektivwert $1/\sqrt{2}$ des Spitzenwertes.

Elektrische Ladung

Eigenschaft, die Körper z.B. durch Trennung nach Berührung mit andern Körpern erhalten. Die Einheit ist Coulomb (C).

Elektrische Spannung

Maß für die Arbeit, die erforderlich ist, um eine Ladung in einem elektrischen Feld von einem Punkt zum anderen zu bringen, dividiert durch die Ladung. Die Einheit ist Volt (V).

Elektrischer Strom

Bewegte elektrische Ladungen. Die Einheit ist Ampère (A).

Fernfeld

Strahlungsfeld in genügender Entfernung von der Quelle.

Frequenz

Schwingungszahl von Wellen je Sekunde, gemessen in Hertz (Hz).

ICNIRP

Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierenden Strahlen.

INIRC

Internationales Komitee für nichtionisierende Strahlung bei der IRPA, Vorläufer der ICNIRP.

IRPA

Internationale Strahlenschutzvereinigung.

Kapazität

Das Speichervermögen eines Körpers für elektrische Ladungen, bezogen auf die anliegende elektrische Spannung. Die Einheit ist Farad (F).

Magnetische Induktion

Maß für die magnetische Feldstärke. Die Einheit ist Tesla (T).

Modulation

Änderung einer hochfrequenten Trägerwelle zur Übertragung von Informationen. So wird beispielsweise bei Rundfunkprogrammen (Träger im MHz-Bereich) die Sprache (kHz-Bereich) durch Frequenzmodulation übertragen. Es gibt Amplituden- (MW), Frequenz- (UKW) oder Phasen- (Richtfunk)-Modulation.

Netzfrequenzen

Für die Übertragung von elektrischer Energie werden je nach Land verschiedene Frequenzen verwendet. In Deutschland für die allgemeine Stromversorgung 50 Hz und für die Bahn 16 2/3 Hz.

Oberwellen

Elektromagnetische Wellen mit dem Vielfachen der ursprünglichen Frequenz.

So weist z.B. die öffentliche 50 Hz-Stromversorgung Oberwellen bei den Frequenzen 100, 150 und 200 Hz auf.

Phase

Zeitliche Entfernung eines Schwingzustandes von einem vorgegebenen Nullwert.

Sendeleistung

Die von einer Antenne abgestrahlte elektrische Leistung.

SSK

Strahlenschutzkommission beim Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Tesla

Maßeinheit für die magnetische Flussdichte (T).

Volt

Maßeinheit für die elektrische Spannung (V).

Wellenlänge

Distanz, die eine Welle während einer Schwingungsdauer (Periode) zurücklegt.

WHO

Weltgesundheitsorganisation.

Wirbelstrom

Durch Induktion in einem leitfähigen Körper erzeugter elektrischer Strom.

Quellen- und Literaturhinweise

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Elektrische und magnetische Felder im Alltag. Vorkommen, Wirkungen, Grenzwerte. Karlsruhe 1997

Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (Hrsg.): Mobilfunk. Faltblatt. Stuttgart 2000

Leitgeb, Norbert: Machen elektromagnetische Felder krank? Springer-Verlag, Wien 2000

Informationsmöglichkeiten

Deutschsprachige Internetanbieter:

Strahlenschutzkommission
<http://www.ssk.de>

Bundesamt für Strahlenschutz
<http://www.bfs.de>

Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit
<http://www.femu.rwth-aachen.de>

Forschungsgemeinschaft Funk e.V.
<http://www.fgf.de>

Englischsprachige Internetanbieter:

IRPA (International Radiation Protection Association)
<http://irpa.sfrp.asso.fr>

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)
<http://www.icnirp.de>

Weltgesundheitsorganisation (WHO)
„International EMF Project“
<http://www.who.ch/peh-emf>

Entwicklungsschritte

Die Darstellungen im gesamten vorliegenden Umweltbericht "Umweltdaten 2000" beruhen auf Mess- und Erhebungsdaten aus dem Umweltinformationssystem Baden-Württemberg (UIS). Das UIS des Landes erfasst systematisch die für die Aufgabenerledigung im staatlichen Umweltschutz wichtigen Informationen in Datenbanken und anderen rechnergestützten Systemen und stellt sie allen Nutzern in der Umweltverwaltung des Landes, zunehmend aber auch kommunalen Stellen und der Öffentlichkeit, zur Verfügung.

Das UIS, ein äußerst dynamisches System, muss ständig wechselnden Anforderungen und technischen Randbedingungen angepasst werden. Die Entwicklung des UIS verlief in mehreren Schritten (Abb. 1):

Der regelmäßige Computereinsatz für bestimmte Umwelt-Messprogramme und -auswertungen reicht schon bis in die sechziger Jahre zurück. Der systematische Aufbau des UIS jedoch begann mit dem 1983/84 erstellten Landessystemkonzept (LSK) für den Einsatz der Informations-

UMWELTINFORMATIONSSYSTEM	
Entwicklungsschritte	P – 1
Nutzung	P – 2
Datenbestände	P – 2
Anwendungen	P – 4
Umweltberichterstattung online	P – 6
Anhang	P – 7

und Kommunikationstechnik (IuK-Technik) in der Landesverwaltung. Hier wurde als Szenario Nr. 8 erstmals die Entwicklung eines UIS vorgeschlagen. Diesem Vorschlag folgend, beauftragte der Ministerrat das damalige Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten (EM), eine erste Rahmenkonzeption für ein UIS Baden-Württemberg zu erstellen.

Diese Bestrebungen erfuhren durch die spektakulären Umwelt-Schadensfälle von Tschernobyl und bei Sandoz im Jahr 1986 eine enorme Steigerung in der öffentlichen Aufmerksamkeit und dementsprechend auch der politischen Priorität. So ist es bereits im Oktober 1986 gelungen, die erste UIS-Rahmenkonzeption vorzulegen. Die "erste UIS-Generation"

konzentrierte sich darauf, die verschiedenen, bereits vorhandenen, datenbankgestützten Fachanwendungen im Geschäftsbereich des EM konzeptionell zusammenzuführen.

Als nächster Schritt beauftragte sodann der Ministerrat das im Juli 1987 neu gebildete Umweltministerium, die Konzeption auf ein ressortübergreifendes System zu erweitern. Das UM verfolgte diesen weit gespannten konzeptionellen Ansatz systematisch über die Jahre 1987 bis 1990 hinweg bis zur konkreten Umsetzung. Das Verdienst der "zweiten UIS-Generation" war es, fach- und dienststellenübergreifende Datenpools, Führungs- und Berichtssysteme sowie Regelwerke für Informationsmanagement, Metadaten- und Geodatenhaltung

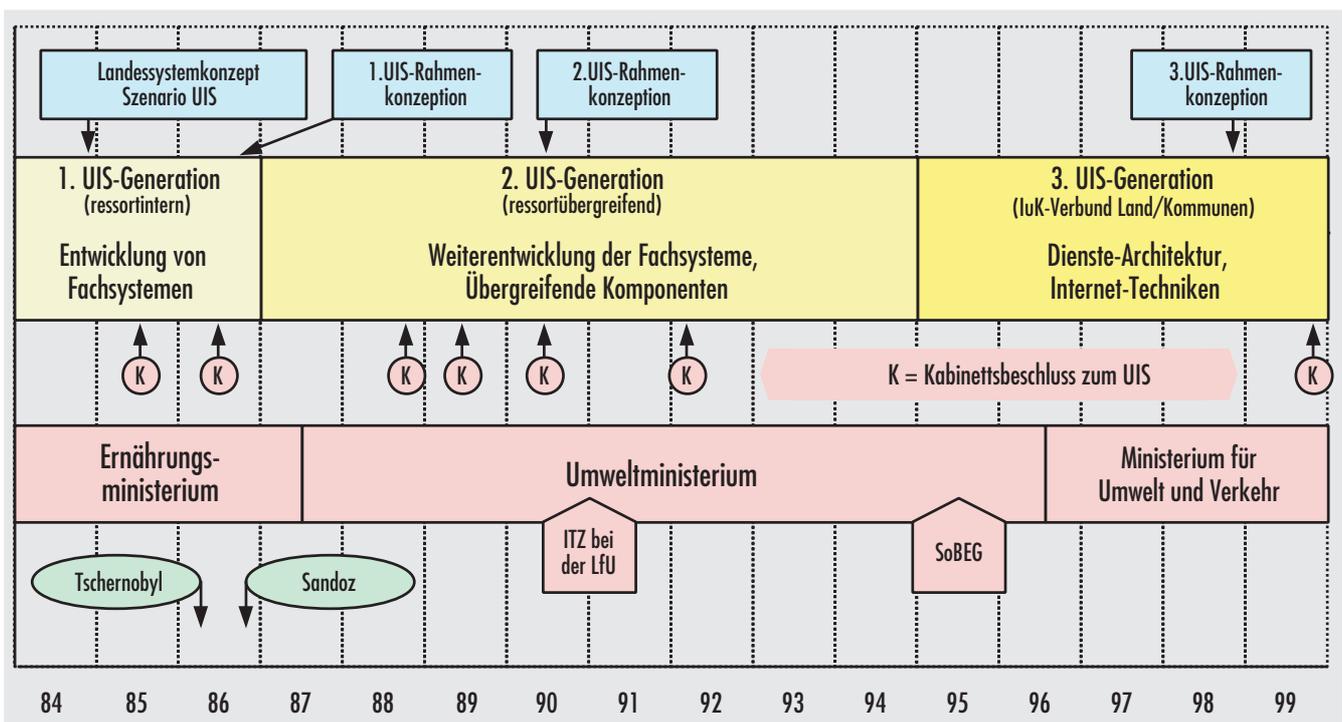


Abb. 1 Entwicklungsschritte des Umweltinformationssystems Baden-Württemberg (Quelle: LfU)

bei konvergenter Weiterentwicklung der Fachsysteme aufgebaut zu haben. Parallel dazu entstanden eine ressortübergreifende Projektorganisation und am 1.1.1991 das Informationstechnische Zentrum (ITZ) bei der Landesanstalt für Umweltschutz als zentrale Entwicklungs- und Betreuungsstelle des UIS.

Es folgten organisatorische Veränderungen: Insbesondere wurden auf Grund des Sonderbehörden-Eingliederungsgesetzes zum 1.7.1995 (SoBEG) Umweltaufgaben an die Unteren Verwaltungsbehörden bei den Kreisen verlagert, dann kam es 1996 zur Bildung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr (UVM). All dies und die rasante Entwicklung der Informationstechnik machten es notwendig, die UIS-Rahmenkonzeption in den Jahren 1995 bis 1998 erneut zu überarbeiten. Vor allem die Techniken aus dem Umfeld des Internets, wie WWW und Java, gaben den UIS-Betreibern die Chance, neue Anforderungen schnell und kostengünstig zu bewältigen. So ist die *„dritte UIS-Generation“* organisatorisch durch den neu gebildeten IuK-Verbund Land/Kommunen und technisch durch eine Dienste-Architektur geprägt, welche kostengünstige, wiederverwendbare Softwarekomponenten auf der Basis von Internet-Techniken zum Einsatz bringt.

Im gesamten Entwicklungszeitraum seit 1985 fanden die Vorgaben für den stufenweisen Auf- und Ausbau des UIS immer wieder auf höchster politischer Ebene Zustimmung und wurden in mehreren Kabinettsbeschlüssen, zuletzt im November 1999, bestätigt.

Nutzung

Die Entwicklung des UIS lässt sich nicht losgelöst von der allgemeinen Entwicklung des Rechnereinsatzes in der Landesverwaltung betrachten. Entscheidend für ein funktionierendes UIS ist es nicht nur, Umweltdaten in Datenbanken zu erfassen und zu halten. Diese Daten müssen vielmehr für die Mitarbeiter in der Umweltverwaltung auch zugänglich sein. Voraussetzung hierfür war der Aufbau

einer Infrastruktur von zentralen Rechnern und damit vernetzten dezentralen Bildschirmarbeitsplätzen.

Es galt nicht nur, dem allgemeinen technologischen Fortschritt folgend die Leistungsfähigkeit zu steigern. Von entscheidender Bedeutung für die UIS-Entwicklung war ebenso die stufenweise Vereinheitlichung der eingesetzten Hard- und Software. Heute besteht der Standard-Bildschirmarbeitsplatz aus einem handelsüblichen PC, mit dem die Verwaltung die landeseinheitliche Bürokommunikation wie auch nutzerspezifische Fachanwendungen betreibt. Praktisch alle Rechner sind über das Landesverwaltungsnetz miteinander und mit zentralen Datenservern verbunden. Die meisten Arbeitsplätze haben auch einen unmittelbaren Zugang zum Internet.

Einen Überblick über die Entwicklung des Rechnereinsatzes in der Fläche gibt die Zahl der verfügbaren Bildschirmarbeitsplätze (Abb. 2). Dabei basieren die Zahlen der Jahre 1995 bis 1999 auf dem Aufgabenstand 1994 und dem Zuwachs der Arbeitsplätze in den Umweltdienststellen, die nach dem Sonderbehörden-Eingliederungsgesetz von 1994 und der Umressortierung 1996 im Geschäftsbereich des UVM geblieben sind.

Anfang der neunziger Jahre war bei den Bildschirmarbeitsplätzen ein steiler Anstieg zu verzeichnen. Dagegen flacht

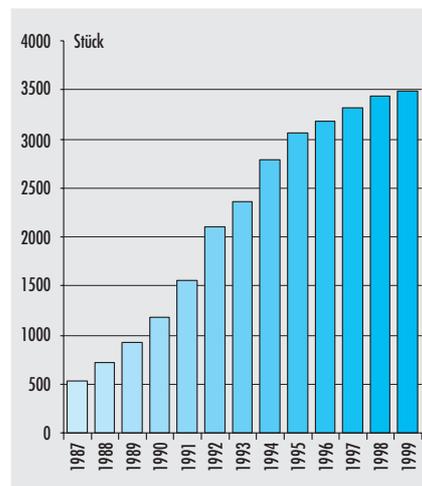


Abb. 2 Bildschirmarbeitsplätze in der Staatlichen Umweltverwaltung (Quelle: LfU)

die Kurve in den vergangenen Jahren ab. Dies liegt daran, dass die meisten staatlichen Umweltdienststellen inzwischen flächendeckend mit IuK-Geräten ausgestattet sind und ein Teil der Aufgaben durch das SoBEG den Kommunen übertragen worden ist.

Datenbestände

„Umweltdaten“ nach heutigem Sprachgebrauch werden in Baden und Württemberg teilweise schon seit fast zweihundert Jahren erhoben. Die ersten regelmäßig erfassten Datenbestände waren wohl die Wasserstände und Wasserabflüsse von Rhein und Neckar vom Beginn des 19. Jahrhunderts. Diese hydrologischen Daten waren zusammen mit Niederschlagsmesswerten auch die ersten, die bereits Ende der sechziger Jahre in Datenbanken erfasst und automatisiert ausgewertet wurden. Auf Grund der Nacherfassung historischer Daten liegen für diesen Umweltbereich die längsten Zeitreihen vor. Der älteste in der Datenbank festgehaltene Wert stammt von 1817 (Pegel Konstanz).

Die Gründung der Landesanstalt für Umweltschutz und der Aufbau des Vielkomponenten-Luftmessnetzes (VIKOLUM) im Jahr 1975 haben die systematische Erfassung von Messdaten in Datenbanken maßgeblich vorangetrieben. 1976 sind systematische online-Messungen der Oberflächen-Gewässergüte und 1983 der Aufbau der Kernreaktor-Fernüberwachung (KFÜ) begonnen worden. 1985 folgte der Aufbau der Grundwasser-Datenbank, in die Daten sowohl zu Grundwasserständen und Grundwassermengen als auch zur Grundwasserbeschaffenheit übernommen wurden.

Für die zentrale Messwertaufzeichnung und Messwertauswertung hat die LfU 1985 ein neues Datenbank-Konzept realisiert, das Messreihen-Operationssystem (MEROS). Zug um Zug werden seither Daten aus den großen Umweltmessprogrammen des Landes in das einheitliche MEROS-Datenbankschema übernommen. Inzwi-

schen stehen die Messreihen für Luft, Radioaktivität (KFÜ), Gewässer-Abflüsse, Niederschläge, Boden und Grundwasser in der gemeinsamen MEROS-Datenbank für übergreifende Auswertungen bereit.

Der Gesamtbestand an dauerhaft archivierten Messwerten belief sich Ende 1999 auf ca. 450 Mio.; jedes Jahr kommen etwa 30 Mio. hinzu (zur Entwicklung der Messdatenbestände Abb. 3).

Von geringerem Umfang, jedoch vergleichbarer Bedeutung sind die Datenbestände aus Gelände-Erhebungen, teilweise kombiniert mit biologischen und chemischen Laboranalysen. Zunächst sind hier die Biotop-Bestimmungswerte der landesweiten Biotopkartierung 1981 bis 1989 und der Biotopkartierung nach § 24a des Naturschutzgesetzes des Landes, im wesentlichen seit 1992, zu nennen. Ebenfalls im Gelände erhobe-

ne Daten, aber auch biologische und chemische Analysenwerte enthält die Datenbank Ökologie, welche die LfU im Rahmen der Biologischen Umweltbeobachtung seit 1987 betreibt. Sehr wichtig ist auch die zentrale Bodendatenbank, die die LfU seit 1988 für die Bodenschutzverwaltung des Landes führt und die vornehmlich chemische Analysendaten enthält. Einen Überblick über die Entwicklung dieser Datenbestände gibt Abb. 4.

Neben dem zeitlichen Verlauf der genannten Mess- und Erhebungsdaten ist für die Bewertung von Umweltinformationen ihre räumliche Verteilung von größter Bedeutung. Daher werden, seit hierfür technische Werkzeuge, sogenannte Geographische Informationssysteme (GIS), vorhanden sind, auch raumbezogene Analysen und kartographische Darstellungen von Umweltdaten mit Computereinsatz unterstützt.

Die digitale Geodatenbearbeitung begann 1980 (Abb. 5). Mit der von ihr selbst entwickelten Landschaftsdatenbank (LDB) erfasste die LfU damals bereits Geometriedaten für thematische Umweltkarten. 1984 sind die ersten größeren Bestände an sogenannten Rasterdaten (das sind große Mengen einfach strukturierter Bild-Daten), nämlich Satellitenbilder, in die LDB übernommen worden.

Von 1989 bis 1992 hat die LfU die raumbezogene Datenverarbeitung im UIS völlig neu konzipiert und das Räumliche Informations- und Planungssystem (RIPS) aufgebaut. Dieses versetzt die LfU in die Lage, alle Umweltdienststellen mit Geodaten und -dienstleistungen zu versorgen. Mit leistungsfähiger kommerzieller GIS-Software ausgestattet, bildet der sogenannte RIPS-Pool seither den zentralen Informationsbestand aller für den Umweltschutz im Land benötigten Geodaten.

Zum einen sind dies landesweite Basisdaten, die von der Vermessungsverwaltung übernommen wurden. Beispiele dafür sind die seit 1994/95 verfügbaren topographischen Karten 1:50.000 und

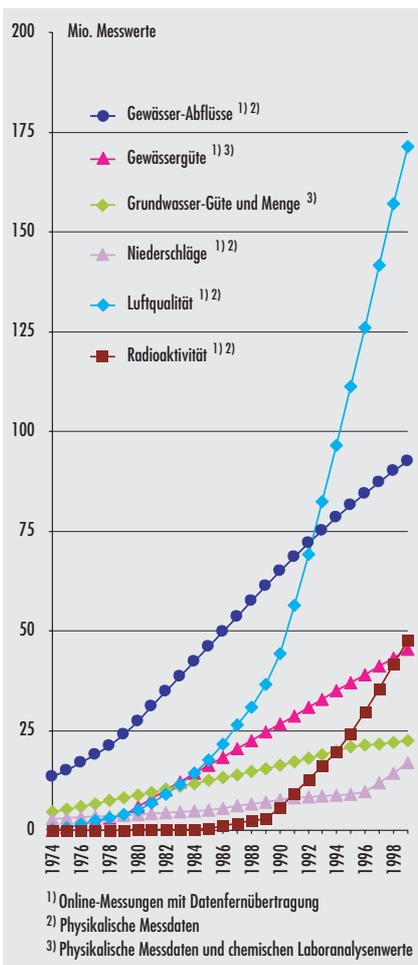


Abb. 3 Messwerte aus physikalischen Messungen und chemischen Laboranalysen (Quelle: LfU)

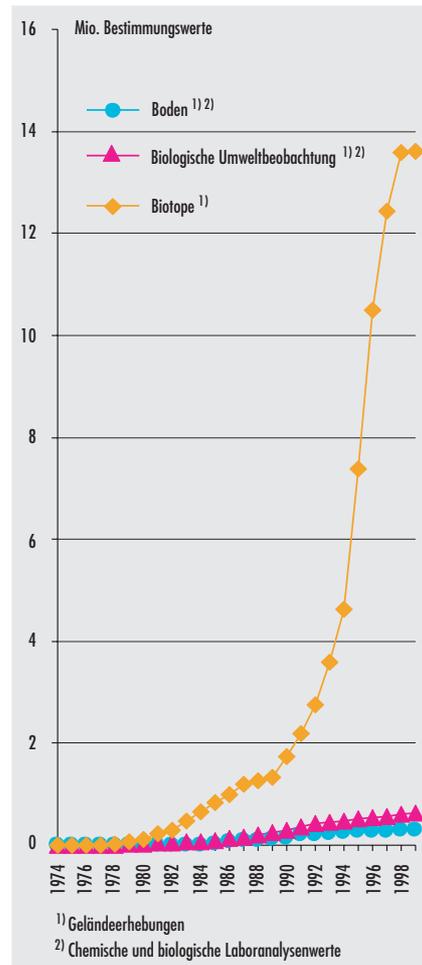


Abb. 4 Bestimmungswerte aus Geländeerhebungen und biologisch-chemischen Laboranalysen (Quelle: LfU)

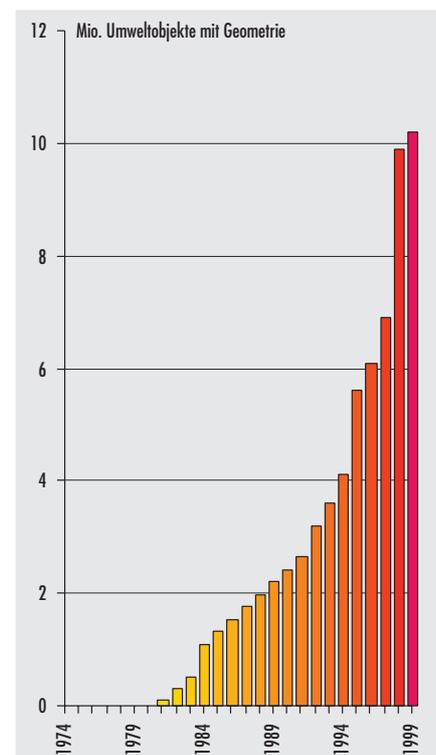


Abb. 5 Geometrie-Datenbestände des UIS (Quelle: LfU)

Datenbestände, Anwendungen

1:25.000 als Rasterdaten oder die 1997 übernommenen umfangreichen Vektordaten (das sind fein strukturierte, datenbanktechnisch gut auswertbare und damit hochwertige Geodaten) des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS).

Zum anderen enthält der RIPS-Pool umweltfachliche Geometriedaten, zumeist im Vektorformat. Hierbei werden Punkt-Objekte (z.B. Messstellen), Linien-Objekte (z.B. Flussläufe) und Flächen-Objekte (z.B. Naturschutzgebiete) unterschieden. Zu all diesen Objekten gibt es Zusatzinformationen (z.B. Messwerte), die mit Auswertungsprogrammen bearbeitet und in digital gefertigten Umweltkarten dargestellt werden können.

Der Datenumfang ist bis 1999 auf über 10 Mio. Geometrien von Umwelt-Objekten angewachsen (Abb. 5). Da Geometrie-Objekte einen wesentlich höheren Speicherbedarf haben als Sachdaten, wie z.B. Messwerte, ist das gesamte Datenvolumen des RIPS-Pools mit über 20 Gigabyte etwa doppelt so groß wie der Bestand an Messdaten.

Anwendungen

Zur Verarbeitung von Umweltdaten für die unterschiedlichsten Aufgaben in der Umweltverwaltung werden nicht nur Datensammlungen benötigt. Darüber hinaus ist es erforderlich, vielfältige Anwendungsprogramme zu entwickeln, die zusammen mit den zugehörigen Daten oft thematisch sehr differenzierte Fachanwendungen bilden. Teilweise enthalten diese Anwendungen eigene Datenbanken, teilweise greifen sie auf zentrale Datenbanken, wie z.B. die Messdatenbanken bei der LfU, zu.

Je nach Bedarf der Nutzer haben die Anwendungen unterschiedliche funktionale Schwerpunkte: z.B. Datenerfassung, Datenauswertung, Vorgangsbearbeitung, Datenrecherche oder Berichterstellung. Thematisch ergeben sich vier große Anwendungsbereiche:

- Anwendungen aus der Technosphäre (Luftreinhaltung, Strahlenschutz, Gewerbeaufsicht etc.),
- Anwendungen aus der Wasser- und Abfallwirtschaft, Altlastenbearbeitung, Bodenschutz etc.,
- Anwendungen aus Naturschutz, Landschaftspflege und Biologischer Umweltbeobachtung,
- themenübergreifende Anwendungen wie zentrale Messdaten- und Geodatenhaltung, medienübergreifende Berichts- und Auskunftssysteme, Datenkataloge und Systeme für die öffentliche Umweltberichterstattung.

Einen Überblick über die Entwicklungs- und Einsatzzyklen ausgewählter fachbezogener und fachübergreifender UIS-Anwendungen gibt Abb. 6.

Die Entwicklung der UIS-Fachanwendungen begann mit dem Programm zur Kernreaktor-Fernüberwachung (KFÜ) und mit der Abfallwirtschaftlichen Datensammlung (AWIDAS) im Jahr 1983. Diese und andere Systeme aus den Anfängen der UIS-Entwicklung wurden nach einer ein- bis zweijährigen Konzeptions- und Entwicklungsphase und einem mehrjährigen Regelbetrieb nach einigen Jahren der Produktion gründlich, teilweise mehrfach, überarbeitet. Die in Abb. 6 dargestellte Abfolge von Entwicklung, Produktion, Erweiterung und Überarbeitung entspricht dem typischen Lebenszyklus von Software. Auf Grund veränderter rechtlicher oder organisatorischer Anforderungen, aber auch wegen der schnellen Entwicklung der Informationstechnik sind Anwendungsprogramme ständig zu pflegen und manchmal auch vollständig zu erneuern. Dies kann auch dazu führen, dass es sich als notwendig erweist, Anwendungen abzulösen und durch völlig neue organisatorische und technische Konzepte zu ersetzen, wie beispielsweise

- das Umwelt-Führungs-Informationssystem (UFIS) durch den WWW-basierten Umwelt- und Verkehrs-Informationsservice (WWW-UVIS)

- das Kommunikativ-Integrative Wasser- und abfallwirtschaftliche Informationssystem (KIWI) durch das Informationssystem Wasser, Abfall, Altlasten, Boden (WAABIS).

Die Ablösung des KIWI ist eine aktuelle Schwerpunktaufgabe im UIS. Das System wurde vor allem bei den Ämtern für Wasserwirtschaft und Bodenschutz eingesetzt, deren Aufgaben nach ihrer Auflösung durch das Sonderbehörden-Eingliederungsgesetz 1995 überwiegend die unteren Verwaltungsbehörden bei den Kreisen übernommen hatten. Hierdurch wurde es notwendig, die Datenverarbeitung und Kommunikation zwischen den beteiligten staatlichen und kommunalen Dienststellen völlig umzustellen. Es gelang, Maßnahmen zur Erneuerung wegen veränderter organisatorischer Anforderungen mit inhaltlichen und technischen Verbesserungen zu kombinieren und mit der Entwicklung von WAABIS zu realisieren. Hierbei wurden nicht nur die in KIWI existierenden Anwendungen erneuert. Die LfU konnte auch Programme, wie z.B. eine Berichtskomponente, ganz neu entwickeln und andere schon bestehende Anwendungen aus der Wasserwirtschaft, wie z.B. die Grundwasser-Datenbank und das Fachinformationssystem Bodenschutz, in WAABIS integrieren. In Abb. 6 sind die zum Rahmenvorhaben WAABIS gehörenden Fachanwendungen entsprechend bezeichnet.

Eine weitere Säule des UIS bilden die hier nicht im Einzelnen aufgeführten sogenannten Basissysteme. Dies sind

- Infrastruktur-Komponenten wie das Landesverwaltungsnetz und das Bürokommunikationssystem
- Fachsysteme anderer Stellen, die nicht im UIS verantwortlich betrieben, sondern nur genutzt werden, wie beispielsweise das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS) der Vermessungsverwaltung oder der Gemeinsame Stoffdatenpool von Bund und Ländern (GSBL).

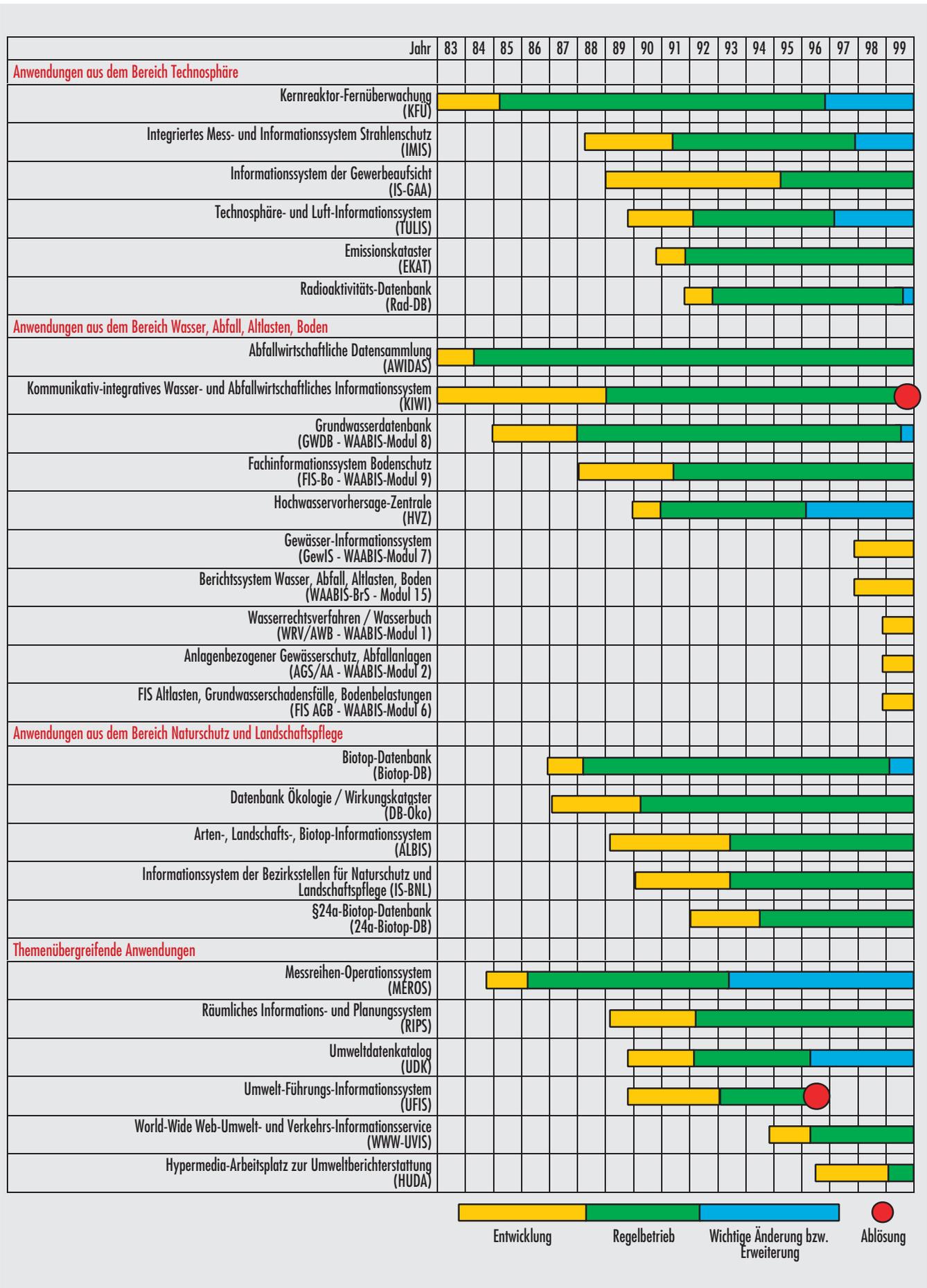


Abb. 6 Entwicklung und Einsatz ausgewählter UIS-Anwendungen (Quelle: LfU)

Das ITZ der LfU hat zum einen die verschiedenen Anwendungsprogramme und zum Teil auch die Infrastruktur zu Beginn ihrer Entwicklung individuell für die Situation der jeweils nutzenden Dienststelle optimiert. Ferner wurden im Lauf der Jahre aus Wirtschaftlichkeitserwägungen, aber auch auf Grund des allgemeinen technischen Fortschritts, Entwicklung und Einsatz von Hard- und Software im UIS zunehmend standardisiert. Grundlage hierfür war das jeweils fortgeschriebene Landessystemkonzept.

Heute basieren die Komponenten des UIS auf einer einheitlichen Netz-Struktur (TCP-IP), einheitlichen Betriebssystemen (Windows-NT, UNIX), Bürokommunikationsprogrammen (MS-Office, MS-Exchange) und Datenbanken (Oracle, MS-Access). Neuere Entwicklungen sind zunehmend durch die Technologie des Internets geprägt. Insbesondere der Zugang von Standard-PC-Arbeitsplätzen auf zentrale Datenbanken und Dokumentenbestände über Netze wird dadurch für den Anwender immer einfacher und wirtschaftlicher.

Umweltberichterstattung online

Der Einsatz von Internet-Techniken wie z.B. WWW und Java-Programmen bedeutet: Nicht nur die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in den verschiedenen Umweltdienststellen können immer einfacher auf die Daten- und Dokumentenbestände des UIS zugreifen. Gleichzeitig sind diese Informationen mit derselben Technik zunehmend auch der breiten Öffentlichkeit über das Internet zugänglich.

Allerdings gibt es Umweltberichterstattung über öffentliche Netze nicht erst seit der Verfügbarkeit des Internets. Schon 1991 konnte eine breite Öffentlichkeit die ersten aktuellen Messdaten aus dem Luftmessnetz des Landes über die Medien Bildschirmtext (Btx) der Post und vor allem über die damals verbreitetste Technik Videotext der Fernsehanstalten abrufen. Seit 1993 verbreitet die LfU im Hochwasserfall Pegeldaten und Hochwasserprognosen über diese Medien, und seit 1996 sind auch Radioaktivitätsmesswerte der Kernreaktor-Fernüberwachung, 1997 erweitert um aktuelle Daten des Strahlenspegelmessnetzes, über Videotext abrufbar (s. Abb. 7).

Diese aktuellen Messdaten gehörten auch zu den ersten Informationen, die mit Inbetriebnahme des öffentlichen Internet-Servers des Ministeriums für Umwelt und Verkehr im April 1996 der Öffentlichkeit im sogenannten World-wide Web (WWW) präsentiert wurden. Daneben sind verschiedene ursprünglich in gedruckter Form vorliegende Berichte auf dem Internet-Server eingestellt worden. Die ersten schon von vornherein für die rechnergestützte Recherche entwickelten Informationssysteme, die seit 1996 im Internet bereit gehalten werden, sind das Atlanten-Fachinformationssystem (AlfaWeb) und der Umweltdatenkatalog (UDK), mit dem die LfU eine Übersicht über alle Datenbestände des UIS - d.h. auch solche, die nicht online zugänglich sind - zur Verfügung stellt.

Das Internet-Angebot des Ministeriums für Umwelt und Verkehr und der Landesanstalt für Umweltschutz ist seither zügig ausgebaut worden. Seit 1997 sind Pressemitteilungen, Veranstaltungshinweise und Veröffentlichungsverzeichnisse des UVM und der LfU aktuell abrufbar. Weitere umfangreiche Berichte und Materialsammlungen folgten. Seit 1998 vermittelt das Agenda-Büro bei der LfU seine

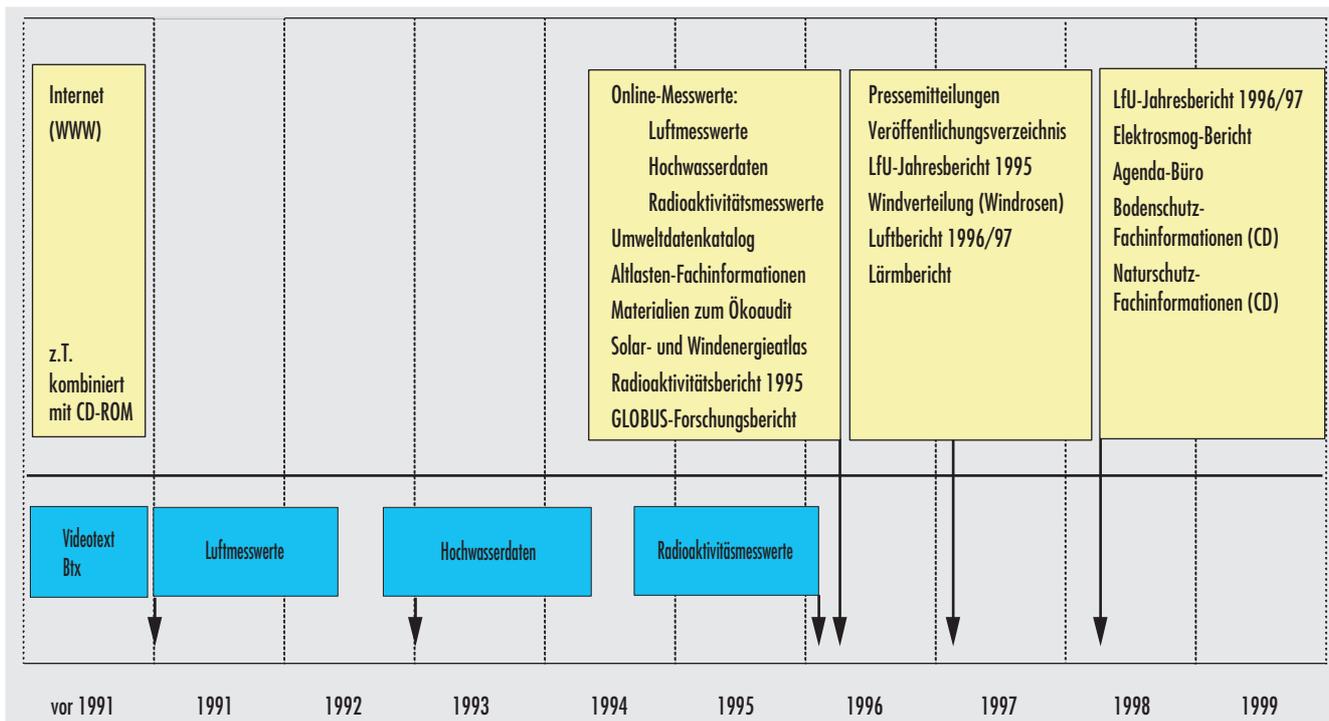


Abb. 7 Entwicklung der online-Berichterstattung aus dem Umweltinformationssystem (Quelle: LfU)

Dienstleistungen zur Unterstützung der Kommunen beim Einstieg in den "Agenda 21"-Prozess und bei der Umsetzung der "Agenda 21" auch über das Internet. Auf derselben technischen Grundlage wie das Fachinformationssystem AlfaWeb sind 1998 weitere Fachdienste zum Naturschutz (NafaWeb) und Bodenschutz (BofaWeb) installiert worden; diese wurden zunächst hauptsächlich auf CD-ROM verbreitet und nur in einer unvollständigen Schauversion im öffentlichen Internet bereitgestellt. Heute sind auch diese Fachdienste in vollem Umfang im WWW zugänglich. Alle diese genannten Informationsangebote, einschließlich des vorliegenden Berichts "Umweltdaten 2000", sind zu erreichen unter:

<http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de>

Um der interessierten Öffentlichkeit einen optimalen Zugang zum Umweltinformationssystem zu ermöglichen, hat die LfU eine Beschreibung der wichtigsten verfügbaren Daten- und Dokumentenbestände in den Umweltdatenkatalog (UDK) eingestellt (s. Abb. 8). Der Umweltdatenkatalog ist eine Datenbank, die von einer Bund-Länder-Kooperation entwickelt wurde und gemeinsam von ihr betrieben wird, und ist unter der Adresse

<http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de/udkservlets/UDKServlet> jedermann zugänglich.

Der Bund hat in einer Kooperation mit den Ländern ein Deutsches Umweltinformationsnetz, englisch "German Environmental Information Network (GEIN)", eingerichtet. Darin werden alle über das Internet verfügbaren Umweltinformationen der Partner in ansprechender Form öffentlich präsentiert. Das gesamte Informationsangebot des UIS Baden-Württemberg ist somit auch unter der Adresse <http://www.gein.de> verfügbar.

Daneben werden die Datenaustauschbeziehungen zwischen GEIN und dem Europäischen Umweltinformationsnetzwerk EIONET zunehmend verstärkt.

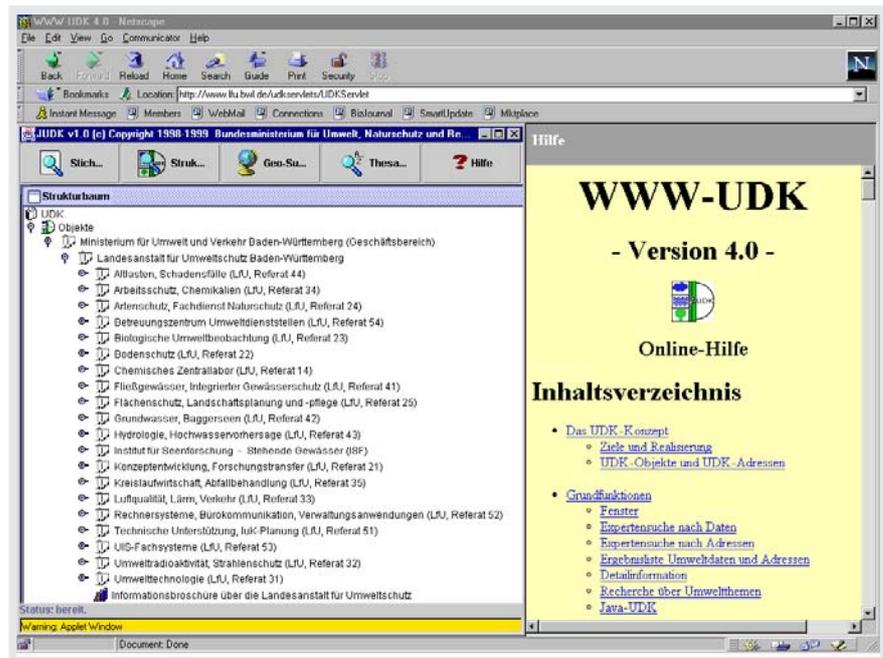


Abb. 8 Beispiel aus dem im Internet zugänglichen Informationsangebot des UIS: Die Datenbestände der Landesanstalt für Umweltschutz im Umweltdatenkatalog (UDK). (Quelle: LfU)

Anhang

Quellen- und Literaturhinweise

Ebel, R.; Heißler, W.; Sattler, T.; Tauber, M. 1999: WWW-Service LfU im Umweltinformationssystem Baden-Württemberg. 36. Erfahrungsaustausch KoopA ADV, 15./16.3.99, Erfurt

Keitel, A.; Zitzmann, W.; Schütz, T.; Burkhardt, J.; Tochtermann, K.; Riekert, W.-F.; Kadric, L.; Kramer, R.; Schmidt, R.; Geiger, W.; Peter, N.; Reißfelder, M.; Doberkat, E.-E.; Sobottka, H.-G. 1998: HUDA: Ein Werkzeug zur Umweltberichterstattung für die Medien Druck, Internet und CD-ROM. In: Riekert, W.-F.; Tochtermann, K. (Hrsg.): Hypermedia im Umweltschutz, S. 145-156, Metropolis, Marburg

Keitel, A.; Reimann, A.; Tochtermann, K.; Kadric, L.; Rainbold, E.; Pursche, K.; Kramer, R.; Schmidt, R.; Jaeschke, A.; Geiger, W.; Wiesel, J.; Hofmann, C.; Schütz, T.; Burkhardt, J. 1999: Umweltberichterstattung mittels HUDA: Möglichkeiten der zukünftigen Weiterentwicklung. In: Dade, C.; Schulz, B. (Hrsg.): Management von Umweltinformationen in vernetzten Umgebungen, S. 9-20, Metropolis, Marburg

Koordinierungsstelle der Bund-Länder-Kooperation Umweltdatenkatalog (Hrsg.) 2000: Der Umweltdatenkatalog - Ein System für den Zugang zu Umweltinformationen der öffentlichen Verwaltung (CD-ROM), Koordinierungsstelle Umweltdatenkatalog im Niedersächsischen Umweltministerium, Hannover

Müller, Manfred 1999: Anforderungen an interoperable GIS-Werkzeuge für Umweltinformationssysteme. Workshop des Bund-/Länder-Arbeitskreises Umweltinformationssysteme - BLAK-UIS "Offene Umweltinformationssysteme - Chancen und Möglichkeiten der OpenGIS-Entwicklung im Umweltbereich". 4./5.2.99, Münster/Westfalen

Mayer-Föll, Roland; Schilling, Peter; Weigert, Dietmar 1986: Konzeption für das Umweltinformationssystem Baden-Württemberg. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg, Stuttgart

Mayer-Föll, Roland; Jaeschke, Andreas (Hrsg.) 1994: Projekt GLOBUS - Vorstudie zur Konzeption und prototypischen Realisierung einer aktiven Auskunftskomponente für globale Umweltsachdaten - Phase I 1994, Wissenschaftlicher Bericht

Anhang

FZKA 5863 des Forschungszentrums Karlsruhe

Mayer-Föll, Roland; Jaeschke, Andreas (Hrsg.) 1995: Projekt GLOBUS - Konzeption und prototypische Realisierung einer aktiven Auskunftskomponente für globale Umweltsachdaten - Phase II 1995, Wissenschaftlicher Bericht FZKA 5700 des Forschungszentrums Karlsruhe

Mayer-Föll, Roland; Jaeschke, Andreas (Hrsg.) 1996: Projekt GLOBUS - Konsolidierung der neuen Systemarchitektur und Entwicklung erster Produktionssysteme für globale Umweltsachdaten im Umweltinformationssystem Baden-Württemberg - Phase III 1996, Wissenschaftlicher Bericht FZKA 5900 des Forschungszentrums Karlsruhe

Mayer-Föll, Roland; Jaeschke, Andreas (Hrsg.) 1997: Projekt GLOBUS - Umsetzung der neuen Systemarchitektur und Entwicklung weiterer Produktionssysteme für globale Umweltsachdaten im Umweltinformationssystem Baden-Württemberg - Phase IV 1997, Wissenschaftlicher Bericht FZKA 6000 des Forschungszentrums Karlsruhe

Mayer-Föll, Roland; Jaeschke, Andreas (Hrsg.) 1998: Projekt GLOBUS - Multimediales Recherchieren und Verarbeiten von globalen Umweltsachdaten im Umweltinformationssystem Baden-Württemberg - Phase V 1998, Wissenschaftlicher Bericht FZKA 6250 des Forschungszentrums Karlsruhe

Mayer-Föll, Roland; Jaeschke, Andreas (Hrsg.) 1999: Projekt GLOBUS - Von Komponenten zu vernetzten Systemen für die Nutzung globaler Umweltsachdaten im Umweltinformationssystem Baden-Württemberg und in anderen fachübergreifenden Anwendungen - Phase VI 1999, Wissenschaftlicher Bericht FZKA 6410 des Forschungszentrums Karlsruhe

Mayer-Föll, Roland; Pätzold, Jürgen (Hrsg.) 1998 (ISBN 3-89559-234-X): Umweltinformationssystem Baden-Württemberg - als Teil des Landessystemkonzepts - Rahmenkonzeption 1998. Ministerium für Umwelt und Verkehr

Baden-Württemberg, Universitätsverlag Ulm

Mayer-Föll, Roland; Pätzold, Jürgen (Hrsg.) 1998: Umweltinformationssystem Baden-Württemberg - Fortschreibung und Weiterentwicklung der Rahmenkonzeption - Hauptuntersuchung in vier Bänden. Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart/Forschungsinstitut für anwendungsorientierte Wissensverarbeitung (FAW), Ulm

Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (Hrsg.) 1997: Rahmenkonzeption für das Informationssystem Wasser, Abfall, Altlasten, Boden (WAABIS) als Teil des Umweltinformationssystems Baden-Württemberg (UIS), Stuttgart

Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (Hrsg.) 1997: Hauptuntersuchung WAABIS - Informationssystem Wasser, Abfall, Altlasten, Boden - (Abschlussbericht), Stuttgart

Ministerium für Umwelt und Verkehr/debis Systemhaus 1997: Spezifikation der Teilerneuerung der Kernkraft-Fernüberwachung Baden-Württemberg, Stuttgart

Tochtermann, Klaus; Keitel, Andree; Mayer-Föll, Roland (Hrsg.) 1999: Hypermediatechnik für Umweltdaten - Phase III -, Entwicklung und Erprobung der Betriebsversion sowie Dokumentation (Abschlussbericht). Forschungsbericht 298 12 601 des Umweltbundesamtes, Berlin

Umweltministerium Baden-Württemberg/McKinsey and Company, Inc. 1987-1990: Konzeption des ressortübergreifenden Umweltinformationssystems im Rahmen des Landessystemkonzepts Baden-Württemberg (Phase I: Bestandsaufnahme und inhaltliche Konzeption; Phasen II/III: Systemkonzeption und Umsetzungsplanung; Phase IV: Weiterentwicklung der Rahmenkonzeption; Phase V: Umsetzung der Rahmenkonzeption). Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart

Informationsmöglichkeiten

Die wichtigsten Informationen zu den Daten- und Dokumentenbeständen des UIS sind online im Internet zu erreichen.

Eine allgemeine Einführung über die angebotenen Umweltinformationen enthalten die Heimadressen des Ministeriums für Umwelt und Verkehr

<http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de> und

der Landesanstalt für Umweltschutz

<http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de>

Detaillierte Informationen zum Naturschutz, insbesondere zum Flächenschutzprogramm Natura 2000 der Europäischen Union, gibt das Ministerium Ländlicher Raum:

<http://www.mlr.baden-wuerttemberg.de>

Spezielle Informationswünsche, mit anspruchsvollen Recherchetechniken wie Expertensuche oder Thesaurus-Anwendungen, unterstützt der Umweltdatenkatalog:

<http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de/udkservlets/UDKServlet>

Einen Gesamtüberblick über die Umweltinformationen von Bund und Ländern gibt das Umweltinformationsnetz Deutschland (German Environmental Information Network) GEIN:

<http://www.gein.de>