



# Umweltdaten 2006

## Baden-Württemberg



Baden-Württemberg

UMWELTMINISTERIUM

# Umweltdaten 2006

## Baden-Württemberg

- HERAUSGEBER** Umweltministerium Baden-Württemberg  
Postfach 10 34 39, 70029 Stuttgart  
[www.um.baden-wuerttemberg.de](http://www.um.baden-wuerttemberg.de)
- LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg  
Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe  
[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)
- BEARBEITUNG** LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg  
Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg  
Statistisches Landesamt Baden-Württemberg  
Regierungspräsidium Freiburg – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau
- REDAKTION** LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg  
Referat 21 - Grundsatz, Forschung, Nachhaltigkeit  
Heidi Hottenroth
- BEZUG** Die Broschüre ist kostenlos erhältlich bei der Verlagsauslieferung der LUBW  
JVA Mannheim – Druckerei  
Herzogenriedstraße 111, 68169 Mannheim  
Telefax 0621/398-370  
[bibliothek@lubw.bwl.de](mailto:bibliothek@lubw.bwl.de)  
Download unter: [www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)
- ISBN** 3-88251-306-3
- STAND** Oktober 2006, 1. Auflage
- DRUCK** Engelhardt und Bauer, 76131 Karlsruhe  
Gedruckt auf Recyclingpapier
- BILDNACHWEIS** R. Wolf, BMU/B. Hiss, BMU/B. Müller, BMU/C. Edelhoff

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

# Vorwort



Umweltschutz geht uns alle an. Wir alle tragen die Folgen von Umweltbelastungen, egal ob es sich um globale Fragen handelt, wie die fortschreitende Klimaerwärmung und den steigenden Energie- und Ressourcenverbrauch, oder lokale Umweltprobleme wie die Feinstaubproblematik oder die vielerorts vorhandene Lärmbelastung. Konsequenter Umweltschutz nützt allen.

Da viele Umweltprobleme nur schwer greifbar, sinnlich nicht wahrnehmbar und schleichend sind, wird deren Dringlichkeit oftmals verkannt. Dies lässt sich vor allem bei globalen Herausforderungen wie z.B. dem Klimawandel oder dem Erhalt der Biodiversität beobachten. Je abstrakter ein Umweltproblem ist, desto wichtiger sind fundierte Informationen, die den Sachverhalt umfassend und objektiv darstellen. Gerade bei sehr emotional besetzten Umweltthemen, wie der Feinstaubdiskussion, der Radioaktivität oder dem Mobilfunk, versachlichen neutrale Fachinformationen die Diskussion und stellen eine solide Basis für umweltpolitische Maßnahmen dar.

Schon seit 1977 veröffentlicht das Land Baden-Württemberg die Umweltdaten. Sie bieten der Öffentlichkeit fundierte Informationen über die aktuelle Umweltsituation in Baden-Württemberg an, stellen Fortschritte der letzten Jahre dar, zeigen aber auch Bereiche mit Handlungsbedarf auf. Solche Informationen sind wichtig, um Transparenz und Akzeptanz für umweltpolitische Entscheidungen zu schaffen.

Sie sind aber ebenso wichtig, um über die Folgen unseres Produktions- und Konsumverhaltens zu informieren. Nur wer die Folgen seines Handelns kennt, ist zur Veränderung bereit. Die Umweltdaten Baden-Württemberg sind ein wichtiges Instrument, um diese Information sicherzustellen. Nur mit einer gut informierten Öffentlichkeit, die sich den ökologischen Herausforderungen bewusst ist, können auf Dauer Erfolge im Umweltschutz erzielt und die Grundlage für eine nachhaltige Entwicklung gelegt werden.

An einem Beispiel will ich das deutlich machen: dem Klimawandel. Die Folgen der Klimaänderung werden meist auf globaler Ebene diskutiert. Dabei hat die klimabedingte Änderung der Umweltbedingungen voraussichtlich auch weitreichende ökologische und ökonomische Folgen für Baden-Württemberg. Die Umweltdaten 2006 stellen deshalb erstmals die Ergebnisse der Klimafolgenforschung für Baden-Württemberg umfassend und leicht verständlich der Öffentlichkeit vor. Nur wer die möglichen Folgen des Klimawandels kennt, ist bereit, sich selbst für den Schutz des Klimas einzusetzen und klimapolitische Maßnahmen zu unterstützen.

Neben der Information der Öffentlichkeit, stellen die Umweltdaten aber auch ein unverzichtbares Informations- und Kontrollinstrument für die Umweltpolitik des Landes selbst dar. So wurde beispielsweise 2005 anhand der Umweltdaten überprüft, inwieweit die Ziele des Umweltplans erreicht wurden. Die Ergebnisse dieser Erfolgskontrolle fließen aktuell in die Fortschreibung des Umweltplans ein. Die Umweltdaten helfen uns dabei, die Ziele des Umweltplans neu zu formulieren und die Schwerpunkte neu auszurichten.

Mein Dank gilt all denen, die an der Erstellung der „Umweltdaten 2006“ mitgewirkt haben.

A handwritten signature in blue ink that reads "Tanja Gönner". The signature is fluid and cursive, with the first name being more prominent.

Tanja Gönner

Umweltministerin des Landes Baden-Württemberg

# Vorwort



Liebe Leserinnen und Leser,

mit den „Umweltdaten 2006“ legen die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg und das Umweltministerium Baden-Württemberg nun bereits zum zehnten Mal einen umfassenden Bericht über die aktuelle Umweltsituation im Land vor.

Die LUBW als „neue“ Umweltbehörde besteht seit Januar 2006 durch Fusion des ehemaligen Zentrums für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg (UMEG) und der ehemaligen Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU). Wesentliches Ziel dieses Zusammenschlusses ist die Bündelung von Kompetenzen im Umweltbereich und damit die Förderung fachübergreifender und integrativer Ansätze zur Lösung der komplexen Umweltprobleme. Das Dach der LUBW bietet eine gute Chance, heute und auch in Zukunft auf die Anforderungen des Umwelt- und Naturschutzes, des technischen Arbeitsschutzes, des Strahlenschutzes sowie der Gerätesicherheit vorbereitet zu sein.

Eine dauerhaft umweltgerechte, eine nachhaltige Entwicklung unseres Landes setzt umfassende Kenntnisse voraus. Das Wissen über Inanspruchnahme und Zustand der Umwelt und der natürlichen Lebensgrundlagen sowie über Art, Umfang und den Erfolg getroffener Schutzmaßnahmen sind hierfür unerlässlich. Dem Ziel, das was wir wissen, auch der Öffentlichkeit in verständlicher Form zu vermitteln, dienen die „Umweltdaten 2006“. Neben den klassischen Umweltmedien Boden, Wasser, Luft sowie Natur und Landschaft stellen wir uns auch den globalen Herausforderungen. Medien- und ressortübergreifende Themen wie Nachhaltigkeit, natürliche Ressourcen und Folgen des Klimawandels werden behandelt.

Die Umweltqualität in Baden-Württemberg hat sich in den letzten Jahrzehnten in vielen Bereichen verbessert. Die in den 70iger Jahren unübersehbaren Umweltprobleme gehören der Vergangenheit an. Rauchende Schloten mit schwarzen Abgasfahnen, Schaumberge auf unseren Flüssen und Massensterben von Fischen kennt kaum noch jemand. Filteranlagen wurden eingebaut, Abwässer geklärt.

Bei allen positiven Entwicklungen - nicht alle Probleme sind gelöst, neue kommen hinzu. Der schleichende Rückgang der natürlichen Artenvielfalt, die zunehmende Verknappung der natürlichen Ressourcen, die Lärmbelastung und die Folgen des Klimawandels, das sind heute und werden wohl auch morgen die großen Herausforderungen sein. Die als Instrumente einer integrativen Betrachtung der Umweltentwicklung eingesetzten Umweltindikatoren zeigen zwar den richtigen Trend. Festgelegte Zielwerte werden jedoch bisher nur selten erreicht.

Zu den „Umweltdaten 2006“ haben zahlreiche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der LUBW und auch anderer Institutionen beigetragen. Für die Erstellung dieses umfassenden und informativen Umweltberichts möchte ich allen Beteiligten herzlich danken.

Margareta Barth,

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

<b>VORWORT</b>	<b>3</b>
<b>1 NACHHALTIGES BADEN-WÜRTTEMBERG</b>	<b>7</b>
1.1 Umweltindikatoren	7
1.2 Umwelt und Wirtschaft	18
1.3 Lokale Agenda 21	23
<b>2 NATÜRLICHE RESSOURCEN</b>	<b>24</b>
2.1 Rohstoffgewinnung und -verbrauch	24
2.2 Bodennutzung und Flächeninanspruchnahme	27
2.3 Wassergewinnung und Wassernutzung	29
<b>3 KLIMA</b>	<b>31</b>
3.1 Klimawandel und Klimaschutz	31
3.2 Emissionen von Treibhausgasen	32
3.3 Energie	35
3.4 Klimafolgen für Baden-Württemberg	42
<b>4 LUFTREINHALTUNG</b>	<b>51</b>
4.1 Emissionsquellen für Luftschadstoffe	51
4.2 Emissionen des Verkehrs	53
4.3 Emissionen von Luftschadstoffen	60
4.4 Immissionen von Luftschadstoffen	66
4.5 Depositionen	77
<b>5 LÄRM</b>	<b>81</b>
5.1 Belästigung durch Lärm	81
5.2 Straßenverkehrslärm	82
5.3 Fluglärm	84
5.4 Schienenverkehrslärm	87
5.5 Industrie- und Gewerbelärm	89
5.6 Lärm im Wohnumfeld - Nachbarschaft, Freizeit, Sport und Schule	90
5.7 Die EU-Umgebungslärmrichtlinie	92
<b>6 WASSER</b>	<b>94</b>
6.1 Grundwasser	94
6.2 Hydrologie der Oberflächengewässer	106
6.3 Fließgewässerbeschaffenheit	110
6.4 Stehende Gewässer	128
6.5 Abwasser	135
<b>7 BODEN</b>	<b>140</b>
7.1 Erfassung und Überwachung des Bodenzustands	140
7.2 Bodendauerbeobachtung als Bestandteil des Umweltmonitoring	140
7.3 Ergebnisse der Bodendauerbeobachtung	141

<b>8</b>	<b>NATUR UND LANDSCHAFT</b>	<b>146</b>
8.1	Naturschutz	146
8.2	Artenschutz	153
8.3	Medienübergreifende Umweltbeobachtung	157
8.4	Wald	162
<b>9</b>	<b>ABFALLWIRTSCHAFT</b>	<b>169</b>
9.1	Paradigmenwechsel in der Abfallwirtschaft	169
9.2	Abfallaufkommen in Baden-Württemberg	169
9.3	Entsorgung von Abfällen	171
9.4	Die Zukunft der Abfallwirtschaft - von der Abfallwirtschaft zur Ressourcenwirtschaft	172
<b>10</b>	<b>ANLAGENSICHERHEIT</b>	<b>174</b>
10.1	Anzahl der Betriebsbereiche in Baden-Württemberg	174
10.2	Standorte der Betriebsbereiche in Baden-Württemberg	174
10.3	Betriebsbereiche und ihre Tätigkeiten	175
10.4	Meldepflichtige Ereignisse	176
<b>11</b>	<b>RADIOAKTIVITÄT</b>	<b>178</b>
11.1	Radioaktivitätsüberwachung	179
11.2	Strahlenbelastung des Menschen	183
<b>12</b>	<b>ELEKTROMAGNETISCHE FELDER</b>	<b>187</b>
12.1	Hochfrequente Felder	188
12.2	Niederfrequente Felder	190
12.3	Statische Felder	192
12.4	Grenzwerte	192
12.5	Funkwellenmessprojekt	194
<b>13</b>	<b>ALTLASTEN</b>	<b>196</b>
13.1	Erfassung	197
13.2	Gefährdungsabschätzung	198
13.3	Sanierung	199
<b>14</b>	<b>LEBENSMITTELÜBERWACHUNG</b>	<b>200</b>
14.1	Rückstände von organischen Kontaminanten in tierischen Lebensmitteln	200
14.2	Industrie- und umweltbedingte Kontaminanten	202
14.3	Gentechnik in Lebensmitteln	204
<b>LITERATUR</b>		<b>206</b>
<b>GLOSSAR</b>		<b>213</b>
<b>EINHEITEN</b>		<b>224</b>

# 1 Nachhaltiges Baden-Württemberg

Das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung (sustainable development) genießt seit Beginn der 1990er Jahre große Aufmerksamkeit. Begleitet von einer Vielzahl an Definitionen- und inhaltlichen Auslegungsversuchen ist der Begriff zu einem allgemein anerkannten Leitbild für die Auseinandersetzung mit zukunftsrelevanten Fragen geworden. Übergreifend bedeutet „nachhaltig“, die Bedürfnisse der Gegenwart nicht auf Kosten zukünftiger Generationen zu befriedigen. Wirtschaftliche, soziale und ökologische Belange müssen als eine Einheit betrachtet werden, damit auch künftige Generationen in einer stabilen Gesellschaft und einer intakten Umwelt leben können. Das setzt voraus, dass soziale und wirtschaftliche Weichenstellungen zugleich umweltverträglich gestaltet werden. Andererseits sind bei umweltbezogenen Maßnahmen auch deren soziale und wirtschaftliche Auswirkungen zu berücksichtigen. Mit dem Leitbild der Nachhaltigkeit begegnet Baden-Württemberg den Herausforderungen der Globalisierung, des demographischen Wandels und der Verknappung von Rohstoffen und Energieträgern.

Auszug aus dem „Brundtland-Bericht“ der World Commission on Environment and Development (1987):

„Nachhaltige Entwicklung ist Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.“

Mit dem Umweltplan Baden-Württemberg hat die Landesregierung im Jahr 2000 ihre Leitvorstellungen für eine dauerhaft umweltgerechte Entwicklung des Landes vorgelegt. Der Umweltplan dient als wichtiger Orientierungsrahmen und benennt für insgesamt neun Handlungsfelder (z. B. Klimaschutz, Luftreinhaltung, Boden- und Gewässerschutz) konkrete Ziele und Maßnahmen. Der Umweltplan wird derzeit auf der Grundlage der bisherigen Umsetzungserfahrungen aktualisiert und fortgeschrieben. Mit der Fortschreibung, die in einem breit angelegten Beteiligungsverfahren erfolgt, soll der Plan als Leitlinie der Umweltpolitik im Land verankert werden. Darüber hinaus hat die Landesregierung Mitte 2002 einen Nachhaltigkeitsbeirat (NBBW) ins Leben gerufen. Das neunköpfige Expertengremium berichtet in regelmäßigen Abständen über die Umsetzung

des Umweltplans und bewertet die Entwicklung zu einem nachhaltigen Baden-Württemberg.

## 1.1 UMWELTINDIKATOREN

Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung gilt es, den Fortschritt zu verfolgen und den Erfolg der getroffenen Maßnahmen zu beurteilen. Dabei dienen Indikatoren als Hilfsmittel, indem sie die Ziele einer nachhaltigen Entwicklung überprüfbar machen. Mit der Entwicklung von Umweltindikatoren befassen sich internationale, nationale und regionale Institutionen seit den 1990er Jahren.

### 1.1.1 UMWELTINDIKATOREN AUF INTERNATIONALER EBENE

Bei der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro 1992 wurde in Kapitel 40 der dort verabschiedeten Agenda 21 gefordert, Indikatoren für eine nachhaltige Entwicklung einzuführen. Erklärtes Ziel war, belastbare Informationen als Grundlage für politische Entscheidungen zu schaffen. Die UN-Kommission für Nachhaltige Entwicklung (Commission on Sustainable Development, CSD) entwickelte daraufhin bis 2001 einen Satz von 58 Indikatoren, von denen 19 als umweltrelevant eingestuft werden können [UN 2006].

Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) gibt seit 2005 jährlich das OECD Factbook [OECD 2005] heraus, in dem sie über 100 Indikatoren aus Bereichen wie Ökonomie, Landwirtschaft, Bildung etc. veröffentlicht. Dem Umweltbereich wurden dabei sieben Indikatoren zugeordnet: Kohlendioxid-Emissionen, Wasserverbrauch, Siedlungsabfall, Nährstoff-Einsatz in der Landwirtschaft, Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum, Energieverbrauch pro Einwohner, Erneuerbare Energien.

Die Europäische Umweltagentur erweiterte den Ansatz der OECD und empfiehlt einen Kernindikatorensatz von 37 Umweltindikatoren [EUA 2005]. Dieser ist gegliedert in die sechs Umweltthemen Luftverschmutzung und Ozonzerstörung, Klimaänderung, Abfall, Wasser, Artenvielfalt und terrestrische Umwelt sowie die vier Bereiche Landwirtschaft, Energie, Verkehr und Fischerei.



### 1.1.2 UMWELTINDIKATOREN IN DEUTSCHLAND

Im Jahr 2002 beschloss die Bundesregierung in ihrer Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie [BPA 2002] 21 Ziele für eine Nachhaltige Entwicklung. Mit entsprechenden Indikatoren wird die Zielerreichung überprüft, wobei der Umweltbereich durch folgende Indikatoren repräsentiert wird:

- Energie- und Rohstoffproduktivität
- Emissionen der sechs Treibhausgase des Kyoto-Protokolls
- Anteil erneuerbarer Energien am Energieverbrauch
- Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche
- Entwicklung der Bestände ausgewählter Tierarten
- Transportintensität und Anteil der Bahn an der Güterverkehrsleistung
- Anteil des ökologischen Landbaus und Gesamtbilanz Stickstoff-Überschuss
- Schadstoffbelastung der Luft

Die überwiegende Zahl dieser Indikatoren findet sich im Umweltbarometer des Umweltbundesamtes wieder und wird zur Berechnung des Deutschen Umweltindex (DUX) herangezogen [UBA 2006a]. Anhand der in der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie festgelegten quantitativen Ziele wird für jeden Indikator der Grad der Zielerreichung festgestellt. Diese Einzelwerte werden zum DUX aufsummiert, um durch einen einzigen Wert den Fortschritt bei der Zielerreichung im Umweltschutz feststellen zu können.

Über die im DUX integrierten Indikatoren hinaus veröffentlicht das Umweltbundesamt den Umwelt-Kernindikatorensetz mit 57 Umweltindikatoren. Diese sind vier Bereichen zugeordnet:

- Klimaänderungen,
- Biologische Vielfalt, Naturhaushalt und Landschaft,
- Umwelt, Gesundheit und Lebensqualität,
- Ressourcennutzung und Abfallwirtschaft.

### 1.1.3 AKTIVITÄTEN AUF LÄNDEREBENE

Auf Ebene der Bundesländer wurde ein Kernindikatorensetz von 24 Umweltindikatoren entwickelt, der von der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft für Nachhaltige Entwicklung (BLAG NE) der Umweltministerkonferenz (UMK) vorgelegt wurde. Im Jahr 2004 beschloss die UMK, diese Indikatoren in Bund und Ländern vorrangig zu berücksichtigen. Ziel war es, Definitionen und Datengrundlagen zu harmonisieren, um eine einheitliche Anwendung in Bund und Ländern zu ermöglichen [BLAG NE 2006].

Die Indikatorenentwicklung erfolgte ausgehend von den Aktivitäten der „Länderinitiative Kernindikatoren“ (LIKI)

in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (AG UGRdL), in der primär die Statistischen Landesämter vertreten sind.

Ziel der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR) ist es, die Zusammenhänge zwischen Wirtschaft, privaten Haushalten und Umwelt darzustellen. Neben der absoluten Entwicklung der einzelnen Einsatzfaktoren wie Energieverbrauch oder Schadstoffemissionen errechnet die UGR die Produktivität als Maß für die Effizienz der Umweltinanspruchnahme. Hierbei werden die einzelnen Einsatzfaktoren in Beziehung zum Bruttoinlandsprodukt gesetzt (s. Indikatoren Energieproduktivität und Rohstoffproduktivität) [UGRDL 2005].

### 1.1.4 AKTIVITÄTEN AUF KOMMUNALER EBENE

Auch auf der Ebene der Lokalen Agenda 21 (vgl. Kapitel 1.3) wird mit Nachhaltigkeitsindikatoren gearbeitet. Sie dienen als Messgrößen, mit denen die kommunale Entwicklung und der Erfolg von Agenda-Maßnahmen bewertet werden kann. Im Jahr 2005 wurde der Leitfaden „Indikatoren im Rahmen einer Lokalen Agenda 21“ in überarbeiteter Form zum dritten Mal neu aufgelegt. Er beschreibt 24 Nachhaltigkeitsindikatoren, die die Bereiche Ökologie, Ökonomie, Gesellschaft/Soziales und Partizipation abdecken [UM 2005a].

### 1.1.5 UMWELTINDIKATOREN IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Der vorliegende Indikatorensetz für das Land Baden-Württemberg umfasst 20, auf der Bund-/Länderebene abgestimmte Umweltindikatoren. Die Indikatoren werden anhand von Kennlinien dargestellt, die aus einer Langreihe von Jahresmittelwerten bestehen. Zum Teil liegen die Daten jedoch nicht jährlich sondern für größere Intervalle vor. Im Folgenden werden zu jedem Indikator die Definition und die Bedeutung im Kontext der Nachhaltigen Entwicklung angegeben. Die im Anschluss angeführten Ziele beziehen sich auf die Vorgaben des Umweltplans Baden-Württemberg sowie auf das Klimaschutzkonzept 2010. Sofern die Landesregierung explizit keine Ziele definiert hat, wurden gesetzliche Vorgaben oder Ziele der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie herangezogen. In Ausnahmefällen kann keine Zieldefinition festgelegt werden. Für jeden Indikator werden Status und Trend einzeln bewertet. Der Status beschreibt den momentanen Zustand in Bezug zum Zielwert. Die dargestellten Datenreihen beziehen sich, wenn möglich, auf Daten der letzten zehn verfügbaren Jahre.

## KOHLENDIOXID-EMISSIONEN

**Definition:** Energiebedingte Kohlendioxid-Emissionen in Millionen Tonnen pro Jahr (Mio. t/a) und Tonnen pro Einwohner und Jahr (t/E-a).

**Bedeutung:** Die energiebedingten Kohlendioxid-Emissionen tragen wesentlich zum anthropogenen Treibhauseffekt bei. Bei einer Verstärkung des Treibhauseffekts werden ein globaler Temperaturanstieg, ein Anstieg der Meeresspiegel, eine Veränderung der Niederschlagsereignisse und eine Zunahme extremer Wetterereignisse vorhergesagt.

**Ziel:** Mit dem Klimaschutzkonzept 2010 strebt die Landesregierung an, die Kohlendioxid-Emissionen um 2 bis 4 Mio. Tonnen pro Jahr im Durchschnitt der Jahre 2008 bis 2012 zu vermindern. Baden-Württemberg unterstützt damit die Erfüllung der auf Deutschland entfallenden Kyoto-Verpflichtung (Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen zwischen 1990 und der Periode 2008 bis 2012 um 21 %) [UM 2005b].

**Status:** Die Kohlendioxid-Emissionen in Baden-Württemberg liegen derzeit bei knapp 80 Mio. t/a. Sie tragen mit einem Zehntel zu den Gesamtemissionen in Deutschland bei. Bei den Kohlendioxid-Emissionen pro Einwohner im Bezugsjahr 2003 zeigt Baden-Württemberg im Vergleich zu anderen Bundesländern mit Maximalwerten von über 20 t/E-a eher niedrige Werte.

**Trend:** Seit Jahren bewegen sich die Kohlendioxid-Emissionen in Baden-Württemberg auf gleichbleibendem Niveau. Da im Beobachtungszeitraum die Bevölkerung um ca. 500 000 gestiegen ist, ist für die spezifische Emission pro Einwohner eine leicht sinkende Tendenz zu beobachten. Die daraus resultierende pro Kopf-Reduktion der Kohlendioxidemissionen verläuft parallel zur Entwicklung im Bundesgebiet.

**Datenquelle:** Länderarbeitskreis Energiebilanzen

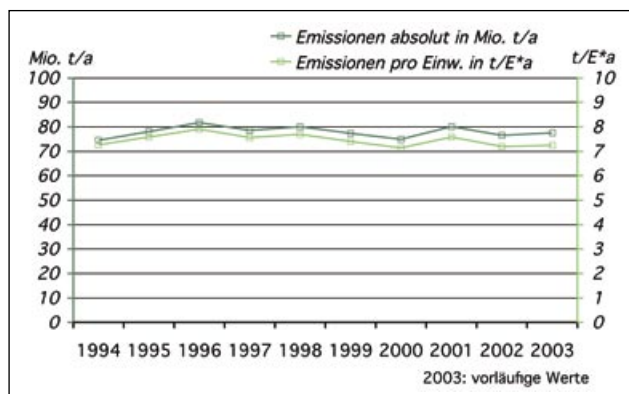


Abb. 1-1: Kohlendioxid-Emissionen.

## ENERGIEPRODUKTIVITÄT

**Definition:** Bruttoinlandsprodukt pro Primärenergieverbrauch in Millionen Euro pro Petajoule ( $10^{15}$  Joule) (Mio. EUR/PJ).

**Bedeutung:** Die Energieproduktivität stellt ein Maß für die Effizienz der Energieverwendung dar, indem die Wertschöpfung in Beziehung zum Energieverbrauch gesetzt wird. Der derzeitige Energieverbrauch ist durch die überwiegende Nutzung fossiler Energieträger mit negativen Umweltauswirkungen verbunden. Deshalb wird angestrebt, eine Steigerung der wirtschaftlichen Entwicklung ohne eine Steigerung des Energieverbrauchs zu erzielen, d.h. mit Energie effizienter umzugehen.

**Ziel:** Ziel der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie ist es, die Energieproduktivität bis 2020 auf der Basis von 1990 zu verdoppeln [BPA 2002]. Bezogen auf Baden-Württemberg liegt der Zielwert somit bei 336 Mio. EUR/PJ\*.

**Status:** Obwohl das angestrebte Ziel noch nicht erreicht ist, gehört Baden-Württemberg mit dem aktuellen Wert von 181 Mio. Euro pro Petajoule zu einem der energieeffizientesten Bundesländern.

**Trend:** Die Aufwärtsentwicklung der Trendlinie zeigt, dass sich in Baden-Württemberg die wirtschaftliche Entwicklung langsam vom Energieverbrauch abkoppelt. Während der Primärenergieverbrauch im Berichtszeitraum um 2,3 % zugenommen hat, stieg das Bruttoinlandsprodukt um 18 %.

**Datenquelle:** Länderarbeitskreis Energiebilanzen

\* Ausgangsjahr 1991, da für 1990 kein vergleichbarer Wert vorliegt.

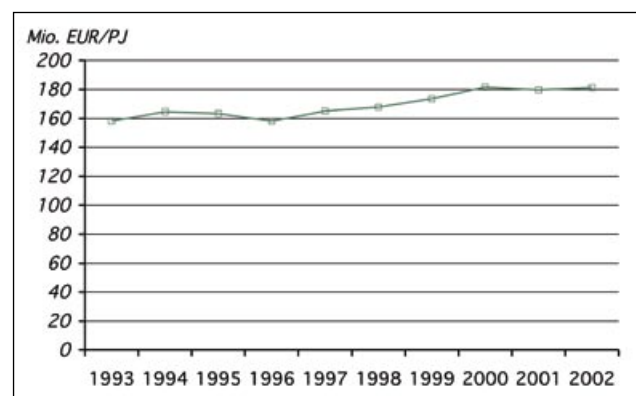


Abb. 1-2: Energieproduktivität.

## ENERGIEVERBRAUCH/REGENERATIVE ENERGIEN

**Definition:** Primärenergieverbrauch in Petajoule ( $10^{15}$  Joule) pro Jahr (PJ/a) und ausgewiesener Anteil regenerativer Energie in Prozent.

**Bedeutung:** Die heutige Energieversorgung ist mit erheblichen Umweltbelastungen wie Schadstoff- und Treibhausgasemissionen, Boden- und Gewässerverschmutzung, Landschaftszerstörung und nicht zuletzt mit radioaktivem Abfall verbunden. Aus diesem Grund ist es zwingend notwendig, den Energieverbrauch zu senken. Neben der Energieeinsparung können durch die Umstellung auf regenerative Energieträger die mit dem Energieverbrauch einhergehenden Umweltbelastungen minimiert werden.

**Ziel:** Das Land strebt an, bis zum Jahr 2010 den Anteil regenerativer Energien am Primärenergieverbrauch gegenüber 1997 zu verdoppeln [UM 2005b].

**Status:** Der Anteil von 2,7 % regenerativer Energien am Primärenergieverbrauch stellt für Baden-Württemberg bereits eine Erhöhung um 26 % im Vergleich zum Jahresdurchschnitt von 1994 dar.

**Trend:** Der Anteil regenerativer Energien am Primärenergieverbrauch zeigt besonders in den letzten Jahren eine steigende Tendenz, während der Durchschnittswert für Deutschland im Betrachtungszeitraum annähernd gleich geblieben ist.

**Datenquelle:** Länderarbeitskreis Energiebilanzen

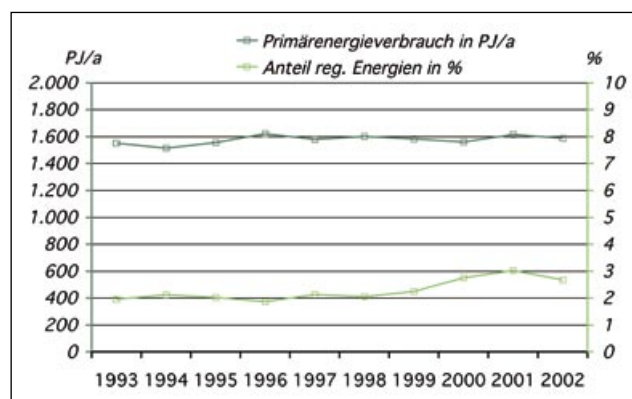


Abb. 1-3: Primärenergieverbrauch und Anteil regenerativer Energien.

### KOHLENDIOXID-EMISSIONEN DES VERKEHRS

**Definition:** Jährlich emittierte Menge an Kohlendioxid durch Straßen-, Luft-, Schienen- und Binnenschiffsverkehr in 1 000 Tonnen pro Jahr (1 000 t/a).

**Bedeutung:** Der zum überwiegenden Teil durch anthropogen erzeugtes Kohlendioxid verursachte Klimawandel ist ein vorrangiges Umweltproblem. Der Verkehrssektor ist in Baden-Württemberg einer der größten Emittenten von Kohlendioxid. Innerhalb der Verkehrsemissionen kommt dem Straßenverkehr ein Anteil von über 90 % zu.

**Ziel:** Die Landesregierung strebt eine Reduktion der Koh-

lendioxid-Emissionen des Verkehrs von 10 % (bezogen auf 1990) bis zum Jahr 2010 an [UM 2005b].

**Status:** Der derzeitige Wert von 23 Mio. t/a liegt im Hinblick auf den zu erreichenden Zielwert von 18 Mio. t/a noch zu hoch.

**Trend:** Die Kohlendioxid-Emissionen des Verkehrs stiegen von 1994 bis 1999 an. Seit 2000 ist in Baden-Württemberg eine geringfügige Reduktion zu verzeichnen, die jedoch aufgrund ihrer Geringfügigkeit noch nicht als Trendumkehr interpretiert werden kann. Aufgrund steigender Fahrleistung wird der sinkende durchschnittliche Kraftstoffverbrauch überkompensiert. Im Bundesdurchschnitt ergibt sich für den Beobachtungszeitraum keine Trendwende.

**Datenquelle:** Länderarbeitskreis Energiebilanzen

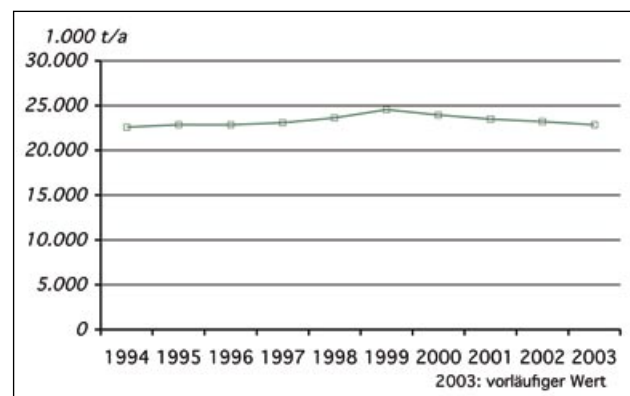


Abb. 1-4: Kohlendioxid-Emissionen des Verkehrs.

### GÜTERVERKEHRSLEISTUNG

**Definition:** Güterverkehrsleistung von Straßengüterverkehr, Eisenbahn und Binnenschifffahrt in Millionen Tonnenkilometern pro Jahr (Mio. tkm/a) und Anteil des Schienen- und Binnenschiffsverkehrs an der Güterverkehrsleistung in Prozent.

**Bedeutung:** Der Güterverkehr trägt zu Schadstoff- und Treibhausgasemissionen, zur Lärmbelastung, zu Flächenverbrauch und Landschaftszerschneidung bei. Dabei führt der Transport von Gütern auf der Schiene oder mit Binnenschiffen bei gleicher Verkehrsleistung zu geringeren Umweltbelastungen als der Transport auf der Straße.

**Ziel:** Die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie sieht für die Güterverkehrsleistung der Schiene eine Verdopplung bis 2015 bezogen auf 1997 vor, während die Verkehrsleistung der Binnenschifffahrt im gleichen Zeitraum um rund 40 % wachsen soll [BPA 2002].

**Status:** Aktuell liegt der Anteil des Schienen- und Binnenschiffsverkehrs trotz insgesamt steigender Güterverkehrsleistung bei nur 22 %.

**Trend:** Obwohl die Güterverkehrsleistung in Baden-Württemberg seit 1995 um 29 % gestiegen ist, nimmt der Anteil der Verkehrsleistung auf der Schiene und durch die Binnenschifffahrt weiter ab. Diese Veränderung verlief für das gesamte Bundesgebiet relativ parallel.

**Datenquelle:** Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

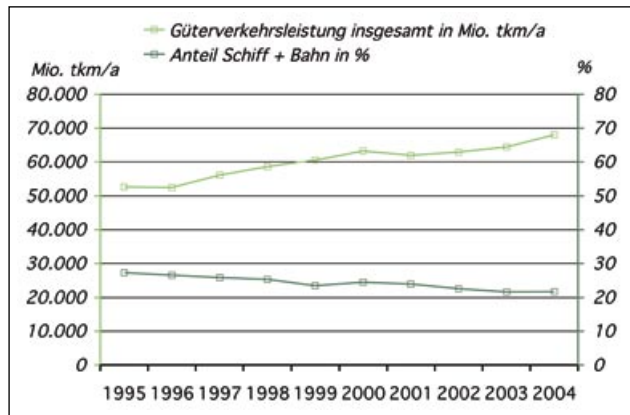


Abb. 1-5: Güterverkehrsleistung und Anteil Schienen- und Binnenschiffsverkehr.

## FLÄCHENVERBRAUCH

**Definition:** Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen (SVF) in Hektar pro Tag (ha/d) und Anteil der SVF an der Landesfläche in Prozent.

**Bedeutung:** Mit der Inanspruchnahme von Landwirtschafts- und Waldflächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke werden die ökologische Funktion des Bodens ebenso wie Lebensräume für Flora und Fauna beeinträchtigt. Sofern der Boden versiegelt wird, gehen die natürlichen Bodenfunktionen und Standorte für Flora und Fauna vollständig verloren. Der Bau von Verkehrswegen bedingt auch eine Landschaftszerschneidung (vgl. entsprechenden Indikator). Die Zunahme von Siedlungs- und Verkehrsfläche kann nicht gleichgesetzt werden mit der Zunahme der versiegelten Fläche, da zur Siedlungsfläche auch Haus- und Nutzgärten, Sportplätze oder Erholungsflächen gehören.

**Ziel:** Die Inanspruchnahme bislang unbebauter Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke soll laut Umweltplan bis 2010 deutlich zurückgeführt werden [UVM 2000].

**Status:** Die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche ist mit 8,8 ha/d derzeit auf niedrigem Niveau. Mit 13,7 % Siedlungs- und Verkehrsfläche an der Landesfläche zeigt Baden-Württemberg im Ländervergleich einen durchschnittlichen Anteil. Er liegt in den Flächenländern zwischen 8 und 21 %.

**Trend:** Obwohl die Zunahme der SVF seit 2001 eine fallende Tendenz zeigt, bleibt abzuwarten, ob es sich um eine

Trendumkehr handelt. Die Reduktion dürfte in hohem Maße aus der wirtschaftlichen Wachstumsschwäche und der niedrigen Baukonjunktur der letzten Jahre resultieren und ist somit nicht dauerhaft gesichert. Ebenso wie in Baden-Württemberg deutet sich in den letzten Jahren in Deutschland insgesamt eine Verlangsamung der Flächeninanspruchnahme an.

**Datenquelle:** Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

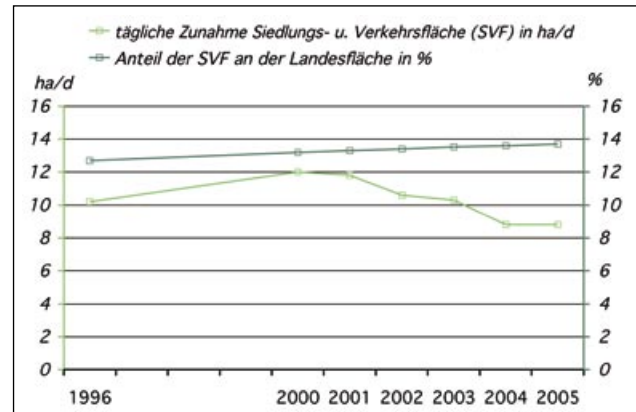


Abb. 1-6: Flächenverbrauch (bis 2000 Datenerhebung alle vier Jahre; jeweils zum 31.12. des Jahres).

## STICKSTOFF-ÜBERSCHUSS DER FLÄCHENBILANZ

**Definition:** Stickstoff-Überschuss der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Kilogramm pro Hektar und Jahr (kg/ha-a).

**Bedeutung:** Ein wichtiger Gradmesser für die Nachhaltigkeit der Landwirtschaft ist die Höhe des Stickstoffüberschusses. Stickstoff wird in der Landwirtschaft als Dünger eingesetzt. Der Überschuss auf der Landwirtschaftsfläche errechnet sich aus der Summe der Stickstoffeinträge über Dünger, der Stickstoffbindung durch Leguminosen und der atmosphärischen Deposition abzüglich der Stickstoffabfuhr vom Feld über Ernteprodukte. Ein hoher Stickstoffüberschuss aus der Flächenbilanz führt zu erhöhter Nitratkonzentration im Grundwasser und trägt zur Eutrophierung der Oberflächengewässer und Meere bei.

**Ziel:** Ein offizielles Ziel für die Flächenbilanz existiert nicht.

**Status:** Nachdem der Stickstoff-Überschuss 2001 und 2002 bereits unter 80 kg/ha-a gefallen war, ist er 2003 wieder auf 95 kg/ha gestiegen. Der neuerliche Anstieg ist vorrangig auf die infolge der Trockenheit verringerte Ernte und somit geringere Stickstoff-Abfuhr zurückzuführen. Bundesweit liegt der Wert seit 1990 im Mittel bei etwa 80 kg/ha-a [BEHRENDT ET AL. 2002]. Nach wissenschaftlichen Erkenntnissen ist im Hinblick auf den Gewässerschutz eine

Reduzierung des Stickstoff-Überschusses auf 50 kg/ha-a erforderlich [UBA 2005].

**Trend:** Die Werte schwanken zu stark, um einen Trend erkennen zu lassen.

**Datenquelle:** Umweltbundesamt; BACH 2006

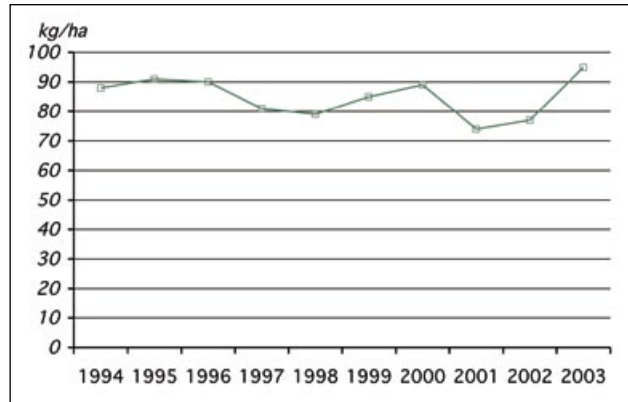


Abb. 1-7: Stickstoff-Überschuss der Flächenbilanz.

### LANDSCHAFTSZERSCHNEIDUNG

**Definition:** Mittlerer Zerschneidungsgrad des Landes, ausgedrückt durch die effektive Maschenweite ( $m_{eff}$ ) in Quadratkilometer ( $km^2$ ) und Anteil der unzerschnittenen verkehrsarmen Räume über  $100 km^2$  in Prozent der Landesfläche (mit Gemeindestraßen) [ESSWEIN ET AL. 2002]. Die effektive Maschenweite bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, mit der zwei Punkte (z. B. Tiere) nicht durch Hindernisse (z. B. Siedlungen, Straßen) getrennt sind. Je mehr Hindernisse vorhanden sind, umso kleiner wird die Wahrscheinlichkeit, umso kleiner wird die effektive Maschenweite.

**Bedeutung:** Die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche sowie der stetig wachsende Verkehr führen zu Verlust, Verkleinerung und zunehmender Zerschneidung der Lebensräume von Pflanzen und Tieren. Insbesondere Tierarten mit hohem Raumbedarf und großem Aktionsradius sind auf große unzerschnittene Lebensräume angewiesen. So sind große unzerschnittene Räume und vielfältige Lebensraumtypen wesentliche Voraussetzungen für den Erhalt der biologischen Vielfalt. Räume mit geringer Zersiedelung, Zerschneidung und Verlärmung stellen eine endliche Ressource dar, ihr Verlust ist meist irreversibel.

**Ziel:** Erhalt der in Baden-Württemberg vorkommenden Lebensraumtypen in ausreichender Größe und Qualität [UVM 2000].

**Status:** Die effektive Maschenweite hat mit  $13 km^2$  einen Tiefststand erreicht. Der aktuelle Anteil der unzerschnittenen verkehrsarmen Räume liegt derzeit bei 2,1 % an der Landesfläche. In Baden-Württemberg sind nach neusten

Daten 6 unzerschnittene Räume über  $100 km^2$  vorhanden.

**Trend:** Die effektive Maschenweite nahm aufgrund der weiteren Ausdehnung von Siedlungs- und Verkehrsflächen von Jahr zu Jahr ab. Hinsichtlich ihres Zerschneidungsgrades gibt es zwischen den verschiedenen Teilregionen jedoch große Unterschiede. So sind beispielsweise Tallagen und Ebenen wesentlich stärker zerschnitten als die für die Besiedlung in historischer Zeit ungünstigen Hochflächen.

**Datenquelle:** JAEGER ET AL. 2006

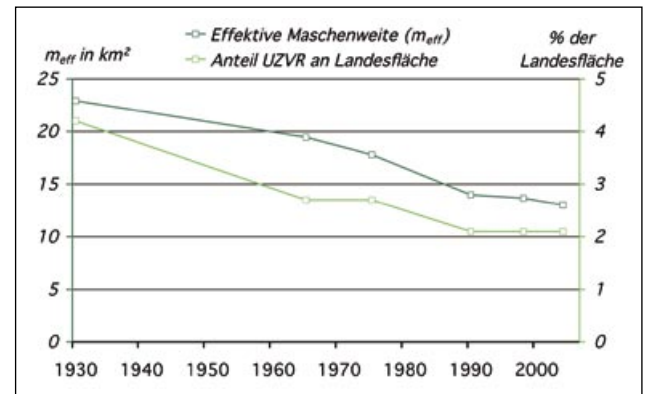


Abb. 1-8: Landschaftszerschneidung.

### ROHSTOFFPRODUKTIVITÄT

**Definition:** Verhältnis des Bruttoinlandprodukts zur Inanspruchnahme von nicht erneuerbaren Rohstoffen in 1 000 Euro pro Tonne (1 000 EUR/t).

**Bedeutung:** Die Gewinnung oder Nutzung von nicht erneuerbaren Rohstoffen wie Kohle, Erdöl, Erz oder Mineralien ist verbunden mit der Inanspruchnahme von Flächen, Belastungen von Böden und Gewässern sowie Schadstoff- und  $CO_2$ -Emissionen. Gleichzeitig sind die materiellen Reserven endlich und können knapp werden, was die wirtschaftliche und soziale Entwicklung negativ beeinflussen kann. Die Rohstoffproduktivität ist ein Maß dafür, wie materialintensiv eine Volkswirtschaft produziert.

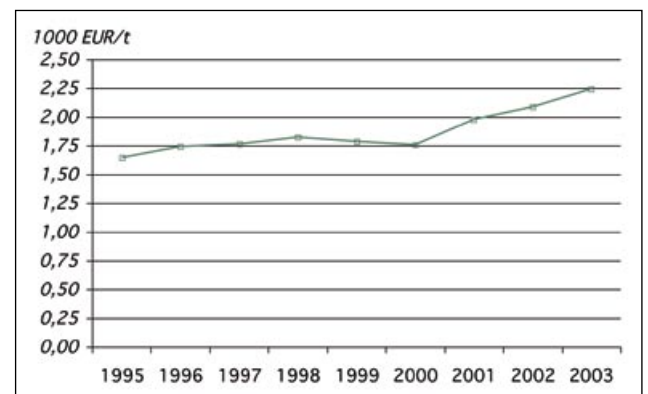


Abb. 1-9: Rohstoffproduktivität.

**Ziel:** Gemäß Umweltplan Baden-Württemberg soll der Verbrauch von Ressourcen zunehmend von der wirtschaftlichen Entwicklung abgekoppelt und schrittweise zurückgeführt werden. Dazu soll die Ressourceneffizienz bis zum Jahr 2010 deutlich gesteigert werden. [UVM 2000]

**Status:** Im Zeitraum 2000 bis 2003 ist die Rohstoffproduktivität deutlich um 28 % gestiegen.

**Trend:** Der Verbrauch an nicht erneuerbaren Rohstoffen koppelt sich weiter von der wirtschaftlichen Entwicklung ab, was bedeutet, dass mit Rohstoffen zunehmend produktiver umgegangen wird.

**Datenquelle:** AG Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder

### ENDENERGIEVERBRAUCH PRIVATER HAUSHALTE UND KLEINVERBRAUCHER

**Definition:** Endenergieverbrauch des Sektors „private Haushalte und Kleinverbraucher“ (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, übrige Verbraucher) in Terajoule ( $10^{12}$  Joule) pro Jahr (TJ/a).

**Bedeutung:** Der Endenergieverbrauch privater Haushalte und Kleinverbraucher stellt in Baden-Württemberg den größten Anteil des gesamten Endenergieverbrauchs dar. Die Endenergie wird in Form von Strom, Erdgas, Kohle oder Erdöl (darunter Heizöl oder Kraftstoffe) nach Umwandlung in Kraftwerken oder Raffinerien bereitgestellt und stammt zum überwiegenden Teil aus nicht erneuerbaren Energieträgern. Von Haushalten und anderen Kleinverbrauchern wird die Endenergie zum Heizen und Warmwasserbereiten sowie für Elektrogeräte und Beleuchtung genutzt.

**Ziel:** Im Klimaschutzkonzept 2010 strebt die Landesregierung eine Verbesserung der Energieeffizienz im gewerblichen und privaten Bereich an [UM 2005b].

**Status:** Der Endenergieverbrauch privater Haushalte und

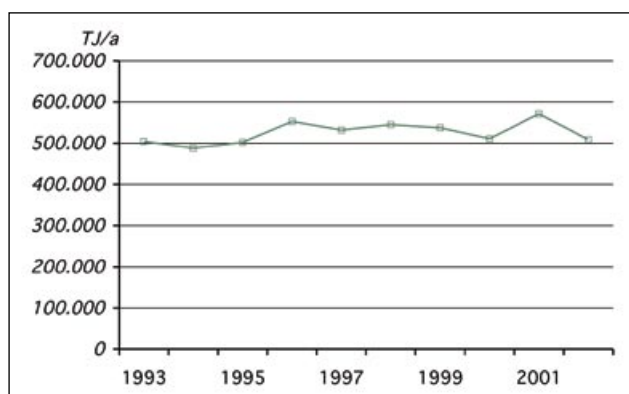


Abb. 1-10: Endenergieverbrauch privater Haushalte und Kleinverbraucher.

Kleinverbraucher liegt mit gut 500 000 TJ/a auf hohem Niveau. Wie auch bundesweit macht der Anteil dieser Verbrauchergruppe am gesamten Endenergieverbrauch knapp die Hälfte aus.

**Trend:** Für den Zeitraum von 1994 bis 2003 schwanken die Werte stark, so dass kein eindeutiger Trend zu erkennen ist.

**Datenquelle:** Länderarbeitskreis Energiebilanzen

### ABFALL UND VERWERTUNG

**Definition:** Aufkommen an ausgewählten Siedlungsabfällen (Haus- und Sperrmüll, Papier, Pappe, Karton, Behälterglas, Leichtverpackungen, Bioabfall) in Kilogramm pro Einwohner und Jahr (kg/E-a) und Verwertungsrate dieser Abfallfraktionen in Prozent.

**Bedeutung:** Das Abfallaufkommen ist Indikator für mehrere Problembereiche. Einerseits zeugt ein hohes Abfallaufkommen von einer wenig effizienten Nutzung von Ressourcen, was wiederum Einfluss auf den Ressourcenverbrauch und den damit einhergehenden Umweltauswirkungen hat. Andererseits ist die Entsorgung von Abfällen (Verwertung, Beseitigung, Transport) immer auch mit Stofffreisetzungen in die Umwelt verbunden. Die Verwertung von Abfällen kann auch zu Ressourcenschonung und Einsparung von Deponiefläche beitragen.

**Ziel:** Zielsetzung des Umweltplans Baden-Württemberg ist ein Rückgang der zu beseitigenden Abfälle aus privaten Haushalten und sonstigen Herkunftsbereichen [UVM 2000].

**Status:** Das Aufkommen ausgewählter Abfallfraktionen der Siedlungsabfälle ist mit 304 kg pro Einwohner unverändert hoch. Im Bundesvergleich ist der Wert jedoch am niedrigsten. Die Verwertungsrate von 52 % liegt in der Spanne der Werte anderer Bundesländer.

**Trend:** Seit Jahren bewegen sich die Abfallmengen auf gleich bleibendem Niveau. Auch wenn die Verwertungsra-

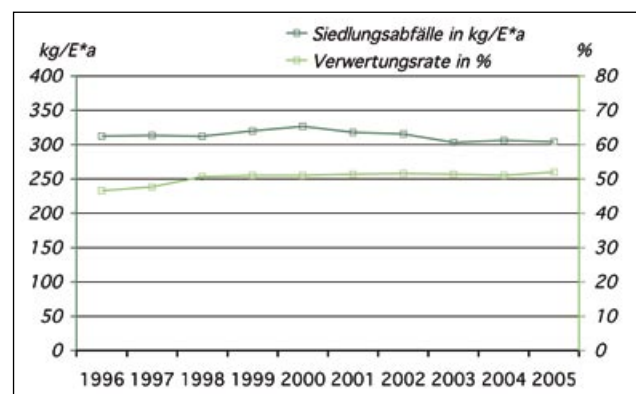


Abb. 1-11: Ausgewählte Siedlungsabfallfraktionen und Verwertungsrate.

te zunächst in den 1990er Jahren beachtliche Anstiege zu verzeichnen hatte, stagniert sie seit dem Jahr 1999.

**Datenquelle:** Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

### UMWELTMANAGEMENT

**Definition:** Anteil der Beschäftigten in EMAS-geprüften Organisationen an der Gesamtzahl der Erwerbstätigen im Bundesland in Prozent.

**Bedeutung:** Unternehmen und Organisationen, die nach dem europäischen Umweltmanagementstandard EMAS (Eco Management and Audit Scheme) geprüft sind, verpflichten sich freiwillig, den betrieblichen Umweltschutz kontinuierlich zu verbessern. Damit verbunden sind die Reduktion des Ressourcenverbrauchs sowie die Verminderung von Umweltbelastungen durch betriebliche Aktivitäten. Zu berücksichtigen ist, dass hier nur EMAS-geprüfte Organisationen erfasst sind. Zu den Beschäftigtenzahlen in Unternehmen, die ein Umweltmanagement nach ISO 14 001 eingeführt haben, liegen keine mehrjährigen Datenreihen vor.

**Ziel:** Laut Umweltplan wird ein möglichst hoher Anteil von Beschäftigten in EMAS-geprüften Organisationen angestrebt [UVM 2000].

**Status:** In Baden-Württemberg liegt der Anteil der Beschäftigten in EMAS-geprüften Betrieben gemessen an den Erwerbstätigen des Landes bei 3,9 %, was rund 200 000 Beschäftigten entspricht. Insgesamt sind in Deutschland mehr als 1 Mio. Menschen in EMAS-validierten Organisationen beschäftigt. Dies entspricht ca. 2,5 % der deutschen Erwerbstätigen [UGA 2005].

**Trend:** Im Betrachtungszeitraum ist nach der Zunahme bis 1999 wieder ein Rückgang zu verzeichnen. Eine eindeutige Trendbewertung ist nicht möglich.

**Datenquelle:** Industrie- und Handelskammern, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder

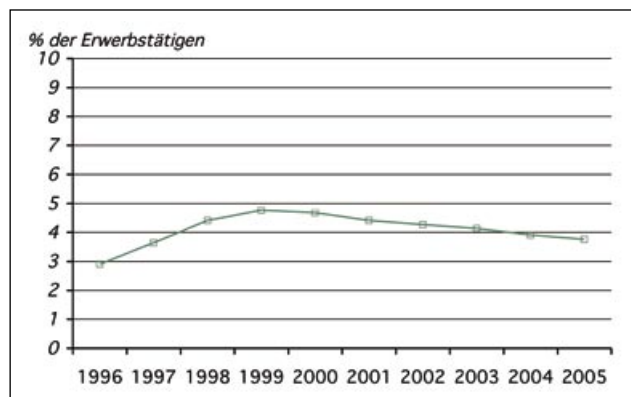


Abb. 1-12: Anteil der Beschäftigten in EMAS-geprüften Unternehmen.

### ÖKOLOGISCHE LANDWIRTSCHAFT

**Definition:** Anteil der Flächen mit ökologischer Landwirtschaft nach EG-Öko-Verordnung an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche in Prozent.

**Bedeutung:** Der ökologische Landbau unterstützt in der Regel Naturschutzziele. Der Verzicht auf chemisch synthetische Dünge- und Pflanzenschutzmittel, die Begrenzung der Viehbesatzdichte, eine an den Standort angepasste Bewirtschaftung und vielfältige Fruchtfolgen führen zu Strukturereichtum auf den Wirtschaftsflächen bzw. in den Landschaftsräumen. Eine höhere Artenvielfalt auf ökologisch bewirtschafteten Flächen kann die Folge sein. Der ökologische Landbau ist außerdem durch artgerechtere Tierhaltungsverfahren gekennzeichnet.

**Ziel:** Ziel der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie ist es, den Anteil des ökologischen Landbaus an der landwirtschaftlich genutzten Fläche bis 2010 auf 20 % zu steigern [BPA 2002].

**Status:** In Baden-Württemberg wurden 2005 6 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche ökologisch bewirtschaftet. Bundesweit war 2005 ein Flächenanteil von 4,7 % erreicht [ZMP 2006].

**Trend:** Der Anteil ökologisch bewirtschafteter Flächen in Baden-Württemberg hat sich im Betrachtungszeitraum verdoppelt. Damit folgt Baden-Württemberg dem Trend in allen anderen Bundesländern.

**Datenquelle:** Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

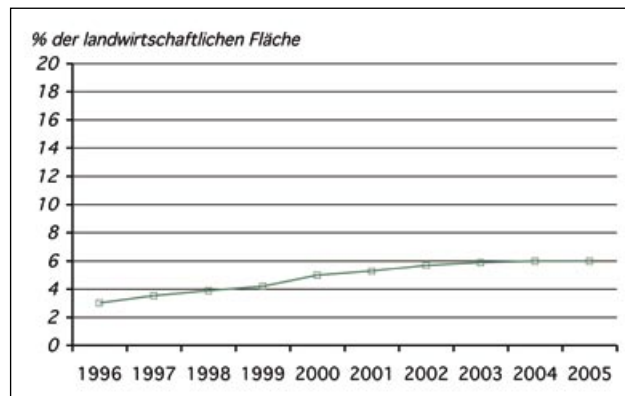


Abb. 1-13: Anteil ökologischer Landwirtschaft.

### BODENNAHES OZON

**Definition:** Anzahl der Stunden pro Jahr (h/a) mit Überschreitungen des Stundenmittelwertes für Ozon von 180 µg/m<sup>3</sup> Luft an den Messstationen in städtischer und vorstädtischer Lage.

**Bedeutung:** Bodennahes Ozon entsteht im Sommer bei starker Sonneneinstrahlung aus Vorläufersubstanzen wie

Stickstoffoxiden und Kohlenwasserstoffen. Ozon ist ein sehr reaktives Gas und zudem ein starkes Oxidationsmittel. Es kann Gesundheitsbeeinträchtigungen wie Reizungen der Atemwege, Befindlichkeitsstörungen oder Leistungseinbußen hervorrufen.

**Ziel:** Bei einer Überschreitung von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als 1-Stunden-Mittelwert sind gemäß der 33. BImSchV die Bevölkerung zu informieren und Verhaltensempfehlungen auszusprechen. Die Landesregierung strebt eine Minderung der Ozonbelastung an [UVM 2000].

**Status:** Im Jahr 2005 wurde der Warnwert von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Mittel an den Messstationen in städtischer und vorstädtischer Lage für 17 Stunden überschritten.

**Trend:** Die starken, witterungsbedingten jährlichen Schwankungen lassen keinen eindeutigen Trend erkennen. Bedingt durch die Emissionen der Vorläufersubstanzen ist weiterhin ein großes Potenzial zur Bildung von Ozon vorhanden. Der hohe Wert für 2003 ist durch den extrem warmen Sommer zu erklären.

**Datenquelle:** Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

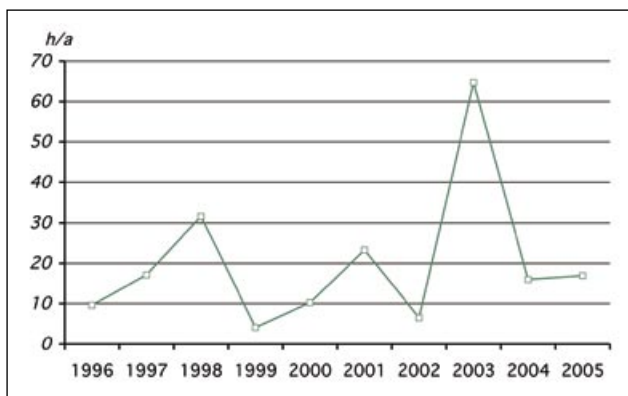


Abb. 1-14: Summe der Stunden einer Ozonkonzentration größer  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### STICKSTOFFDIOXID-IMMISSIONEN

**Definition:** Jahresmittelwerte von Stickstoffdioxid an städtischen verkehrsbeeinflussten Stationen in Mikrogramm pro Kubikmeter Luft ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**Bedeutung:** Stickstoffdioxid entsteht vornehmlich bei Verbrennungsprozessen in Anlagen und Motoren. Es hat besonders als Reizgas gesundheitliche Relevanz, trägt aber auch zu saurem Regen, zur Eutrophierung empfindlicher Ökosysteme, zur Bildung von bodennahem Ozon sowie zur Bildung sekundärer Aerosolpartikel bei. Stickstoffdioxid kann über größere Entfernungen transportiert werden und ist auch in emissionsarmen Gebieten noch in mess-

baren Konzentrationen vorhanden. Hauptemittent ist der Kraftfahrzeugverkehr.

**Ziel:** Zum Schutz der menschlichen Gesundheit darf laut 22. BImSchV ab 2010 der Immissionsgrenzwert für  $\text{NO}_2$  (gemittelt über ein Kalenderjahr)  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Luft nicht überschritten werden.

**Status:** Der Messwert liegt an den verkehrsbeeinflussten städtischen Standorten in Baden-Württemberg im Mittel bei  $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und damit deutlich über dem ab 2010 gültigen Grenzwert.

**Trend:** Der Jahresmittelwert zeigt an den verkehrsbeeinflussten städtischen Stationen derzeit kaum eine Abnahme. Setzt sich dieser Trend fort, wird der Grenzwert im Jahre 2010 nicht eingehalten werden können.

**Datenquelle:** Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

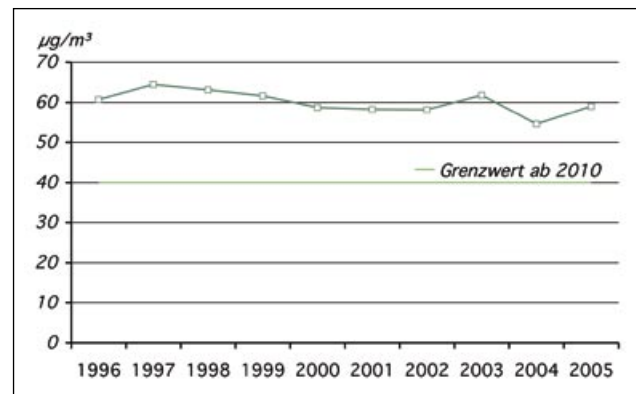


Abb. 1-15: Stickstoffdioxid-Immissionen.

### FEINSTAUB-IMMISSIONEN

**Definition:** Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittelwertes der Schwebstaubfraktion  $\text{PM}_{10}$  von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an verkehrsbeeinflussten Messstationen.

**Bedeutung:** Schwebstäube werden primär durch menschliche Aktivitäten wie Verkehr (Dieselruß, Reifenabrieb, Bremsabrieb) oder Feuerungsanlagen (Öl-, Kohle-, Holzfeuerung) sowie natürlich, z. B. durch Bodenerosion und Seesalz erzeugt. Zum anderen erfolgt die Bildung sekundär aus Vorläufersubstanzen in der Luft wie z. B. organische Verbindungen, Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid und Ammoniak.

Die Fraktion des Schwebstaubs, die kleiner als  $10 \mu\text{m}$  ist, macht einen Großteil der Masse des Gesamtstaubs aus. Dieser Fraktion kommt besondere Bedeutung zu, da solch kleine Partikel bis in die Lunge gelangen und so zu Bronchitis und Atemwegssymptomen führen können sowie allergische Reaktionen begünstigen.



**Ziel:** Zum Schutz der menschlichen Gesundheit darf laut 22. BImSchV seit 2005 bei  $PM_{10}$  der Tagesmittelwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Luft an nicht mehr als 35 Tagen pro Kalenderjahr überschritten werden. Das Land strebt eine Verminderung der lungengängigen Feinstaub-Emissionen an [UVM 2000].

**Status:** Die Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittelwertes für Feinstaub-Immissionen an verkehrbeeinflussten Messstationen von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lagen 2005 im Mittel bei 48. (Bis zum 31.05.2006 wurde die zulässige Überschreitungshäufigkeit bereits an 16 von 29 Spotmessstationen in 2006 überschritten)

**Trend:** Seit Beginn der Messungen 2002 unterliegen die Überschreitungshäufigkeiten witterungsbedingt erheblichen räumlichen und zeitlichen Schwankungen.

**Datenquelle:** Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

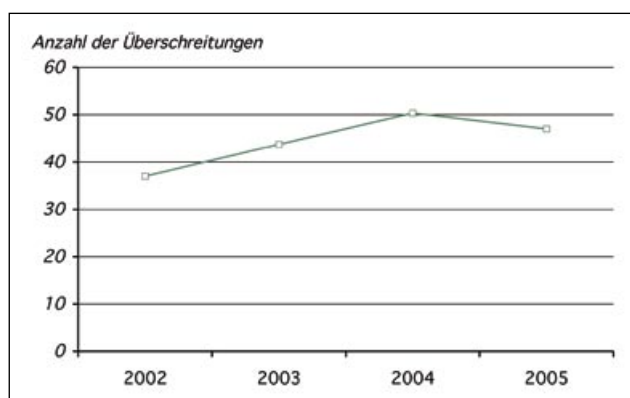


Abb. 1-16: Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittelwerts von  $PM_{10}$  von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### NITRATGEHALT DES GRUNDWASSERS

**Definition:** Anteil der Messstellen mit einem Nitratgehalt größer 25 bzw. 50 Milligramm pro Liter (mg/l). Betrachtet wird eine Auswahl von 80 Messstellen.

**Bedeutung:** Die Hauptursache für die erhöhten Nitratgehalte im Grundwasser ist die landwirtschaftliche Düngung. Die menschliche Gesundheit kann durch zu hohe Nitratgehalte im Trinkwasser beeinträchtigt werden. So besteht für Säuglinge die Gefahr der Blausucht oder es kann zur Bildung von krebserregenden Nitrosaminen kommen.

**Ziel:** Laut EU-Wasserrahmenrichtlinie ist ab Nitratkonzentrationen über 50 mg/l das Grundwasser in einem „schlechten Zustand“. Flächendeckend soll gemäß Umweltplan Baden-Württemberg eine hohe Grundwasserqualität sichergestellt werden [UVM 2000].

**Status:** Für die Feststellung einer flächendeckend hohen Grundwasserqualität in Baden-Württemberg ist der Anteil

der Messstellen über 50 mg/l mit 7,4 % im Jahr 2004 zu hoch. Allerdings hat der Anteil der Messstellen mit niedrigen Nitratkonzentrationen (kleiner 25 mg/l) zugenommen. Bundesweit liegen die Werte deutlich höher: bei über der Hälfte der Messstellen werden über 50 mg/l und bei etwa 90 % über 25 mg/l Nitrat gemessen [UBA 2006b].

**Trend:** Seit 2001 zeigt der Anteil der Messstellen in Baden-Württemberg mit Nitratgehalten über 25 mg/l einen Rückgang. Der Anteil mit Gehalten über 50 mg/l beharrt nach der Belastungsabnahme gegenüber der Situation am Anfang der 1990er Jahre auf gleich bleibendem Niveau.

**Datenquelle:** Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

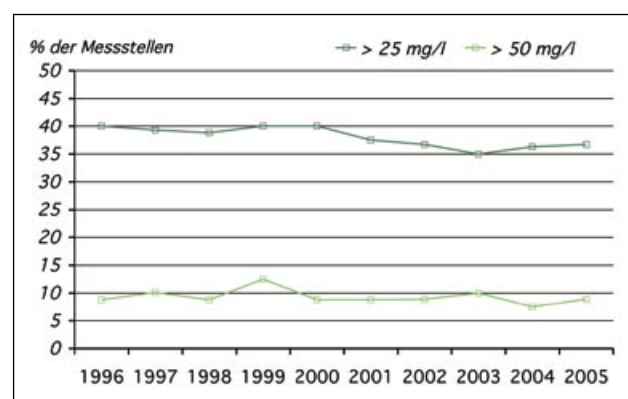


Abb. 1-17: Nitratgehalt im Grundwasser.

### BIOLOGISCHE GEWÄSSERGÜTE

**Definition:** Anteil der Fließgewässerstrecke, die die Gewässergüteklasse II oder besser erreicht hat in Prozent.

**Bedeutung:** Bei der Fließgewässerüberwachung dient die biologische Gewässergüte als Leitparameter, um Handlungsbedarf und Sanierungserfolge in der Abwasserreinigung zu dokumentieren. Die biologische Gewässergüte indiziert die Belastung der Fließgewässer mit leicht abbaubaren organischen Stoffen und den daraus resultierenden Sauerstoffhaushalt. Sie wird auf der Basis der tierischen Besiedlung des Gewässers bestimmt. Die Einteilung der Gewässergüte erfolgt bundesweit in sieben Klassen.

**Ziel:** Biologische Gewässergüteklasse II oder besser. Dies ist neben morphologischen, hydrologischen und chemischen Güteparametern eine Voraussetzung, um den laut EU-Wasserrahmenrichtlinie geforderten guten chemischen und ökologischen Zustand zu erreichen [WRRL 2000].

**Status:** Mit 87 % hat ein hoher Anteil der Fließgewässerstrecke die Gewässergüteklasse II oder besser erreicht.

**Trend:** Der Anteil der Fließgewässerstrecken mit Güteklasse II oder besser steigt aufgrund verbesserter Abwasserreinigung und Regenwasserbehandlung kontinuierlich

an. Dieser Trend zeigt sich in allen Bundesländern, für die entsprechende Erhebungen vorliegen.

**Datenquelle:** Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

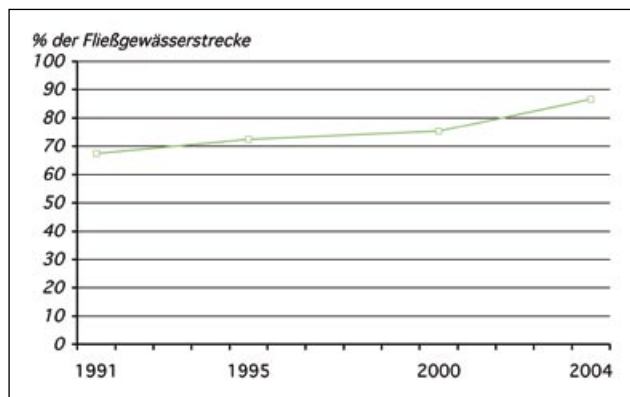


Abb. 1-18: Biologische Gewässergüteklasse II oder besser.

## NATURSCHUTZFLÄCHEN

**Definition:** Anteil der bundeseinheitlich nach Naturschutzrecht streng geschützten Gebiete (Naturschutzgebiete, Nationalparke, Biosphärenreservate/Biosphärengebiete) an der Landesfläche in Prozent.

**Bedeutung:** Die Ausweisung von Naturschutzgebieten, Nationalparks und Biosphärengebieten verfolgt das Ziel, ausreichend große Flächen zu schaffen, auf denen sich die Natur weitgehend ohne belastende Eingriffe des Menschen entfalten kann. Dies ist Voraussetzung, um die biologische Vielfalt nachhaltig zu sichern.

**Ziel:** Auch weiterhin sollen besonders wertvolle und schutzbedürftige Flächen als Naturschutzgebiete (und Naturdenkmale) ausgewiesen werden [UVM 2000].

**Status:** Der Anteil der Naturschutzflächen an der Landesfläche ist mit 2,3 % im Vergleich zum Bundeswert von 3,2 % [BFN 2006, Stand 12/2004] gering.

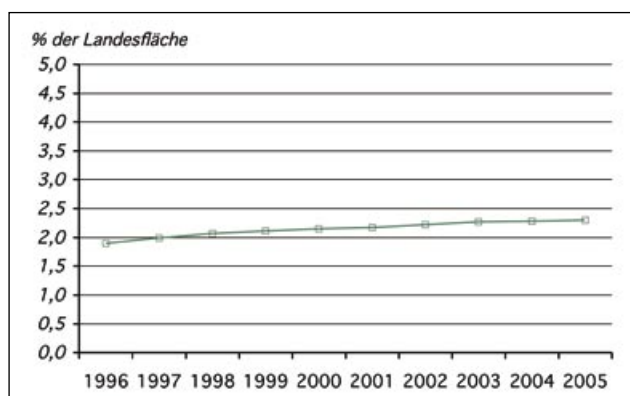


Abb. 1-19: Naturschutzflächen.

**Trend:** Im betrachteten Erhebungszeitraum hat sich der Anteil der Naturschutzflächen an der Landesfläche um rund ein Fünftel erhöht. Durch die geplante Ausweisung eines Biosphärengebiets auf der Schwäbischen Alb ist eine weitere Steigerung in Aussicht.

**Datenquelle:** Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

## WALDZUSTAND

**Definition:** Anteil der deutlich geschädigten Bäume der Stufe 2 und höher (Kombinationsschadstufe 2-4) in Prozent.

**Bedeutung:** Ein gesunder Wald ist für eine nachhaltige Rohstoffversorgung und den Naturhaushalt von wachsender Bedeutung. Für die Waldschäden lässt sich nicht ein einzelner Faktor als Ursache verantwortlich machen. Einerseits wirken z. B. Luftschadstoffe direkt auf den Baum ein, andererseits führt aber z. B. die Bodenversauerung indirekt zu einer Schädigung. Auch die Witterung, wie der extrem trockene Sommer 2003, hat Einfluss auf den Vitalitätszustand der Bäume. Als Weiser für den Vitalitätszustand dient der Kronenzustand. Für die Schadstufenermittlung werden der Nadel-/Blattverlust sowie die Gelbfärbung zu einer Kombinationsschadstufe zusammengefasst. Die Bewertung erfolgt in fünf Kombinationsschadstufen (0 = ungeschädigt bis 4 = abgestorben). Schwankungen des Nadel-/Blattverlustes und der Gelbfärbung, die in die Kombinationsschadstufe 1 fallen, werden als natürlich und standortbedingt angesehen.

**Ziel:** Die Kombinationsschadstufen 2 und schlechter sollten nicht belegt sein. Die Schadstufe 0 wird als Idealzustand, die Schadstufe 1 als Vorwarnstufe angesehen.

**Status:** Der Anteil der deutlich geschädigten Waldfläche (Schadstufen 2 – 4) hat 2005 mit 43 % den höchsten

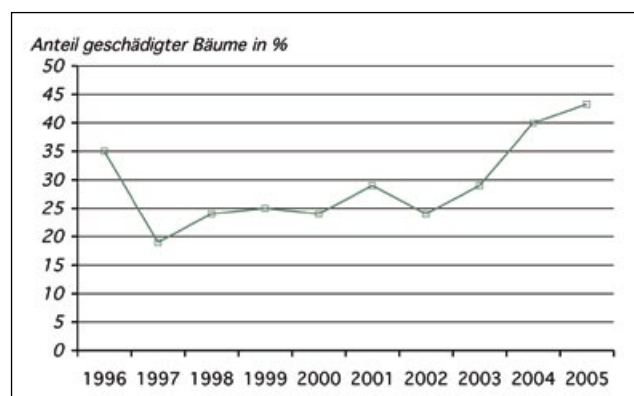


Abb. 1-20: Anteil deutlich geschädigter Bäume.

Stand in der bisherigen Waldschadenserhebung in Baden-Württemberg seit 1983 erreicht. Im Vergleich zu anderen Bundesländern hat sich der Zustand des Waldes in Baden-Württemberg seit 1990 verschlechtert. Die Verschlechterung kann auf die extrem ungünstigen klimatischen Bedingungen und Schadstoffbelastungen zurückgeführt werden. *Trend:* Über den bewerteten Untersuchungszeitraum hinweg zeigt der Anteil deutlich geschädigter Waldfläche, insbesondere seit 1997, eine deutliche Zunahme von 24 Prozentpunkten.

*Datenquelle:* Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

## INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Umweltplan Baden-Württemberg:

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

Nachhaltigkeitsbeirat Baden-Württemberg:

<http://www.nachhaltigkeitsbeirat-bw.de>

Deutscher Umweltindex DUX:

<http://www.uba.de/dux/dux.htm>

Umwelt-Kernindikatorensetz des Umweltbundesamtes:

<http://www.env-it.de/umweltdaten/>

Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft für Nachhaltige Entwicklung:

<http://www.blak-ne.de>

Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder:

<http://www.ugrdl.de/>

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg:

<http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/UmweltVerkehr/Landesdaten/>

Faltblatt Daten zur Umwelt – Umweltindikatoren

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/10083/>

Leitfaden Indikatoren im Rahmen einer Lokalen

Agenda 21:

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/2170/>

## 1.2 UMWELT UND WIRTSCHAFT

Im Kapitel „Umwelt und Wirtschaft“ geht es vor allem darum, die ökonomische Bedeutung des Umweltschutzes näher abzubilden: Was kostet der Umweltschutz die baden-württembergische Industrie? Welche Einnahmen sind mit der Produktion von Umweltschutzgütern und umweltbezogenen Dienstleistungen verbunden? Wie hoch lassen sich ökologische Beschäftigungseffekte beziffern? Und schließlich: Wie viele Unternehmen setzen eigentlich systematisch Umweltschutzziele in ihrem Betrieb um?

### 1.2.1 AUSGABEN FÜR DEN UMWELTSCHUTZ

Ein wichtiger Anhaltspunkt für die Umweltschutzanstrengungen der baden-württembergischen Wirtschaft sind die umweltbezogenen Investitionen des produzierenden Sektors und hier insbesondere des verarbeitenden Gewerbes. Sie werden bei Unternehmen mit mehr als 20 Beschäftigten jährlich erhoben und lassen sich deshalb statistisch nachzeichnen (für Dienstleistungs- und Landwirtschaftsbetriebe liegen ebenso wie für Betriebe mit weniger als 20 Beschäftigten keine Ergebnisse vor). Um die Aussagekraft des Indikators zu erhöhen, sind in der amtlichen Statistik außer den additiven und produktbezogenen Maßnahmen seit 2003 auch (wieder) Investitionen für den integrierten Umweltschutz enthalten. Darunter fallen insbesondere solche Anlagen, die in Teilen zwar dem Umweltschutz, als Ganzes jedoch anderen allgemeinen Produktionszwecken dienen (beispielsweise eine Metallfräsmaschine mit Kreislaufführung des Kühlwassers). Zur Abgrenzung: Additive, also nachgeschaltete Techniken lassen sich i.d.R. klar vom übrigen Produktionsprozess trennen (z. B. Abluftfilter oder Lärmschutzwand) und damit eindeutig dem Umweltschutz zuordnen. Ebenfalls zu berücksichtigen ist, dass sich die angegebenen Investitionen nur auf die „klassischen“ Bereiche des Gewässerschutzes, der Luftreinhaltung und Lärmbekämpfung, der Abfallwirtschaft, des Naturschutzes und der Bodensanierung beziehen. Maßnahmen zum allgemeinen Ressourcen- und Klimaschutz, die auch in der Wirtschaft zunehmende Bedeutung erlangen, sind bislang nicht einbezogen.

Im Jahr 2004 haben in Baden-Württemberg 784 Betriebe des verarbeitenden Gewerbes (einschließlich Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden) Investitionen in Höhe von 187 Mio. Euro für den Umweltschutz gemeldet. Das sind rund 11,2 % der Gesamtinvestitionen und im Vergleich zum Vorjahr deutlich weniger Ausgaben. Allerdings zeigt

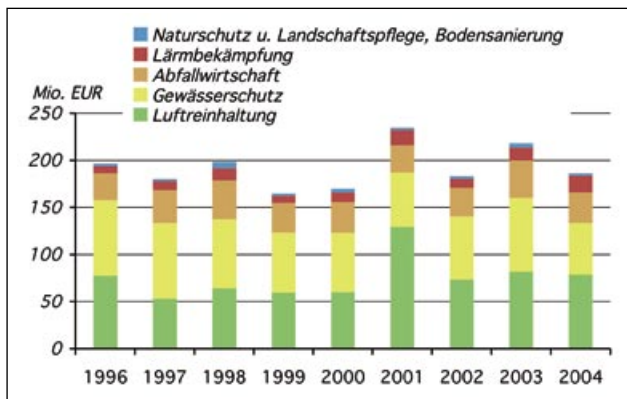


Abb. 1-21: Umweltschutzinvestitionen im verarbeitenden Gewerbe (einschl. Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden) in Baden-Württemberg nach Bereichen. Quelle: Statistisches Landesamt 2006

die zeitliche Entwicklung seit 1996 generell große Schwankungen. Bereichsbezogen überwiegen mit einem Anteil von 42 % Investitionen in die Luftreinhaltung. Gewässerschutzrelevante Maßnahmen machen 29 % und abfallbezogene rund 18 % der Umweltschutzinvestitionen aus (Abb. 1-21).

Neben den Investitionen in Sachanlagen lassen sich auch noch Aussagen zu den laufenden Umweltschutzausgaben für den Betrieb eigener Umweltschutzeinrichtungen (z. B. Personalkosten, Hilfs- und Betriebsstoffe etc.) sowie für andere Umweltschutzmaßnahmen (z. B. Gebühren und Beiträge) und Fremdleistungen treffen. Sie lagen in Baden-Württemberg im gesamten produzierenden Sektor (verarbeitendes Gewerbe und Energieerzeugung) im Jahr 2003 bei rund 1,3 Mrd. Euro und betragen damit ein Vielfaches der eigentlichen Investitionssumme. Allerdings handelt es sich nur um hochgerechnete Ergebnisse aus einer bundesweiten Statistik, die auf Stichprobenerhebungen bei ausgewählten Unternehmen beruht.

### 1.2.2 WIRTSCHAFTSAKTOR UMWELTSCHUTZ

Positive wirtschaftliche Effekte entstehen durch die Produktion und die Nachfrage von Umweltschutzgütern bzw. -dienstleistungen. Nach den Zwischenergebnissen einer laufenden Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) hat Deutschland im Jahr 2003 potenzielle Umweltschutzgüter im Wert von 35 Mrd. US-Dollar ins Ausland geliefert. Mit einem Welthandelsanteil von knapp 19 % haben deutsche Unternehmen als „Exportweltmeister“ damit erstmals seit 1992 wieder international die Nase vorn, gefolgt von den USA und Japan. Der größte Anteil der Exporte entfällt dabei auf Produkte der Mess-, Steuer- und Regeltechnik (z. B. Geräte zum Messen der Wärmemenge).

Gewisse Einblicke in die Bedeutung und Struktur des Umweltschutzmarktes ermöglicht seit einigen Jahren auch die Statistik zu Umsätzen mit umweltbezogenen Waren, Bau- und Dienstleistungen. Erfasst werden hier allerdings nur solche Erzeugnisse und Dienstleistungen, die ausschließlich dem Umweltschutz dienen. Wegen methodischer Abgrenzungsprobleme nicht enthalten sind Umsatzerlöse aus der Herstellung und dem Verkauf sog. multifunktionaler Güter, also solcher Produkte, die auch für andere Zwecke als den Umweltschutz eingesetzt werden können. Ebenfalls ausgeklammert bleiben Produkte aus den Bereichen Energieeinsparung, Ressourcenschutz, der Nutzung alternativer Energien (insbesondere Solar- und Windenergie) sowie Dienstleistungen der Entsorgungswirtschaft. Insofern beleuchten die vorliegenden Ergebnisse nur einen relativ engen Teilbereich des Umweltschutzmarktes. Im Zuge der Novellierung des Umweltstatistikgesetzes ist aber vorgesehen, die Erhebungsgrundlage um den zunehmend wichtigen Bereich der erneuerbaren Energien und der Ressourcenschonung (auch bei den umweltbezogenen Investitionen) zu erweitern.

Im Jahr 2004 summierten sich die Umsätze mit Wirtschaftsgütern für den Umweltschutz in Baden-Württemberg (bei 661 Unternehmen) auf annähernd 2,2 Mrd. Euro. Der größte Teil davon wurde im Inland erlöst. Die Exportquote ist jedoch seit Ende der 1990er Jahre auf mehr als 30 % angestiegen. Als eindeutiger Schwerpunkt ist der Absatz von Waren überwiegend bei Betrieben des verarbeitenden Gewerbes mit einem Anteil von 76 % (1,6 Mrd. Euro) auszumachen. Auf Bauleistungen entfielen mit 305 Mio. Euro rund 14 %. Die Erträge aus Dienstleistungen betrugen 215 Mio. Euro bzw. 10 % (Abb. 1-22).

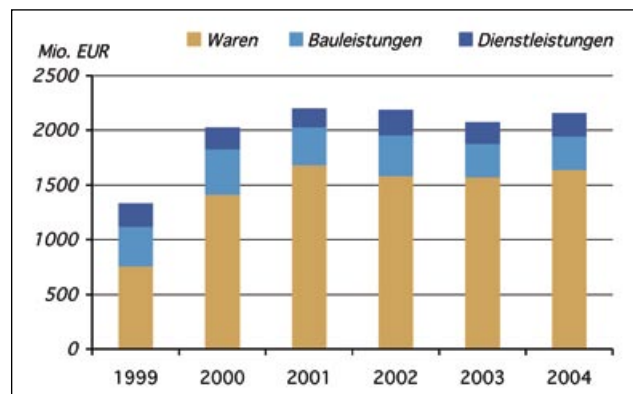


Abb. 1-22: Umsätze mit Waren, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz von Betrieben in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt 2006

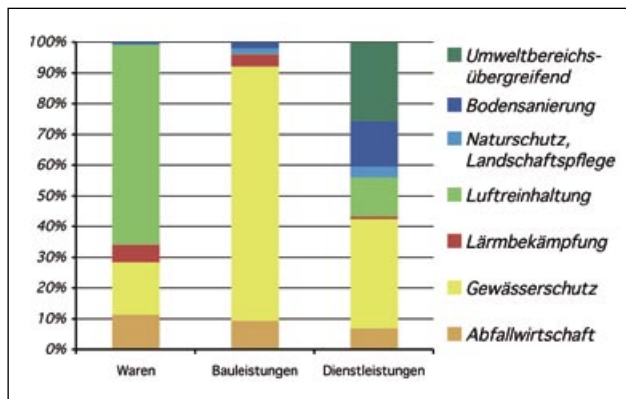


Abb. 1-23: Umsätze mit Waren, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz von Betrieben in Baden-Württemberg 2004 nach Bereichen. Quelle: Statistisches Landesamt 2006

Deutliche Unterschiede ergeben sich beim Einsatzzweck: Während die Warenumsätze zu 65 % mit Produkten zur Luftreinhaltung (vorrangig Abgasreinigungsanlagen für Fahrzeuge) erzielt wurden, beruhen die Bauleistungen fast ausschließlich (83 %) und Dienstleistungen zu einem großen Teil (36 %) auf gewässerschutzrelevanten Projekten (z. B. den Bau oder die Sanierung von Abwasserleitungen oder Regenrückhaltebecken). Produkte und Dienstleistungen im Bereich Abfallwirtschaft erlangen mit einem Anteil von insgesamt knapp 11 % in allen drei Sparten eine gewisse Bedeutung. Bei den Dienstleistungen haben zudem Maßnahmen der Bodensanierung (15 %) und bereichsübergreifende Vorhaben in Form von Gutachten, Analysen oder Beratungen (26 %) einen höheren Stellenwert (Abb. 1-23).

### 1.2.3 UMWELTRELEVANTE BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE

Wenn Umweltschutzgüter produziert oder eigene Umweltmaßnahmen durchgeführt werden, sind damit positive Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt verbunden: Nach einer Untersuchung im Auftrag des UBA hingen im Jahr 2002 schätzungsweise 1,5 Mio. Arbeitsplätze in Deutschland vom Umweltschutz ab. Das entspricht 3,8 % aller Erwerbstätigen. Rund zwei Drittel der Arbeitsplätze (949 000) lassen sich dabei umweltorientierten Dienstleistungen zurechnen. Damit partizipiert die Umweltschutzwirtschaft an dem allgemeinen Trend zur Dienstleistungsgesellschaft. 346 000 Erwerbstätige sind mit der Erstellung von Umweltschutzgütern beauftragt (davon 47 000 durch Auslandsnachfrage). Und knapp 120 000 Beschäftigte gehen auf das Konto erneuerbarer Energien. Das UBA wertet die Zahlen als Untergrenze der tatsächlichen Beschäftigungssituation.

So wurden wegen unsicherer Datengrundlagen für einige Bereiche (z. B. Ökotourismus, umweltorientierte Versicherungsdienstleistungen, integrierter produktionstechnischer Umweltschutz) keine Beschäftigtenzahlen ermittelt.

Da die angeführte Abschätzung keine regionalisierten Angaben für die Bundesländer zulässt, hat das Umweltministerium Baden-Württemberg das Institut für Angewandte Wirtschaftsforschung (IAW) in Tübingen mit Berechnungen für die Landesebene beauftragt (Forschungsprojekt „Beschäftigungseffekte des Umweltschutzes in Baden-Württemberg“). Nach ersten vorläufigen Ergebnissen waren in Baden-Württemberg im Jahr 2004 über 98 000 Erwerbstätige und damit 2,7 % aller Beschäftigten mit umweltbezogenen Tätigkeiten befasst. Davon entfallen 41 % auf das Verarbeitende Gewerbe. Das Baugewerbe kommt auf einen Anteil von 6 %, Land- und Forstwirtschaft erreichen zusammen mit der Energie- und Wasserversorgung 7%. Die restlichen 45 % verteilen sich auf einzelne Dienstleistungssektoren und den Handel (Tab. 1-1)

Tab. 1-1: Umweltschutzinduzierte Beschäftigung im Jahr 2004 in Baden-Württemberg. Quelle: IAB-Betriebspanel 2005, Auswertung des IAW Tübingen

Wirtschaftsbereich *)	Umweltschutzbeschäftigte	Anteil
Land- und Forstwirtschaft, Energie- und Wasserversorgung	6.900	7%
Verarbeitendes Gewerbe	40.400	41%
Baugewerbe	6.100	6%
Handel und Reparatur	6.300	6%
Verkehr und Nachrichtenübermittlung	8.400	9%
Unternehmensnahe Dienstleistungen	16.200	16%
Sonstige Dienstleistungen	14.100	14%
Insgesamt	98.400	100%

\*) ohne Kredit- und Versicherungsgewerbe, öffentliche Verwaltung sowie Organisationen ohne Erwerbscharakter

Die Berechnung basiert auf einer Auswertung des aktuellen Betriebspanels des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB). In der letzten Befragungswelle wurde bei den auskunftspflichtigen Unternehmen erstmals auch für Baden-Württemberg in repräsentativem Umfang der Anteil von Umweltschutzgütern am betrieblichen Umsatz abgefragt. Ausgehend vom Gesamtumsatz und der jeweiligen Erwerbstätigenzahl lassen sich daraus Rückschlüsse auf die dem Umweltschutz zuzurechnenden Beschäftigten ziehen. Ausgenommen waren allerdings die Kredit- und Versicherungswirtschaft, öffentliche Verwaltungen und Organisationen ohne Erwerbscharakter. Insofern ist auch hier von einer gewissen Unterschätzung der tatsächlichen Beschäftigungswirkung auszugehen. Um diese Lücke zu füllen, wertet das IAW ergänzend eine selbst durchgeführte

Verbandsbefragung zur umweltschutzinduzierten Beschäftigung aus. Die endgültigen Ergebnisse sollen in der zweiten Jahreshälfte 2006 vorliegen und einen Gesamteindruck über die umweltbezogene Beschäftigungssituation im Land ermöglichen.

#### 1.2.4 BETRIEBLICHES UMWELTMANAGEMENT

Moderne und innovative Unternehmen zeichnen sich heute dadurch aus, dass sie den betrieblichen Umweltschutz gezielt als Mittel zur Kostensenkung und der Steigerung ihrer Wettbewerbsfähigkeit einsetzen. Die Vorteile gehen jedoch weit über einen rein monetären Nutzen hinaus: So leistet der Umweltschutz auch einen entscheidenden Beitrag, um etwa Störfälle oder Arbeitsunfälle zu vermeiden, die Rechtssicherheit zu gewährleisten und das unternehmerische Profil zu schärfen.

Als ein zentrales Instrument zur Förderung des betrieblichen Umweltschutzes gilt die Einführung von Umweltmanagementsystemen. Hier steht mit dem staatlichen EMAS-System seit 1995 ein anerkannter Standard auf europäischer Ebene zur Verfügung. Unternehmen, die sich dazu verpflichten, ihre Umweltschutzleistungen kontinuierlich zu verbessern, können sich nach entsprechenden Vorgaben prüfen und zertifizieren lassen und dies mit dem EMAS-Logo außenwirksam dokumentieren. Seit Überarbeitung der EMAS-Verordnung im Jahr 2001 ist die Teilnahme für alle „Organisationen“, u.a. auch für öffentliche Einrichtungen möglich. Deutschlandweit waren im April 2006 knapp 1 500 Organisationen nach EMAS registriert (insgesamt an die 2 000 Standorte). Das ist fast die Hälfte (46 %) aller EMAS-Teilnehmer in Europa. In Baden-Württemberg waren zum gleichen Zeitpunkt 320 Unternehmen im EMAS-Register eingetragen (Abb. 1-24). Damit kommt mehr als jeder fünfte deutsche EMAS-Betrieb aus Baden-Württemberg, das zusammen mit Bayern die mit Abstand meisten

Organisationen beheimatet. Die branchenbezogene Aufschlüsselung zeigt, dass trotz gewisser Rückgänge weiterhin viele Unternehmen dem produzierenden Sektor zugeordnet werden können. Öffentliche Organisationen aus den Bereichen Erziehung und Unterricht (insbesondere Schulen), Verwaltung und der Abwasserbeseitigung (Kläranlagen) sind ebenfalls stark vertreten (Abb. 1-25).

Mit der ISO 14001 existiert seit 1996 ein weiterer zertifizierbarer Umweltmanagementstandard. Die Norm ist privatrechtlicher Natur und besitzt weltweite Gültigkeit. In der Bundesrepublik verfügen rund 5 100 Unternehmen und Organisationen über ein solches Zertifikat (Stand: Januar 2006). International gesehen sind es über 100 000 Zertifizierungen in rund 130 Staaten. Da in Deutschland im Gegensatz zum EMAS-System (noch) keine zentrale Erfassung praktiziert wird, beruhen die bundesdeutschen Zahlen zum Teil auf Näherungswerten (Abfrage von Zertifizierungsgesellschaften durch das Umweltbundesamt). Für die Bundesländerebene liegt eine Auswertung für Januar 2006 vor. Demnach waren zu diesem Zeitpunkt knapp 660 Unternehmen in Baden-Württemberg nach dem ISO 14001-Standard zertifiziert. Hier rangiert Baden-Württemberg im Ländervergleich an dritter Stelle.

Neben den Umweltmanagementsystemen haben sich gerade für kleine und mittlere Unternehmen mehrere „Einsteigerlösungen“ etabliert. „Ökoprofit“ als eines der bekanntesten Programme beruht beispielsweise auf einer Kooperation zwischen Kommunen und ansässigen Firmen und deckt die wichtigsten Themenfelder des betrieblichen Umweltschutzes ab. In Baden-Württemberg haben insbesondere die Städte Esslingen, Ulm, Biberach und Sigmaringen sowie Heidelberg (in Form des eigenständigen Projekts „Nachhaltiges Wirtschaften“) erfolgreiche Aktionsrunden mit mehr als 100 Unternehmen und Einrichtungen durch-

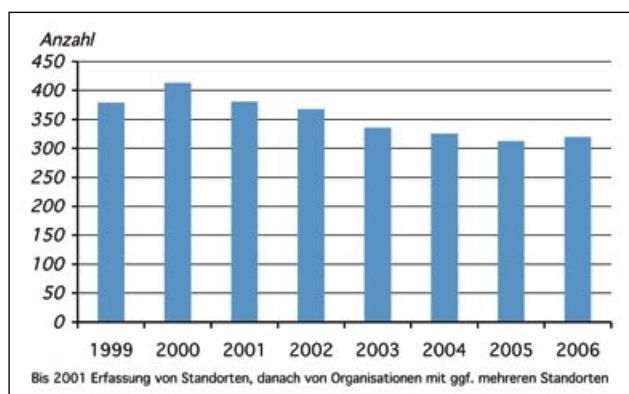


Abb. 1-24: EMAS-Teilnehmerzahlen in Baden-Württemberg.  
Quelle: DIHK, Stand 4/2006

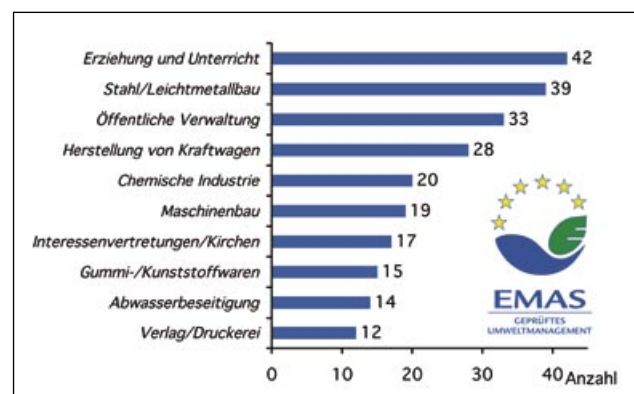


Abb. 1-25: Branchenbezogene EMAS-Beteiligung in Baden-Württemberg – Die Top 10. Quelle: DIHK, Stand 1/2006

geführt. Als rein branchenbezogene Lösungen sind etwa „ECOCAMPING Umweltmanagement“ für Campingplätze (30 Teilnehmer aus Baden-Württemberg) und der „Grüne Gockel bzw. Hahn“ für kirchliche Organisationen (ca. 25 geprüfte Einrichtungen im Land Ende 2005) zu nennen. Mit dem Förderprogramm ECO+ bietet das Umweltministerium Baden-Württemberg zudem eine kostenlose eintägige Betriebsberatung mit Umweltcheck an. In den Kammerbezirken Südlicher Oberrhein, Ulm und Rhein-Neckar haben bislang 210 kleine und mittlere Unternehmen davon profitiert. Weitere angepasste und geförderte Instrumente stellen z. B. die sog. Energietische dar.

### 1.2.5 RESSOURCENEFFIZIENZ ALS ERFOLGSFAKTOR FÜR UNTERNEHMEN

Aufgrund der stark ansteigenden Kosten für Energie und viele Rohstoffe wird das Thema Ressourceneffizienz für Unternehmen zunehmend wichtiger [BARON ET AL. 2005]. Mit der Reduzierung des Material- und Energieeinsatzes können Kosten gesenkt und die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Wirtschaft gestärkt werden. Während die Personalkosten im verarbeitenden Gewerbe in den letzten Jahren kontinuierlich reduziert wurden, werden die Kostensenkungspotenziale beim Materialeinsatz noch nicht ausreichend genutzt [LFU 2004]. Mit bereits verfügbaren Technologien und Managementmethoden lassen sich die Materialkosten noch deutlich reduzieren. Die betriebliche Praxis zeigt jedoch, dass dieses Potenzial nicht genügend zur Kostensenkung genutzt wird. Ursachen für diese Wirtschaftlichkeitslücke sind das im Mittelstand begrenzt verfügbare technische, logistische und Management-Know-how sowie fehlende Informationen und fehlendes Bewusstsein über die möglichen Einsparpotenziale [BARON ET AL. 2005].

Die Reduzierung des Ressourcenverbrauchs ist eine der großen umweltpolitischen Herausforderungen auf dem Weg zu einer dauerhaft umweltgerechten, nachhaltigen Entwicklung. Die Steigerung der Ressourceneffizienz und speziell des effizienten Materialeinsatzes in der Produktion ist ein wichtiges Ziel zur Verminderung des Verbrauchs nicht erneuerbarer Ressourcen [UVM 2000].

Erhebliche Steigerungen der Ressourceneffizienz sind in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) möglich durch

- Verminderung der Materialverluste (Qualität, Ausschuss),
- Optimierung der Produktionsprozesse (z. B. Ver-

schnittminimierung) und betrieblicher Abläufe (Logistik, Schnittstellen),

- Optimales Recycling von Stoffströmen,
- Bessere Auslastung von Geräten, Anlagen und Spezialmaschinen,
- Produktanpassungen (Konstruktion, Design) und
- Optimierungen entlang der Wertschöpfungskette.

Das Beratungsprogramm BEST (Betriebliches Energie- und Stoffstrommanagement) der LUBW setzt hier an und unterstützt Unternehmen bei der Steigerung der Energie- und Materialeffizienz. In Informationsveranstaltungen werden Unternehmen auf die Potenziale zur Kostensenkung und Ressourceneinsparung aufmerksam gemacht. In Zusammenarbeit mit regionalen Industrie- und Handelskammern werden Projekte angeboten, die Unternehmen einen konkreten Einstieg ermöglichen. Die Teilnahme von KMU wird von der LUBW finanziell unterstützt.

In dem seit 2004 laufenden Programm wurden bisher über 40 Projekte erfolgreich abgeschlossen. Dabei konnten Kosteneinsparungen von einigen 10 000 bis mehreren 100 000 EURO sowie entsprechende Einsparungen an Einsatzstoffen (z. B. Erdgas) und damit verbundenen Emissionen (z. B. CO<sub>2</sub>) aufgezeigt werden.

### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Aktuelle Zahlen des Statistischen Landesamtes:  
<http://www.statistik-bw.de>

Umweltschutzanbieter aus Baden-Württemberg (Dienstleistungsunternehmen, Berater, Hersteller und Händler im Umweltschutz):

<http://www.umfis.de>  
<http://www.enviro-company-guide.com>

Informationen der LUBW zum Umweltmanagement:  
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/2894>

Portal zum europäischen Umweltmanagementsystem EMAS:  
<http://www.emas.de>

Übersicht über die im EMAS-Register eingetragenen Organisationen: <http://www.emas-register.de>

Informationen zu ISO 14001: <http://www.14001news.de>

Förderprogramme ECO+ und ECOfit:  
<http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/9282>

Betriebliches Energie- und Stoffstrommanagement:  
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/2897>

### 1.3 LOKALE AGENDA 21

Bei der Konferenz für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen 1992 in Rio de Janeiro haben 178 Staaten die „Agenda 21“ verabschiedet, ein umfangreiches weltweites Aktionsprogramm für eine umweltverträgliche, nachhaltige Entwicklung. Aus Kapitel 28 der Agenda 21 folgt der Auftrag an alle Kommunen, für ein Gleichgewicht zwischen ökologischen, sozialen und ökonomischen Gegebenheiten zu sorgen [BMU 1992]. Jede Kommunalverwaltung soll in einen Dialog mit ihren Bürgern, Organisationen und der Privatwirtschaft eintreten und eine Lokale Agenda 21 beschließen, denn viele Ziele der Agenda 21 können nur vor Ort erreicht werden.

Als erste Kommune in Baden-Württemberg hat der Gemeinderat der Stadt Karlsruhe im April 1995 einen Agenda-Beschluss gefasst. Am 28. April 1998 richtete Baden-Württemberg sein Agenda-Büro in der LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (vormals LfU) ein. Es unterstützt die Kommunen beim Start und bei der Umsetzung von Projekten der Lokalen Agenda 21 (LA 21).

In 361 Gemeinden (von 1110) und 13 Landkreisen (von 35) liegen Beschlüsse von Gemeinderäten und Kreistagen zur LA 21 vor (Abb. 1-26). Damit haben jede dritte Gemeinde (33 %) und 37 % der Landkreise Baden-Württembergs einen LA 21-Beschluss gefasst. Baden-Württemberg liegt somit deutlich über dem bundesweiten Durchschnitt, wo jede fünfte Gemeinde (20 %) eine LA 21 beschlossen hat. Dabei ist ein starkes Gefälle nach Gemeindegrößen feststellbar. Kleine Gemeinden unter 10 000, besonders aber unter 5 000 Einwohner, sind unterrepräsentiert. Die regionale Verteilung der LA 21-Beschlüsse im Land zeigt Abbildung 1-27.

Die LA 21 beruht auf der Kooperationsachse Bürger - Verwaltung. Die Bürger werden dazu meist in Arbeitskreisen zu Schwerpunktthemen einer nachhaltigen Entwicklung beteiligt, die sich konkreten Projekten widmen. Das Land Baden-Württemberg hat von 1999 bis 2005 insgesamt 266 kommunale LA 21-Projekte gefördert. Davon fanden mit einem Anteil von 29 % an den geförderten Projekten, die meisten mit Kindern, Jugendlichen und Schülern statt. Dies unterstreicht die Funktion der Lokalen Agenda 21 für eine nachhaltige Bewusstseinsbildung. Es folgen die Themen Umwelt- und Naturschutz (22 %), Konsum und Landwirtschaft (12 %), Verkehr (11 %), Energie (9 %) und Eine Welt (9 %).



Abb. 1-26: Entwicklung der Gemeinde- und Kreistagsbeschlüsse der Lokalen Agenda 21 in Baden-Württemberg seit 1998. Quelle: LUBW 2006

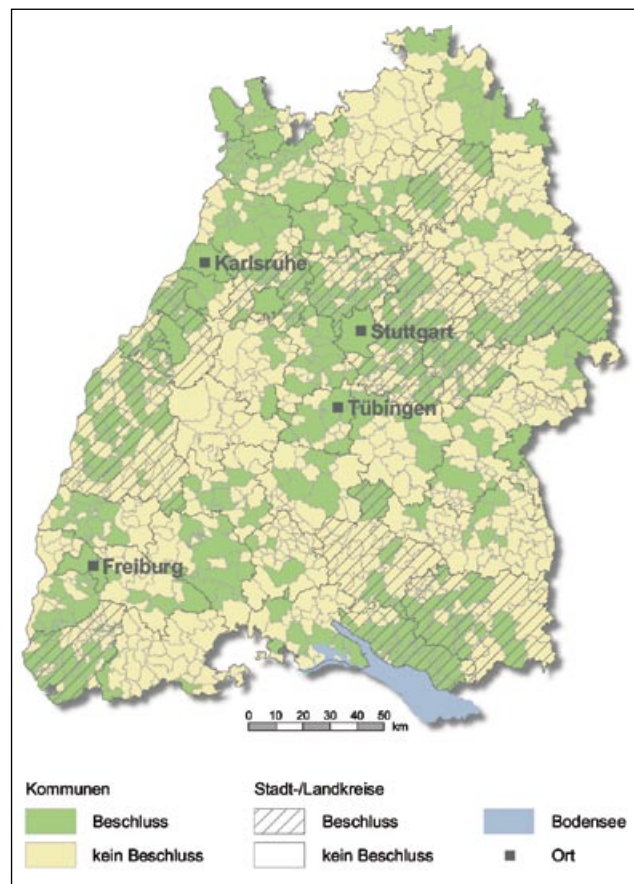


Abb. 1-27: Regionale Verteilung der Lokalen Agenda 21-Beschlüsse in Baden-Württemberg, Stand 08.08.2005. Quelle: LUBW 2006

Eine Auswertung der Themen der Agenda-Arbeitskreise ergab 2005, dass mit einem Anteil von jeweils rund einem Viertel die wichtigsten drei Themenkomplexe in der Lokalen Agenda 21 Verkehr und Stadtentwicklung, Soziales und Miteinander sowie Umwelt und Energie sind.

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Agenda-Büro Baden-Württemberg:

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/1213/>



# 2 Natürliche Ressourcen

## 2.1 ROHSTOFFGEWINNUNG UND -VERBRAUCH

### 2.1.1 NICHT ERNEUERBARE ROHSTOFFE

Der im Folgenden dargestellte Verbrauch von nicht erneuerbaren Rohstoffen bezieht sich auf abiotische Rohstoffe sowie Halb- und Fertigwaren. Er setzt sich aus der verwerteten Entnahme im Land, die Einfuhr aus dem Ausland und dem Saldo des Austausches zwischen den Bundesländern zusammen. Im Jahr 2003 betrug der Rohstoffverbrauch 128,2 Mio. t. Den Verlauf der Verbrauchsentwicklung seit 1994 zeigt Abbildung 2-1. Demzufolge ist der Rohstoffverbrauch in diesem Zeitraum um etwa 19 % zurückgegangen. Ausschlaggebend dafür war der Rückgang der verwerteten Entnahme im Land. Demgegenüber hat die Einfuhr aus dem Ausland zugenommen, wengleich nicht im selben Maße.

Die Rohstoffentnahme in Baden-Württemberg besteht zum überwiegenden Teil aus der Gewinnung von mineralischen Rohstoffen wie Kiese, Sand und Natursteinen. Die Rohförderung dieser und anderer mineralischer Rohstof-

fe seit 1992 zeigt Abbildung 2-2. Demnach wurden 2005 insgesamt rund 77 Mio. t der folgenden Gesteinsrohstoffe abgebaut:

- 37,1 Mio. t Sand und Kies (inkl. Mürrsandsteine und Gruse),
- 31,9 Mio. t Natursteine (Kalksteine, Vulkanite, Plutonite, Metamorphite, Naturwerksteine),
- 5,5 Mio. t Zementrohstoffe (inkl. Ölschiefer),
- 1,6 Mio. t Ziegeleirohstoffe und
- 1,1 Mio. t Sulfatgesteine.

Im Vergleich zum Jahr 2004 ist die Rohförderung mineralischer Rohstoffe 2005 etwa konstant geblieben. Allerdings zeigt sich, dass im Verlauf der letzten 10 Jahre die Rohförderung um 24 % gesunken ist. Ein Grund dafür ist sicherlich die konjunkturell bedingt geringe Bautätigkeit der vergangenen Jahre, denn die Bauwirtschaft ist der Hauptabnehmer mineralischer Rohstoffe.

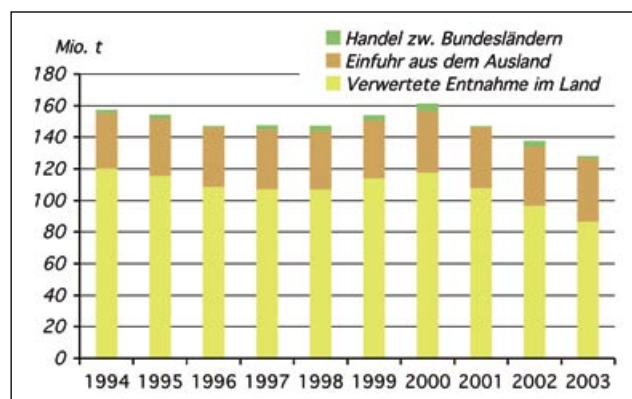


Abb. 2-1: Rohstoffverbrauch in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt 2005

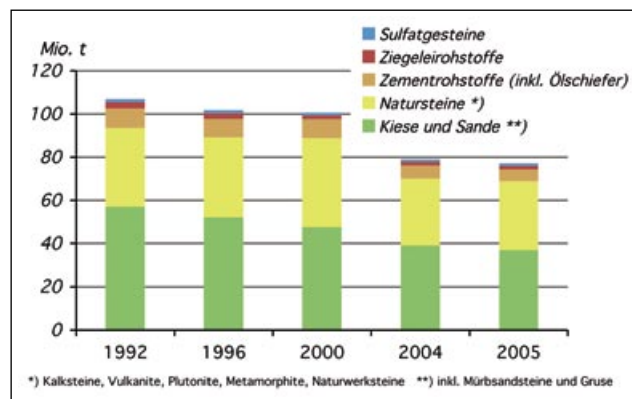


Abb. 2-2: Rohförderung mineralischer Rohstoffe (nicht berücksichtigt: hochreine Kalksteine, Steinsalz/Sole, Fluss-/Schwerspat). Quelle: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (RP Freiburg) 2006

### 2.1.2 ANBAU UND NUTZUNG NACHWACHSENDER ROHSTOFFE

Nachwachsenden Rohstoffen kommt im Rahmen der Ressourcenschonung eine maßgebliche Bedeutung zu. Unter nachwachsenden Rohstoffen versteht man land- und forstwirtschaftlich erzeugte Produkte, die im Nichtnahrungsbereich verwendet werden.

Man kann allgemein zwischen den industriell, stofflich genutzten nachwachsenden Rohstoffen und den energetisch genutzten nachwachsenden Rohstoffen unterscheiden.

Holz ist bei diesen Betrachtungen der wichtigste nachwachsende Rohstoff Baden-Württembergs, der sowohl stofflich als auch energetisch im großen Umfang genutzt wird und auch noch ein großes Entwicklungspotenzial besitzt.

Nachwachsende Rohstoffe können einen wichtigen Beitrag für eine importunabhängige Rohstoff- und Energieversorgung mit heimischer Wertschöpfung leisten. Voraussetzung ist die kostengünstige Bereitstellung in den erforderlichen Mengen und Qualitäten sowie eine nachhaltige Erzeugung.

#### 2.1.2.1 NACHWACHSENDE ROHSTOFFE AUS LANDWIRTSCHAFTLICHEM ANBAU

Zu den wichtigsten landwirtschaftlich angebauten nachwachsenden Rohstoffen gehören Rapsöl, Stärke, Son-

nenblumenöl, Leinöl, Zucker, Flachs und Hanf. Die Produktpalette aus diesen Rohstoffen reicht von Treib- und Schmierstoffen über Faserverbundstoffe bis zu Biokunststoffen. Das Potenzial für weitere Anwendungen ist aufgrund der derzeitigen Rahmenbedingungen noch nicht ausgeschöpft.

Man kann die landwirtschaftlich angebauten nachwachsenden Rohstoffe nach ihrer Nutzung in Industriepflanzen, die einer stofflichen, und Energiepflanzen, die einer energetischen Nutzung zugeführt werden, differenzieren.

Industriepflanzen werden weiter untergliedert in:

- Ölpflanzen (Raps, Sonnenblume, Öllein, Mohn, Leinotter, Krambe),
- Stärke- und Zuckerpflanzen (Kartoffeln, Weichweizen, Mais, Zuckerrübe, Topinambur),
- Faserpflanzen (Faserlein, Hanf, Fasernessel, Kenaf),
- Färberpflanzen (Färberwau, Krapp, Färberknöterich, Färberwaid, Saflor),
- Arzneipflanzen (Wurzeldrogen, Blatt- und Krautdrogen, Blütendrogen, Frucht- und Samendrogen) und
- Proteinpflanzen (Ackerbohne, Lupine und Eiweißerbse).

Wichtige Energiepflanzen sind:

- Gräser (Triticale, Chinaschilf) und
- Öl-, Stärke- und Zuckerpflanzen (Raps, Kartoffeln, Zuckerrüben).

In Baden-Württemberg werden auf 23 710 ha (Stilllegungsflächen) nachwachsende Rohstoffe landwirtschaftlich angebaut. Das entspricht einem Anteil von 1,4 % an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche im Land. Raps, zur Erzeugung von Rapsöl, kommt in Baden-Württemberg eine besondere Bedeutung zu und wird auf einer Fläche von 20 496 ha angebaut (Abb. 2-3). Nicht erfasst sind der Anbau bzw. die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen auf Nichtstilllegungsflächen für eine stoffliche und auch teilweise für die energetische Verwertung. Im Bereich der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe aus der Landwirtschaft wird ein nicht zu vernachlässigender Teil auf den klassischen Nichtstilllegungsflächen produziert (z. B. Stärke für die Papierindustrie).

### 2.1.2.2 HOLZ

In Baden-Württemberg werden jährlich ca. 10 Mio. m<sup>3</sup> Holz mit einem Wert von ca. 450 Mio. Euro eingeschlagen. 60 % dieser Erntemenge werden an Sägewerke verkauft,

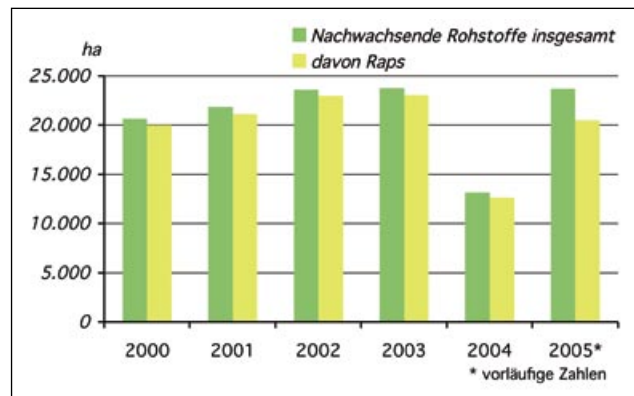


Abb. 2-3: Anbaufläche nachwachsender Rohstoffe auf Stilllegungsflächen in ha. Quelle: Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg 2006

rund 15 % werden hauptsächlich in Form von Brennholz an private Endverbraucher und weitere 10 % an die Holzwerkstoff-, Zellstoff- und Papierindustrie abgesetzt.

Leistungsfähige Wälder mit hohen Holzvorräten garantieren auch zukünftig eine hohe und dauerhafte Lieferung umweltfreundlich erzeugten Holzes als Rohstoff, Baumaterial und Energieträger.

Ein Holzvorrat in den Wäldern Baden-Württembergs von fast 370 m<sup>3</sup>/ha Waldfläche ist ein europaweiter Spitzenwert. Er ist in den vergangenen fünfzehn Jahren trotz der Holzverluste durch die großflächigen Orkanshäden um insgesamt 5 % gestiegen (Abb. 2-4).

Auf rund einem Fünftel der Waldfläche – dem Kleinprivatwald – ist der Durchschnittsvorrat auf ein sehr hohes Niveau von über 400 m<sup>3</sup>/ha angewachsen. Hier besteht ein besonderes Risiko durch Stürme und Insekten. Im Großprivatwald und Staatswald sind die Holzvorräte leicht gesunken, liegen aber immer noch über dem Bundesdurchschnitt.

Basis der Holzvorräte ist die hohe Zuwachsleistung. Gute Böden und ideale Wetterbedingungen lassen in Baden-

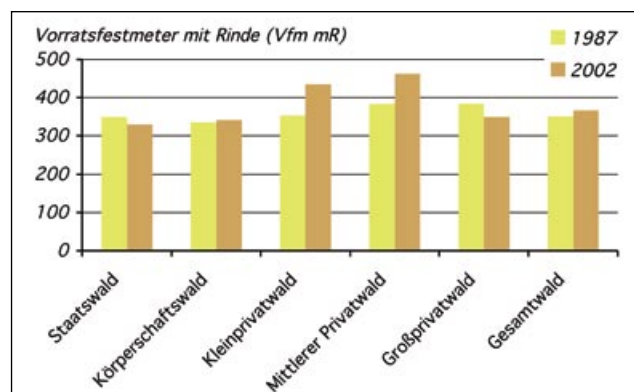


Abb. 2-4: Entwicklung der mittleren Hektarvorräte in den verschiedenen Waldeigentumsarten. Quelle: MLR/Landesforstverwaltung, Stand 2004

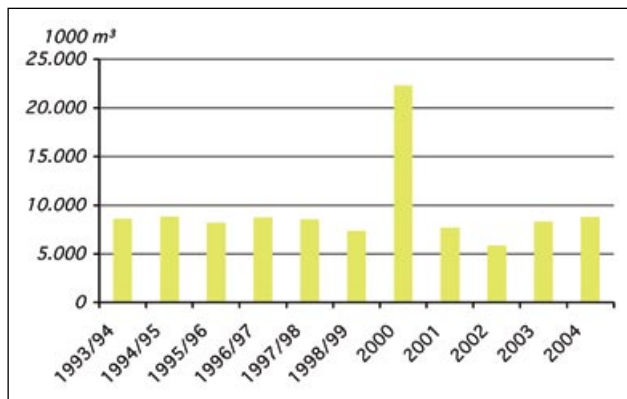


Abb. 2-5: Entwicklung des Holzeinschlags. Quelle: Statistisches Landesamt 2006

Württembergs Wäldern im Durchschnitt pro Jahr und Hektar 13 m<sup>3</sup> Holzmasse wachsen. Dieser Zuwachs an Holz war in der Summe stets höher als intensive Nutzung und Verluste zusammen. Die Bundeswaldinventur weist ein Nutzungspotenzial von jährlich 11,5 Mio. m<sup>3</sup> aus und bestätigt damit, dass in Baden-Württemberg auch in Zukunft eine nachhaltige Holznutzung auf dem bisherigen Niveau erfolgen kann.

Im Jahr 2004 wurden in Baden-Württemberg 8,79 Mio. m<sup>3</sup> Holz geschlagen, was einem bundesweiten Anteil von 16 % entspricht. Der Holzeinschlag blieb über die Jahre relativ konstant (Abb. 2-5), durch die Auswirkungen des Orkans „Lothar“ Ende 1999 sind die Zahlen im Jahr 2000 stark gestiegen. Grund ist die hohe Anzahl umgestürzter und geschädigter Bäume, die gefällt werden mussten. In den beiden darauffolgenden Jahren ging der Einschlag leicht zurück.

Stofflich wird Holz beispielsweise als Bau- und Konstruktionsholz, zur Parkettherstellung, zum Innenausbau, als Möbelholz, als Schäl- und Furnierholz in der Sperrholzherstellung, für Holzgeräte für Spanplatten und Zellstoff und als Faser- und Papierholz genutzt.

Nach den im Biomasse-Aktionsplan der Landesregierung formulierten Zielen soll der Anteil von Holz im Bauwesen von derzeit 20 auf 30 % und der Pro-Kopf Verbrauch von Schnittholz von derzeit 0,4 auf 0,5 m<sup>3</sup> pro Einwohner und Jahr angehoben werden.

### 2.1.3 NACHWACHSENDE ROHSTOFFE ALS ENERGIETRÄGER

Als Energieträger leisten nachwachsende Rohstoffe einen Beitrag zur Substitution von nicht erneuerbaren Primär-

energieträgern wie Kohle, Erdöl und Erdgas. Sie können zur Erzeugung von Wärme und Strom sowie auch als Treibstoff eingesetzt werden.

Der Einsatz kann direkt ggf. nach mechanischer Aufbereitung (z. B. Holzhackschnitzel, Pflanzenöl), chemischer Umwandlung (z. B. Synthesegas, Pflanzenölmethylester) oder biologischer Umwandlung (z. B. Biogas) erfolgen.

Bioenergieträger werden grob klassifiziert in Biomasse, Biogas und flüssige biogene Brennstoffe. Alle Energieträger finden Anwendung bei der Strom- und Wärmeerzeugung, während als Kraftstoffe bisher nur die flüssigen biogenen Brennstoffe zum Einsatz kommen. Als Erdgassubstitut könnten jedoch auch für Anwendungen im Verkehrsreich zukünftig Biogas oder thermochemisch erzeugtes Gas zum Einsatz kommen und hier einen weiteren Anwendungsbereich erschließen.

Tabelle 2-1 zeigt den Beitrag der Bioenergieträger zur Energiebereitstellung im Jahr 2005.

In Baden-Württemberg besteht ein wirtschaftliches, gesellschaftliches und umweltpolitisches Interesse an einem

Tab. 2-1: Beitrag der Bioenergieträger zur Energiebereitstellung 2005. Quelle: UM & WM 2006

	Primärenergie TJ	Anteil am ges. PEV %	Endenergie TJ	installierte Leistung MW
<b>Stromerzeugung</b>				
Biomasse	4.800	0,3	1.800	103
biogene flüssige Brennstoffe	8	0,0005	3	0,29
Biogas	1.400	0,09	544	27
<b>Wärmeerzeugung</b>				
Biomasse	12.000	0,74	12.000	k.A.
Biogas	7	0,0004	7	k.A.
biogene flüssige Brennstoffe	6	0,0004	6	k.A.
<b>Kraftstoffe</b>				
Biodiesel (PME)	5.800	0,36	5.800	k.A.
Bioethanol	205	0,01	205	k.A.
Rapsöl	140	0,01	140	k.A.

k.A. = keine Angaben  
PEV = Primärenergieverbrauch

verstärkten Einsatz nachwachsender Rohstoffe und an der Bioenergienutzung. Sie dienen v. a. der Verminderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes, der Verringerung der Abhängigkeit von Importen und der Stärkung der Wirtschaftskraft durch die Land- und Forstwirtschaft vor allem im ländlichen Raum.

Es wird geschätzt, dass das Bioenergiepotenzial, das je zur Hälfte aus land- und forstwirtschaftlicher Produktion stammen könnte, insgesamt bei 8 bis 10 % des derzeitigen Primärenergieverbrauchs liegt [MLR 2006]. Die Verteilung des Bioenergiepotenzials zeigt Abbildung 2-6.

#### 2.1.3.1 HOLZ

Rund 1,5 Mio. m<sup>3</sup> Holz werden derzeit in Baden-Württemberg in unterschiedlichen Aufarbeitungsformen (Scheitholz, Pellets, Hackschnitzel) zur Wärme- und/oder

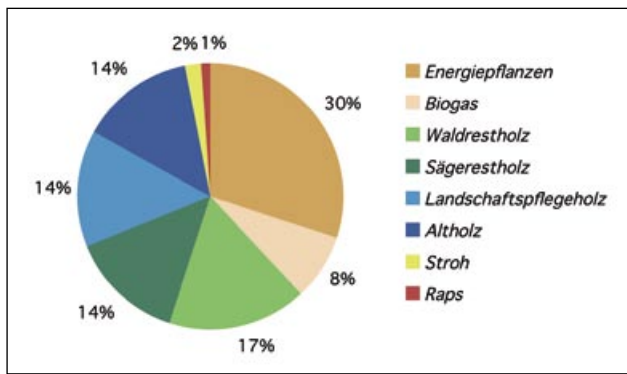


Abb. 2-6: Verteilung der Bioenergiepotenziale. Quelle: MLR 2006

Stromgewinnung verwertet. Nach einer Untersuchung der Landesforstverwaltung könnte allein die Energieholznutzung beim Waldholz um eine weitere Million Kubikmeter ausgeweitet werden. Gemeinsam mit Sägerest-, Landschaftspflege- und Altholz stünden jährlich insgesamt 3,5 Mio. m<sup>3</sup> als zusätzliche Energieholzmenge nachhaltig zur Verfügung.

Zum Vergleich: Seit dem Jahr 1995 hat das Land Baden-Württemberg 190 Holzhackschnitzel-Heizanlagen mit einer Gesamtleistung von 120 MW mit insgesamt 12,5 Mio. Euro unterstützt. Der jährliche Holzverbrauch dieser Anlagen liegt bei rund 180 000 m<sup>3</sup>, was einem Äquivalent von rund 36 Mio. Litern beziehungsweise 1 200 Tanklastzügen Heizöl entspricht. Der Holzbedarf dieser bislang geförderten Anlagen liegt dennoch lediglich bei rund 5 % des freien Potenzials.

### 2.1.3.2 GRÄSER

Triticale und Chinaschilf haben einen Heizwert von ca. 17,5 MJ/kg. Sie werden energetisch genutzt durch (Ganzpflanzen-)Verbrennung zur Bioethanolherstellung sowie zur Vergasung (Wasserstoff).

### 2.1.3.3 ÖL-, STÄRKE- UND ZUCKERPFLANZEN ALS BIOKRAFTSTOFFE

Zurzeit besteht ein großes Interesse an Biokraftstoffen, da die EU den Anteil an biogenen Treibstoffen am gesamten Kraftstoffmarkt aus Klimaschutzgründen von heute etwa 1,8 % bis zum Jahr 2010 auf 5,75 % erhöhen will. Kurzfristig lassen sich etwa 2 Mio. t Biokraftstoffe in Deutschland erzeugen, das entspricht einem Anteil am gesamten Kraftstoffverbrauch von etwa 3,6 %. Bis zum Jahr 2020 könnte sich dieser Anteil bei sinkendem Gesamtverbrauch auf bis zu 25 % erhöhen.

## INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau beim Regierungspräsidium Freiburg  
<http://www.lgrb.uni-freiburg.de>

Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2006  
<http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/Fachbereiche/rohstoffgeologie/grundlagen/rohstoffberichte>

Biomasse-Aktionsplan:

<http://www.mlr.baden-wuerttemberg.de/mlr/allgemein/Biomasse.pdf>

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

<http://www.fnr-server.de>

Landesforstverwaltung:

<http://www.wald-online-bw.de>

## 2.2 BODENNUTZUNG UND FLÄCHENINANSPRUCHNAHME

Böden gehören zu den bedeutenden natürlichen Ressourcen. Sie erfüllen natürliche Funktionen z. B. als Lebensraum und Lebensgrundlage sowie Nutzungsfunktionen z. B. als Fläche für Siedlung und Erholung. Damit sind Böden eine unverzichtbare Grundlage für den Naturhaushalt und wirtschaftliche Aktivitäten. Besonders bei Böden wird aber auch die Endlichkeit von Ressourcen deutlich, da die Fläche und die dazugehörigen Böden nicht vermehrbar sind.

Im Jahr 2004 (Stichtag 31.12.2004) wurden von den 3,58 Mio. ha Bodenfläche des Landes 1,66 Mio. ha als Landwirtschaftsfläche und 1,36 Mio. ha als Waldfläche genutzt. Damit ist die Land- und Forstwirtschaft die häufigste Nutzungsform in Baden-Württemberg (Abb. 2-7).

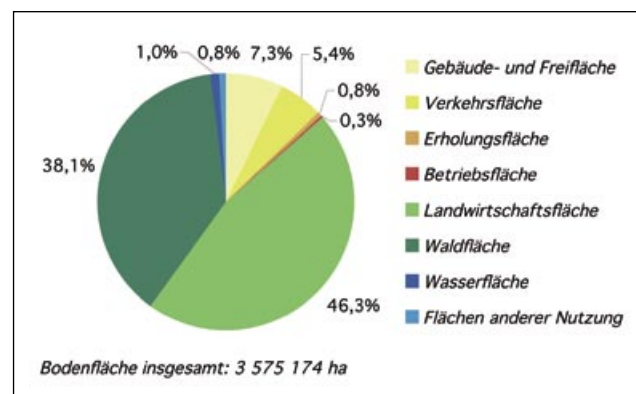


Abb. 2-7: Flächennutzung in % der Bodenfläche von Baden-Württemberg, Stand 31.12.2004.  
 Quelle: Statistisches Landesamt 2005

Der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche beträgt zum Stichtag 31.12.2004 13,6 % der Landesfläche. Die hiervon betroffenen 486 994 ha setzen sich aus der Gebäude- und Freifläche (53 %), der Verkehrsfläche (40 %), der Erholungsfläche (5,5 %), der Betriebsfläche ohne Abbaufläche (0,9 %) und der Friedhofsfläche (0,7 %) zusammen [STALA 2005a]. Genaue Daten über den Anteil der versiegelten Fläche liegen nicht vor. Es wird nach heutigem Kenntnisstand davon ausgegangen, dass knapp die Hälfte der Siedlungs- und Verkehrsfläche durch Überbauung mit Gebäuden, Asphalt und Beton versiegelt ist und damit die natürlichen Bodenfunktionen komplett eingebüßt hat. In allen Nutzungsklassen der Siedlungs- und Verkehrsfläche sind jedoch auch unversiegelte Flächen enthalten, so sind bei der Gebäude- und Freifläche Gärten und bei der Erholungsfläche Parks und Spielplätze erfasst. Auch auf diesen Flächen sind die Böden teilweise durch Immissionen oder Verdichtungen mehr oder weniger in ihren Funktionen für den Naturhaushalt beeinträchtigt.

Nach wie vor werden für Wohnen, Arbeiten, Erholung und Infrastrukturanlagen Flächen anderer Nutzungsarten umgewidmet. Durchschnittlich betrug diese Neuinanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke im Jahr 2004 wie auch 2005 täglich 8,8 ha. Dies entspricht einer Fläche von knapp 13 Fußballfeldern. Im Jahr 2000 hat Baden-Württemberg den ersten Umweltplan für das Land verabschiedet. In diesem wurde als Ziel einer „deutlichen Reduzierung der Flächeninanspruchnahme“ verankert. Zum Zeitpunkt der Verabschiedung im Jahr 2000 betrug die tägliche Neuinanspruchnahme noch 12 ha. Somit weist der Trend heute in Richtung einer Reduktion und das Ziel einer deutlichen Reduzierung erscheint erreichbar. Der aktuelle Rückgang dürfte allerdings in hohem Maße auch durch die wirtschaftliche Wachstumsschwäche der vergangenen Jahre und die niedrigen Bauinvestitionen bedingt sein. Daneben können aber auch verstärkte Bemühungen im Land zum Flächensparen zu diesem Trend beigetragen haben.

Abbildung 2-8 zeigt die Veränderung der Boden- bzw. Flächennutzung im Land für den Zeitraum von 1992 bis 2004. In diesem Zeitraum hat die für Siedlung und Verkehr genutzte Fläche um über 63 742 ha zugenommen. Diese Zunahme wie auch eine Zunahme der Waldfläche durch Aufforstungen und fortschreitende Sukzession ging zum weitaus überwiegenden Teil zu Lasten der landwirtschaftlich genutzten Fläche.

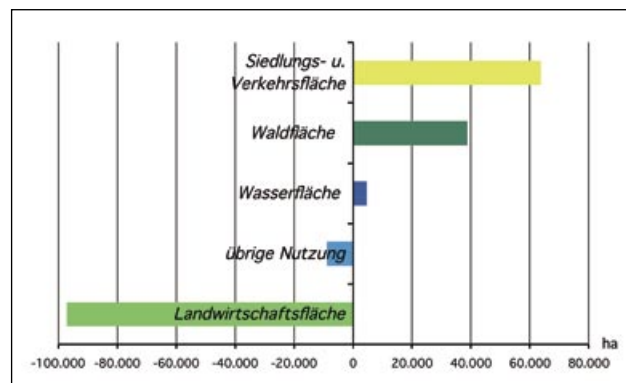


Abb. 2-8: Veränderung der Flächennutzung 1992 bis 2004 in ha. Quelle: Statistisches Landesamt 2005

Der Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsflächen ist zu einem Großteil durch die Vergrößerung der Gebäude- und Freifläche, also durch Wohnbautätigkeit und die Erschließung neuer Gewerbe- und Industriegebiete bedingt (Abb. 2-9) [STALA 2005b]. Die Ursachen liegen in der Bevölkerungszunahme, den gestiegenen Wohnraumsprüchen sowie in der Zunahme der Flächenansprüchen für wirtschaftliche Aktivitäten und in der gestiegenen Mobilität, welche auch die Siedlungsdispersion, die Nutzungsentmischung und Dekonzentration förderte (detaillierte Auswertungen und Analysen hierzu enthält der Landesentwicklungsbericht Baden-Württemberg 2005 [WM 2005] sowie der Bericht des Interministeriellen Arbeitskreises (IMAK) „Reduzierung der Flächeninanspruchnahme“ [IMAK 2004]). Folgen der Flächeninanspruchnahme sind ein Verlust der natürlichen Funktionen des Bodens im Naturhaushalt, eine zunehmende Zerschneidung von Flächen und damit einhergehend der Verlust ursprünglicher (zusammenhängender) Lebensräume für Tiere und Pflanzen (vgl. Kapitel 1.1, Indikatoren Flächenverbrauch und Landschaftszerschneidung).

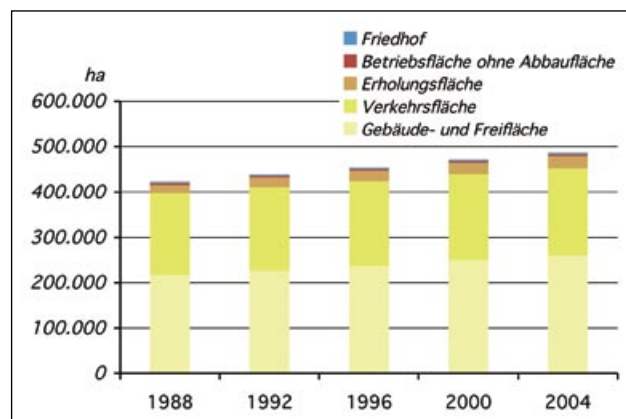


Abb. 2-9: Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche in ha, Stand jeweils 31.12. Quelle: Statistisches Landesamt 2006

Bereits seit vielen Jahren hat das Land Bemühungen zum Flächensparen u.a. durch Fördermaßnahmen wie die Städtebauförderung oder den Altlastenfonds unterstützt. In den letzten Jahren wurden weitere Initiativen zur Bewusstseinsbildung und zur Entwicklung von Instrumenten für eine sparsame Flächeninanspruchnahme ins Leben gerufen, um das Ziel einer deutlichen Reduzierung zu erreichen. Im Entwicklungsprogramm Ländlicher Raum (ELR) wurde das „Modellvorhaben Eindämmung des Landschaftsverbrauchs durch Aktivierung des innerörtlichen Potenzials“ (ME-LAP) aufgenommen. Im Rahmen der Umweltforschung des Landes (BWPLUS) wurden Förderschwerpunkte zum Flächenmanagement eingerichtet und vorbildliche Projekte zur Unterstützung des Ziels durch einen an der Praxis orientierten Instrumenteneinsatz gefördert. Im Oktober 2004 wurde das Aktionsbündnis „Flächen gewinnen in Baden-Württemberg“ geschlossen. In diesem Aktionsbündnis sind die wesentlichen Akteure für einen sparsamen und schonenden Umgang mit Böden aus den Verbänden der Kommunen, des Naturschutzes und der Wirtschaft sowie die Landes- und Regionalplanung zusammengeschlossen. Das Bündnis dokumentiert die Erfordernis eines breiten gesellschaftlichen Konsens und setzt sich u.a. für eine effiziente Flächennutzung, den Vorrang der Innen- vor Außenentwicklung, eine bedarfsbezogene Bereitstellung von Bauland und eine Intensivierung der interkommunalen und regionalen Zusammenarbeit ein. Weiterführende Aktivitäten und Erläuterungen zu Instrumenten und Maßnahmen zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme finden sich im Landesentwicklungsbericht [WM 2005], im IMAK-Bericht [IMAK 2004] und in der in Kürze erscheinenden Fortschreibung des Umweltsplans Baden-Württemberg.

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Daten zur Flächennutzung beim Statistischen Landesamt Baden-Württemberg:

<http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/BevoelkGebiet/Landesdaten/>

### 2.3 WASSERGEWINNUNG UND WASSERNUTZUNG

Wasser ist eine natürliche Ressource, die im eigentlichen Sinne nicht verbraucht, sondern im Kreislauf geführt wird. Trotzdem bedeutet die Gewinnung und Nutzung von Wasser einen Eingriff in den Naturhaushalt, bei dem negative Auswirkungen auf die Umwelt minimiert werden sollten.

Im Jahr 2004 wurden in Baden-Württemberg 5,30 Mrd. m<sup>3</sup> Wasser aus Grund-, Quell- und Oberflächengewässern gewonnen. Dabei wird aus Oberflächengewässern der mit Abstand größte Anteil von 4,70 Mrd. m<sup>3</sup> (89 %) entnommen. 0,48 Mrd. m<sup>3</sup> (9 %) wurden aus dem Grundwasser gefördert, während nur ein geringer Teil von 0,13 Mrd. m<sup>3</sup> (2 %) aus Quellwasser gewonnen wurde.

Wie die Zeitreihe in Abbildung 2-10 zeigt, war die Wassergewinnung Ende der 1980er Jahre am höchsten und ist seitdem um etwa 30 % gesunken. Die geringere Wassergewinnung aus Oberflächengewässern verursachte maßgeblich den sinkenden Gesamtwert.

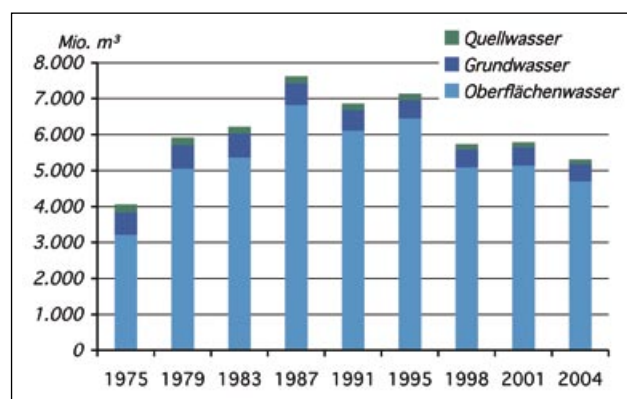


Abb. 2-10: Wassergewinnung nach Art des gewonnenen Wassers. Quelle: Statistisches Landesamt 2006

Die Wassergewinnung erfolgt im Wesentlichen durch drei Akteursgruppen: die Energiewirtschaft, die öffentliche Wasserversorgung und das verarbeitende Gewerbe. Davon förderte die Energiewirtschaft im Jahr 2004 mit 4,16 Mrd. m<sup>3</sup> (78 %) den weitaus größten Teil. Die öffentliche Wasserversorgung entnahm 0,69 Mrd. m<sup>3</sup> (13 %) und das verarbeitende Gewerbe 0,46 Mrd. m<sup>3</sup> (7 %). Der in Abbildung 2-11 dargestellte Verlauf über die Jahre zeigt, dass der sinkende Anteil der Energiewirtschaft die geringere Inanspruchnahme der Wasservorkommen insgesamt bewirkt hat. Die

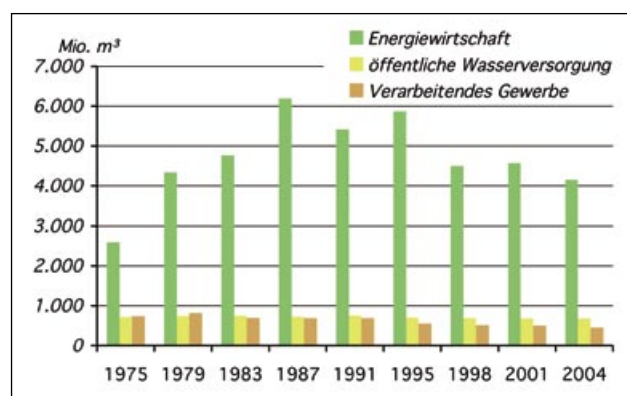


Abb. 2-11: Wassergewinnung nach Sektoren. Quelle: Statistisches Landesamt 2006

Energiewirtschaft gewinnt Wasser annähernd zu 100 % aus Oberflächengewässern.

Das in Baden-Württemberg gewonnene Wasser wird unterschiedlichen Nutzungen zugeführt, deren Verteilung Abbildung 2-12 zeigt. Mit etwa 78,7 % den größten Anteil hat die Verwendung für Kühlzwecke im Kraftwerksbetrieb der Energiewirtschaft. In der Wirtschaft als Produktionswasser wird mit 8,5 % fast genauso viel Wasser genutzt wie von der Gruppe Haushalte und Kleingewerbe (8,1 %). Der Verbrauch (90,8 Mio. m<sup>3</sup>, 1,6 %) der öffentlichen Einrichtungen (Krankenhäuser, Schulen etc) umfasst auch den Eigenverbrauch der Wasserwerke, beispielsweise zur Rohrnetzspülung. Einen relativ geringen Wasserbedarf hat die Landwirtschaft zur Bewässerung (0,2 %). Bei der Verteilung des Wassers durch das Leitungsnetz kommt es immer auch zu Verlusten, die mit 2,9 % einen nicht unwesentlichen Beitrag zum Wasserverbrauch insgesamt ausmachen.

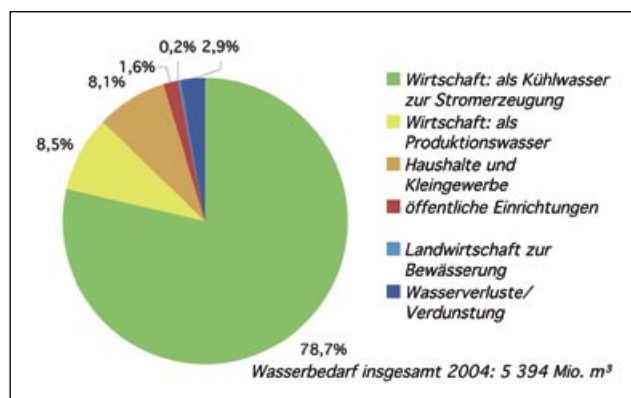


Abb. 2-12: Verwendungszweck des 2004 gewonnenen Wassers. Quelle: Statistisches Landesamt 2006

Von dem durch die öffentliche Wasserversorgung gewonnenen Wasser wird ein Großteil als Trinkwasser an Letztverbraucher abgegeben. Für Baden-Württemberg ergibt sich daraus für 2004 ein durchschnittlicher täglicher Prokopfverbrauch von 123 Litern je Einwohner und Tag. Abbildung 2-13 zeigt die Entwicklung dieses Wertes im Verlauf der letzten Jahre. Demnach ist der Verbrauch von Trinkwasser seit 1985 um 13 % gesunken.

Wie die vorangegangenen Ausführungen gezeigt haben, wird die Ressource Wasser überwiegend für wirtschaftliche Zwecke eingesetzt. In diesem Zusammenhang wird hier noch auf die Wasserproduktivität eingegangen, d.h. wie viel wirtschaftliche Leistung mit einem Kubikmeter Wasser produziert wird. Die Wasserproduktivität berechnet sich aus dem Quotienten von Bruttoinlandsprodukt zu

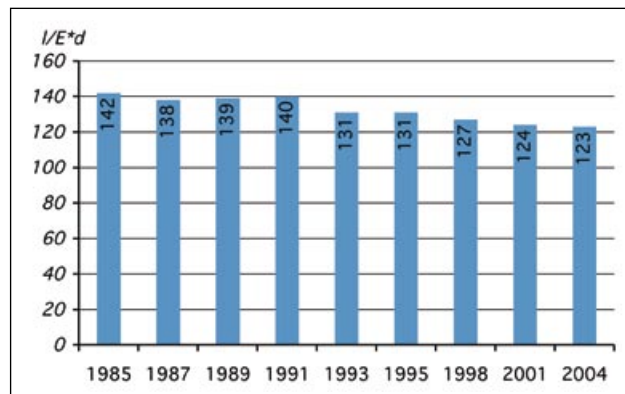


Abb. 2-13: Durchschnittlicher täglicher Prokopfverbrauch von Trinkwasser in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt 2005

konstanten Preisen von 1995 und dem Wassereinsatz. Dieser setzt sich zusammen aus dem aus Grund-, Quell- oder Oberflächengewässern gefördertem Wasser, aus Fremd- und Niederschlagswasser sowie aus der Differenz zwischen importiertem und exportiertem Wasser. Wie Abbildung 2-14 zeigt, stieg die Wasserproduktivität seit Mitte der 1990er Jahre relativ kontinuierlich an.

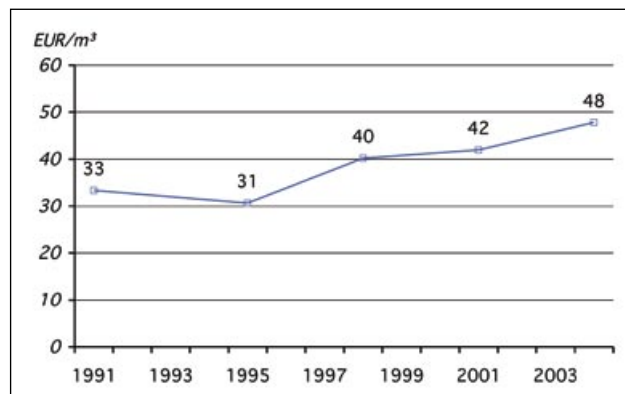


Abb. 2-14: Entwicklung der Wasserproduktivität in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt 2005

## INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Daten zur Wasserwirtschaft beim Statistischen Landesamt Baden-Württemberg:

<http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/UmweltVerkehr/Landesdaten/#w>

## 3 Klima

### 3.1 KLIMAWANDEL UND KLIMASCHUTZ

Erdgeschichtlich war das Klima auf der Erde durch natürliche Einflüsse einem ständigen Wandel unterzogen. Dabei haben extreme Kälte- und Wärmeperioden die Entwicklung des Lebens sehr stark mitbestimmt. Einzelne Entwicklungslinien in Flora und Fauna wurden durch das Klima begünstigt oder fanden unter extremen Bedingungen sehr abrupt ihr Ende.

In den vergangenen 1 000 Jahren stand die Erde allerdings in einem relativ stabilen thermischen Gleichgewicht mit einer Schwankung der globalen Temperatur von weniger als einem Grad bis in die jüngste Vergangenheit. Diese sehr konstanten Verhältnisse haben die rasche technische und gesellschaftliche Entwicklung der Menschheit unterstützt. Diese Entwicklung hat aber auch zur Folge, dass der Mensch durch seine Aktivitäten einen immer größeren Einfluss auf das Klima ausübt. Im 20. Jahrhundert hat deshalb ein Temperaturanstieg eingesetzt, der sich immer mehr beschleunigt. So stieg die mittlere globale Temperatur in den vergangenen 100 Jahren um 0,7 °C, nach Berechnungen der Europäischen Umweltagentur sogar um 0,9 °C in Europa. In Baden-Württemberg nahm die Jahresmitteltemperatur zwischen 1951 und 2000 um 1,5 °C zu (vgl. Kapitel 3.4.2). Die wärmsten Jahre seit Beginn der systematischen Temperaturerfassung waren 1998, 2002, 2003 und 2005.

Deutliche Auswirkungen des Temperaturanstiegs sind nicht nur global, sondern auch regional zu beobachten: starker Rückgang der Gletschermasse, signifikante Abnahme der Frosttage, Zunahme von Extremwetterereignissen wie Starkniederschlägen und Nässeperioden, Vorverlagerung der Obstblüte, Ausbreitung von wärmeliebenden Tieren (vgl. Kapitel 3.4.3).

Hauptursache für den Klimawandel ist die Verbrennung fossiler Energieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas) und die damit verbundene Emission des Treibhausgases Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). So ist die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre seit Mitte des 19. Jahrhunderts um rund 30 % von ca. 280 auf 370 ppm gestiegen. Da derzeit der weltweite Energieverbrauch weiter steigt, ist mit einem weiteren Anwachsen der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre und damit auch mit einer weiteren Temperaturerhöhung zu rechnen. Der zwischenstaatliche Ausschuss für Klimafragen (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) erwartet bis zum Jahr 2100 einen Anstieg um 1,4 bis 5,8 °C - je nach betrach-

tetem Szenario. Dabei können die Veränderungen regional noch gravierender sein. Neben den bereits beobachteten Folgen, die sich noch deutlich verschärfen werden, sind ein Anstieg des Meeresspiegels, eine Zunahme meteorologischer Extremereignisse und Naturkatastrophen (Stürme, Überschwemmungen, Dürren), ein Aussterben von vielen Tier- und Pflanzenarten, eine Ausbreitung von Infektionskrankheiten und ein Mangel an Trinkwasser zu erwarten.

Aus Klimaschutzgründen muss es deshalb vorrangiges Ziel sein, die CO<sub>2</sub>-Emissionen signifikant zu reduzieren. Das Kyoto-Protokoll, das 2005 mit der Ratifizierung durch Russland völkerrechtlich in Kraft getreten ist, stellt dabei allerdings nur einen ersten Schritt dar. Es sieht eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen (die CO<sub>2</sub>-Emissionen stellen dabei ca. 90 % des Wirkungspotenzials dar) in den Industriestaaten um durchschnittlich 5,2 % von 1990 bis zur Zielperiode 2008 bis 2012 vor. Innerhalb der EU ist eine Reduzierung um 8 % und in Deutschland um 21 % geplant. Während dieses Ziel nach dem derzeitigen Stand in Deutschland erreichbar ist, ist eine Reduktion um 5,2 % weltweit infolge des wirtschaftlichen Aufschwungs in bevölkerungsreichen Staaten wie China und Indien kaum zu erzielen.

Trotzdem ist Baden-Württemberg entschlossen, seinen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Die Landesregierung hat deshalb mit dem Klimaschutzkonzept 2010 ein umfangreiches Maßnahmenpaket verabschiedet, um bis 2010 eine Verdopplung des Anteils der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung auf 11,5 % und am Primärenergieverbrauch auf 4,8 % zu erreichen. Dabei haben hohe Kosteneffizienz und große Multiplikatorwirkung der einzelnen Maßnahmen Vorrang. Die Schwerpunkte liegen in den Bereichen energetische Modernisierung von Gebäuden, umweltfreundliche Mobilität, Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe und Haushalten, Energieeinsparung in Landesgebäuden, kommunaler Klimaschutz Ausbau der erneuerbaren Energien sowie Kraft-Wärme-Kopplung. Ergänzend kommen Maßnahmen in den zentralen Querschnittsbereichen Energieforschung, Kommunikation und Umweltbildung hinzu. Durch die Gesamtheit der Aktivitäten sollen die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen um 2 bis 4 Mio. t reduziert werden.



Gleichzeitig unterstützt Baden-Württemberg internationale Vereinbarungen und Projekte zur Reduktion der Treibhausgasemissionen, da aufgrund der globalen Emissionssituation nur weltweite Anstrengungen einen Einfluss auf den Klimawandel haben können.

### 3.2 EMISSIONEN VON TREIBHAUSGASEN

#### 3.2.1 TREIBHAUSGASE UND IHRE RELEVANZ

Das Kyoto-Protokoll, als derzeit wichtigstes Instrument des globalen Klimaschutzes, hat das Ziel, bis zum Zeitraum 2008 bis 2012 die Treibhausgas-Emissionen durch die Industrieländer um 5,2 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Es werden dabei sechs verschiedene Treibhausgase bzw. Treibhausgasgruppen betrachtet:

- Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), z. B. aus Verbrennung von Kohle, Gas, Erdöl
- Methan (CH<sub>4</sub>), z. B. aus Viehzucht, Reisanbau, Deponien
- Lachgas (Distickstoffoxid N<sub>2</sub>O), z. B. aus Stickstoffdüngung, Deponien
- Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC), z. B. aus Aluminium-Produktion
- Halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFC), z. B. aus Kühlmitteln, chem. Industrie
- Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>), z. B. aus Elektroindustrie, chem. Industrie

Während es für die relevanten CO<sub>2</sub>-Emissionen, welche zum weitaus größten Teil aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe stammen, gute vergleichbare Statistiken gibt, sind die restlichen Treibhausgase nur sehr schwer zu bilanzieren, da sie in vielfältigen komplexen Prozessen entstehen bzw. freigesetzt werden. Hinzu kommt eine sehr unterschiedliche Relevanz der verschiedenen Gase für den Treibhauseffekt.

Um die Treibhauswirksamkeit (Global Warming Potential: GWP) der Gase bzw. Gasgruppen durch eine einzige Zahl bewerten und miteinander vergleichen zu können, wird die Treibhauswirkung der Gase mit der von CO<sub>2</sub> verglichen und als „CO<sub>2</sub>-Äquivalent“ bezeichnet (Tab. 3-1).

Wie Abbildung 3-1 zeigt, haben die CO<sub>2</sub>-Emissionen trotz der relativ geringen Treibhauswirksamkeit den größten Anteil an den klimarelevanten Emissionen in Baden-Württemberg. Diese Zahlen zeigen, dass CO<sub>2</sub> aufgrund der großen Emissionsmengen zu Recht der zentrale Ansatzpunkt für Klimaschutzmaßnahmen ist.

Tab. 3-1: CO<sub>2</sub>-Äquivalente einiger Treibhausgase des Kyoto-Protokolls. Quelle: IPCC 1995

	CO <sub>2</sub> -Äquivalente*
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	1
Methan (CH <sub>4</sub> )	21
Lachgas (N <sub>2</sub> O)	310
CHF <sub>3</sub>	11.300
CF <sub>4</sub>	6.500
SF <sub>6</sub>	23.900

\* Zeithorizont 100 Jahre

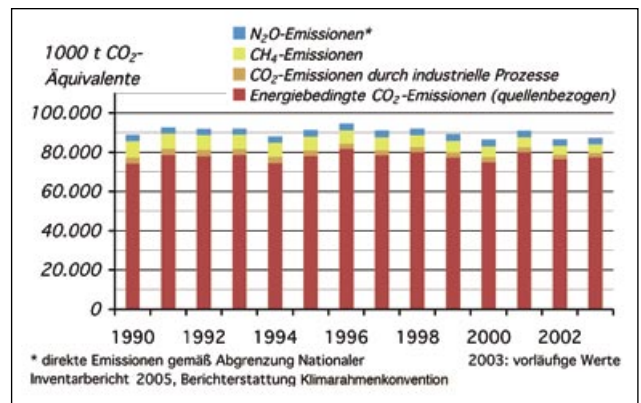


Abb. 3-1: Klimarelevante Emissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt 2006

#### 3.2.2 CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN NACH EMITTENTENGRUPPEN

Im Zeitraum von 1990 bis 2002 sind die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg bei jährlichen, vorrangig witterungsbedingten Schwankungen im Mittel mit rund 78 Mio. t etwa konstant geblieben (Abb. 3-2). Im langjährigen Verlauf ist damit keine Trendumkehr hin zu niedrigeren absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen erkennbar. Allerdings ist bei der Bewertung zu berücksichtigen, dass die Bevölkerung in Baden-Württemberg zwischen 1990 und

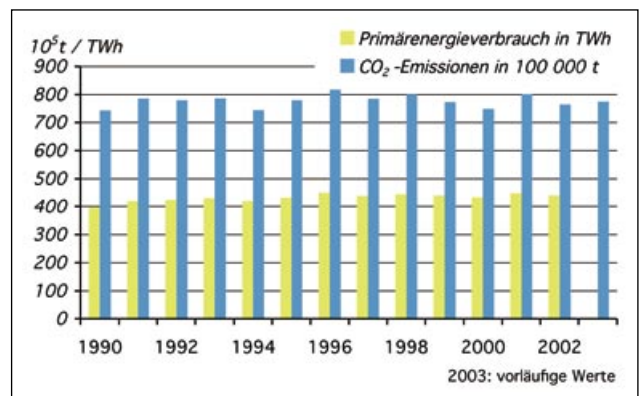


Abb. 3-2: Entwicklung von Primärenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg. Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen, Statistisches Landesamt 2006

2002 um 8,5 % auf 10,66 Mio. Einwohner zunahm. Die spezifische CO<sub>2</sub>-Emission pro Einwohner wurde somit deutlich reduziert.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg können aus der Energiebilanz und aus CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren (kg CO<sub>2</sub> pro verbranntem kg eines Energieträgers) berechnet werden. Neben den energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen gibt es auch nicht-energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen (insgesamt ca. 2,4 Mio. t in 2001 in Baden-Württemberg) z. B. aus der Zementindustrie; diese werden im Folgenden jedoch vernachlässigt.

Der Verlauf der CO<sub>2</sub>-Emissionen 1985 bis 2002 folgt qualitativ der Entwicklung des Primärenergieverbrauchs (Abb. 3-2).

Die Aufgliederung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Emittentengruppen Industrie, Kraftwerke/Raffinerien, Haushalte/Kleinverbraucher und Verkehr zeigt die wachsende Bedeutung des Verkehrs für die CO<sub>2</sub>-Problematik (Abb. 3-3). Der Anteil der Industrie und die Anteile der Haushalte/Kleinverbraucher hingegen gingen bis 2002 deutlich zurück, während der Anteil der Kraftwerke/Raffinerien leicht zugenommen hat.

Mit einer Pro-Kopf-Emission von ca. 7,2 t CO<sub>2</sub>/Einwohner lag Baden-Württemberg 2003 etwa ein Drittel unter dem deutschen Durchschnitt von 10 t CO<sub>2</sub>/Einwohner. Dies liegt zum einen an dem niedrigen spezifischen Primärenergieverbrauch pro Einwohner, als Zeichen hoher Energieeffizienz, zum anderen war der Anteil der Kernenergie am Primärenergieverbrauch im Land mit 26,1 % deutlich höher als im Bundesdurchschnitt (ca. 10 %).

Damit lag Baden-Württemberg bei den Pro-Kopf-Emissionen etwa gleichauf mit den Durchschnittswerten der EU und Japans, jedoch fast doppelt so hoch wie der Welt-durchschnitt.

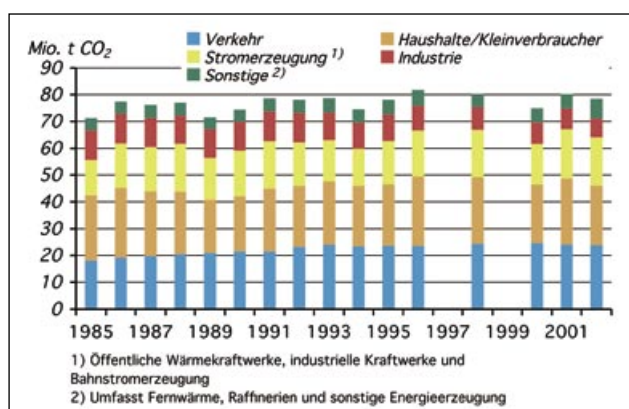


Abb. 3-3: Anteile der Emittentengruppen an den CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg. Quelle: WM 2004

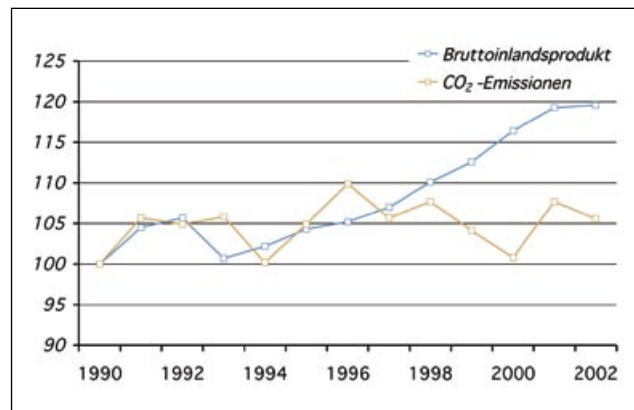


Abb. 3-4: Entwicklung von Bruttoinlandsprodukt (BRP) und CO<sub>2</sub>-Emissionen (1990 = 100).  
Quelle: Statistisches Landesamt 2005

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die erheblichen technologischen Effizienzgewinne in Baden-Württemberg, die sich in der hohen Energieintensität widerspiegeln, durch die starke Zunahme der Bevölkerung und durch den steigenden Wohlstand ausgeglichen wurden. Hinzu kommt die Entwicklung im Verkehrssektor, in dem die Emissionen bis Ende der 1990er Jahre unerwartet stark anstiegen. Deshalb hat sich keine Trendwende bei den absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen eingestellt.

Allerdings ist es gelungen, die im Bundesvergleich niedrigeren Pro-Kopf-Emissionen auf diesem Niveau zu halten, obwohl gleichzeitig das Bruttoinlandsprodukt deutlich gestiegen ist (Abb. 3-4).

### 3.2.3 SONSTIGE TREIBHAUSGASEMISSIONEN NACH EMITTENTENGRUPPEN

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen tragen in Baden-Württemberg mit rund 91 % zum anthropogenen Treibhauseffekt bei (davon rund 89 % energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen). Im Folgenden sollen auch die Emissionen der anderen oben genannten Treibhausgase kurz betrachtet werden.

Die Methan-Emissionen machen in Baden Württemberg bezogen auf ihr Treibhauspotenzial gut 5 % der gesamten Treibhausgas-Emissionen aus (Abb. 3-1). Sie sind zwischen 1990 und 2003 um 47 % zurückgegangen (Abb. 3-5). Verursacher sind zur Hälfte die landwirtschaftliche Tierhaltung, zu einem Drittel Hausmülldeponien und zu einem Zehntel energieverbrauchsbedingte Emissionen (insbesondere Gasverluste). Gründe für die rückläufige Entwicklung sind der Ausbau der Deponiegas erfassung, die Reduzierung der abgelagerten organischen Abfälle und die Reduzierung der Viehbestände bzw. der technische Fortschritt bei der landwirtschaftlichen Produktion.

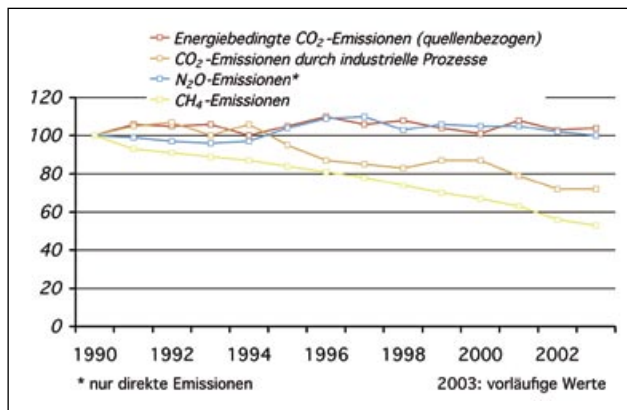


Abb. 3-5: Entwicklung der Distickstoffoxid( $N_2O$ )- und Methan( $CH_4$ )-Emissionen im Vergleich zu  $CO_2$ -Emissionen in Baden-Württemberg (1990 = 100).  
Quelle: Statistisches Landesamt 2006

Der Anteil an Distickstoffoxid (Lachgas) an den Treibhausgasemissionen macht in Baden-Württemberg bezogen auf das Treibhauspotenzial knapp 4 % aus (Abb. 3-1). Die absolut emittierte Menge bewegt sich seit 1990 auf etwa gleichbleibendem Niveau (Abb. 3-5). Hauptquelle sind mikrobielle Umsetzungen von Stoffverbindungen in Böden, die zum Teil auf Stickstoffeinträgen durch Landwirtschaft, Industrie und Verkehr beruhen.

Die weiteren Treibhausgase HFC, PFC und  $SF_6$ , die vor allem aus industriellen Prozessen und Anwendungen stammen, haben in Baden-Württemberg nur etwa 1 % Anteil an den Treibhausgas-Emissionen.

### 3.2.4 REDUKTION VON TREIBHAUSGASEN

Zum 01.01.2005 wurde durch eine EU-Richtlinie der im Kyoto-Protokoll vorgesehene Emissionshandel im industriellen Bereich in Deutschland eingeführt.

Es handelt sich beim Emissionshandel um einen marktbaasierten Ansatz zur Minderung der  $CO_2$ -Emissionen. Der Emissionshandel ermöglicht es Staaten, die ihre Treibhausgasemissionen stärker als erforderlich senken, ihre überschüssigen Reduktionen zu nutzen bzw. mit diesen zu handeln, um sie mit Emissionen aus anderen Quellen innerhalb oder außerhalb des Landes zu verrechnen. Der Handel kann auf nationaler oder internationaler Ebene stattfinden bzw. von Unternehmen untereinander abgewickelt werden. Unternehmen emissionshandlungspflichtiger Anlagen bekommen nach den Regeln des Zuteilungsgesetzes 2007 kostenlos eine bestimmte Menge an Zertifikaten zugeteilt. Unternehmen, die bereits größere Anstrengungen zum Klima-

schutz geleistet haben oder sich als besonders innovativ durch den Einbau klimafreundlicher Technologien zeigen, können überschüssige Zertifikate verkaufen. Sie haben eine zusätzliche Einnahmequelle. Betriebe mit überdurchschnittlichen Emissionen müssen zusätzliche Anstrengungen unternehmen oder Zertifikate zukaufen, um ihre Verpflichtungen zu erfüllen. Wer diese nicht einhält, muss eine Strafe zahlen (in der ersten Handelsperiode (2005 – 2007) 40 Euro pro Tonne Kohlendioxid). Die nicht erbrachte Emissionsminderung muss zusätzlich erfolgen.

In Baden-Württemberg nehmen 174 Anlagen am Emissionshandel teil. Betroffen sind überwiegend Feuerungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von mehr als 20 MW. In Tabelle 3-2 sind die verschiedenen Anlagenarten und die zugeteilten Emissionsberechtigungen (Befugnis zur Emission von einer Tonne Kohlendioxid bzw. Kohlendioxidäquivalent in der Handelsperiode 2005-2007) aufgelistet.

Im Klimaschutzkonzept 2010 der Landesregierung wird betont, dass an dem Ziel, bis 2010 den Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung bzw. am Primärenergieverbrauch gegenüber 2000 zu verdoppeln, festgehalten wird. Parallel dazu sollen durch zielgenaue und kosteneffiziente Maßnahmen der Energieverbrauch und damit auch die  $CO_2$ -Emissionen deutlich gesenkt werden. Die Schwerpunkte konzentrieren sich vor allem auf die Modernisierung von Gebäuden, umweltfreundliche Mobilität, Energieeffizienz, sowie Kraft-Wärme-Kopplung. Begleitend dazu sollen die Energieforschung und die Weiterentwicklung des internationalen Klimaschutzes unterstützt werden.

Die Umsetzung der Maßnahmen hängt zu einem großen Teil von der Haushaltslage und der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung ab.

Tab. 3-2: Anlagenarten und zugeteilte Emissionsberechtigungen (in t  $CO_2$ -Äquivalenten) in Baden-Württemberg.  
Quelle: LUBW 2006

Anlagenart	zugeteilte EB		Anzahl Anlagen	
Feuerungsanlagen (> 50 MW FWL)	60.614.167	69,0%	41	23,6%
Feuerungsanlagen (20-50 MW FWL)	3.834.183	4,4%	65	37,4%
Feuerungsanlage, sonst. Brennstoffe (20-50 MW FWL)	122.037	0,1%	3	1,7%
Gasturbinenanlage	198.099	0,2%	4	2,3%
Mineralölraffinerien	6.172.020	7,0%	2	1,1%
Erschmelzen von Roheisen oder Stahl	453.162	0,5%	1	0,6%
Herstellung von Zementklinker	8.957.721	10,2%	8	4,6%
Brennen von Kalkstein	1.340.778	1,5%	6	3,4%
Herstellung von Glas	853.581	1,0%	4	2,3%
Brennen keramischer Erzeugnisse	477.048	0,5%	13	7,5%
Herstellung von Zellstoff	924.543	1,1%	2	1,1%
Herstellung von Papier und Pappe	3.871.903	4,4%	25	14,4%
Gesamtergebnis	87.819.242		174	

EB: Emissionsberechtigung      FWL: Feuerungswärmeleistung

Die im Klimaschutzkonzept 2010 identifizierten Maßnahmen führen bis etwa 2010 zu einer Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 2 bis 4 Mio. t pro Jahr. Dadurch leistet das Land einen Beitrag zur Erreichung der deutschen Kyoto-Ziele, der deutlich über dem entsprechenden Landesanteil an den Gesamtemissionen liegt. Die tatsächliche Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen hängt allerdings von zahlreichen weiteren Faktoren wie z. B. der Wirtschaftsentwicklung, der Entwicklung der Energiekosten, dem Ausstieg aus der Kernenergie oder dem Verbraucherverhalten ab.

## INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Umweltministerium Baden-Württemberg:

<http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/1804/>

Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH:

<http://www.kea-bw.de/>

Länderarbeitskreis Energiebilanzen:

<http://www.lak-energiebilanzen.de>

## 3.3 ENERGIE

Klimaschutz und Energiefragen sind durch die bei der Energieumwandlung potenziell entstehenden klimaschädlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen eng aneinander gekoppelt. Insbesondere die Energieumwandlung unter Verwendung fossiler Energieträger und der Energieverbrauch spielen deshalb eine Schlüsselrolle bei der Betrachtung von Maßnahmen zum Klimaschutz.

Die vielfältigen Arten der Energienutzung durch den Menschen, z. B. zur Wohnungsheizung, Raumbelichtung oder den Transport und die Produktion von Gütern sind alltäglich präsent, jedoch ist im Gegensatz dazu der wissenschaftliche Energiebegriff in der Alltagssprache nur schwer zu fassen.

Energie ist ein zentraler Begriff der Physik und bedeutet übertragen, die Fähigkeit Arbeit zu verrichten. Energie kann streng genommen weder erzeugt noch verbraucht werden. Was in der Alltagssprache und auch im folgenden Text mit Energieerzeugung und Energieverbrauch gemeint ist, ist aus Sicht des Physikers nur eine Energieumwandlung. In der Summe bleibt bei diesen Umwandlungsprozessen die Energiemenge immer gleich.

In Tabelle 3-3 sind beispielhaft einige Umrechnungsfaktoren für gebräuchliche Energieeinheiten angegeben.

Tab. 3-3: Umrechnungsfaktoren für die gängigen Energieeinheiten. Quelle: Statistisches Landesamt 2005

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

t SKE: Tonne Steinkohleeinheiten, MWh: Megawattstunde, GJ: Gigajoule und t ROE: Tonne Rohöleinheiten

Der Begriff Energieverbrauch benennt streng genommen nur die Entwertung der Energie von Energieformen mit hohem Nutzwert, wie mechanischer Energie oder elektrischer Energie, hin zu Energieformen mit geringem Nutzwert, wie z. B. der Niedertemperaturwärme. Am Ende dieser Kette der verschiedenen Energieumwandlungsprozesse steht im Regelfall eine solche Niedertemperaturwärme, die nach der Energienutzung an die Umgebung abgegeben wird und aus Sicht des Anwenders als „verbraucht“ betrachtet wird.

Für die Ziele des Klimaschutzes, also im konkreten Fall die Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, bieten sich in dieser Umwandlungskette verschiedene Ansatzpunkte. Grundvoraussetzungen sind zum einen die möglichst emissionsarme Energieerzeugung, zum anderen ein möglichst sparsamer und sinnvoller Umgang mit den verschiedenen Energieformen. Gekoppelt sind diese beiden Handlungsfelder durch die möglichst effiziente d. h. mit hohem Wirkungsgrad verbundene Umwandlung und Nutzung der Energie beim Endverbraucher. Umweltfreundliche Energieerzeugung, Energieeinsparung und Energieeffizienz sind die drei wesentlichen Handlungsfelder des Klimaschutzes.

### 3.3.1 ENERGIEERZEUGUNG

Bei der Energieerzeugung in Baden-Württemberg werden sämtliche zur Verfügung stehenden Energieträger – fossile Energie, Kernenergie, regenerative Energie – genutzt. Im Vergleich zu Deutschland spielt in Baden-Württemberg besonders die Kernenergie eine wichtige Rolle im Energiemix. Die verschiedenen Energieträger unterscheiden sich deutlich in den jeweiligen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren. Die Energieerzeugung aus regenerativen Energieträgern und aus Kernenergie ist als weitgehend klimaneutral zu betrachten. Bei den fossilen Energieträgern hat das Erdgas deutliche Emissionsvorteile gegenüber dem Erdöl oder gar der Kohle (Tab. 3-4).

Wie die weltpolitischen Ereignisse der letzten Jahre gezeigt haben, sind neben dem Klimaschutz die Frage der Versorgungssicherheit und die Importabhängigkeit weitere Aspekte der Energieerzeugung aus den verschiedenen Energieträgern.

Tab. 3-4: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren verschiedener Brennstoffe.  
Quelle: LfU 1999

Brennstoff	Heizwert	Emissionsfaktor	
	kWh/kg Brennstoff <sup>1)</sup>	bez. auf Brennstoffmasse kg CO <sub>2</sub> /kg Brennstoff <sup>2)</sup>	bez. auf Energieinhalt kg CO <sub>2</sub> /kWh
Steinkohle	8,14	2,86	0,35
Braunkohle	ca. 5,70	ca. 2,5	ca. 0,44
Erdöl	ca. 11,80	ca. 3,12	ca. 0,27
Erdgas	11,32	2,48	0,22

<sup>1)</sup>Erdgas: kWh/m<sup>3</sup> Brennstoff      <sup>2)</sup>Erdgas: kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> Brennstoff

Ein zunehmender Anteil der Energieerzeugung aus heimischen Energieträgern, wie sie die regenerativen Energien und für Baden-Württemberg insbesondere die Wasserkraft, die Bioenergie und die Geothermie darstellen, bedeuten neben den positiven Klimaschutzaspekten auch einen Übergang zu größerer Unabhängigkeit und verstärkter Wertschöpfung im Lande.

So sind Fragen der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Energieträger und der kostengünstigen Versorgung mit Energie deshalb nicht nur aktuell zu bewerten, sondern auch mit Weitsicht auf die zukünftige Entwicklung hin zu betrachten. Mit Ausnahme von Braun- und Steinkohle sind insbesondere für Erdöl und Erdgas eine zunehmende Verknappung und damit große Preissteigerungen zu erwarten. Uran steht länger zur Verfügung, ist auf dem Weltmarkt relativ breit gestreut und kann in den für die friedliche Nutzung der Kernenergie erforderlichen Mengen gut gelagert werden. Eine vorausschauende und nachhaltige Gestaltung des heimischen Energiemarktes ist deshalb auch eine not-

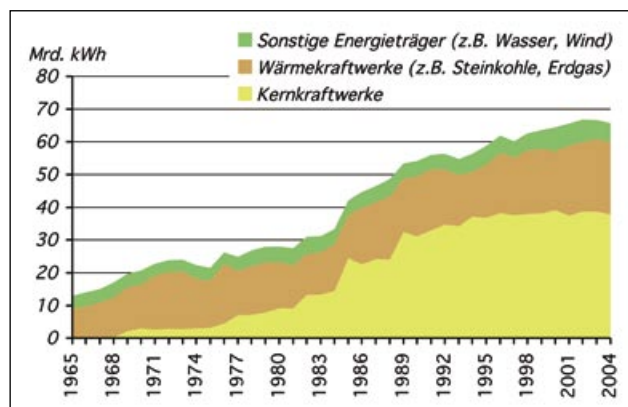


Abb. 3-6: Stromerzeugung in den Kraftwerken der allgemeinen Versorgung in Baden-Württemberg 1965 bis 2004.  
Quelle: Statistisches Landesamt 2005

wendige Voraussetzung für die wirtschaftliche Zukunftssicherung des Landes.

In den Kraftwerken für die allgemeine Versorgung („öffentliche Kraftwerke“) wurden im Jahr 2004 in Baden-Württemberg 65,7 Mrd. kWh Strom erzeugt (gesamte Stromerzeugung 2002: 69,9 Mrd. kWh). Dies waren 0,7 % weniger als im Vorjahr. Weit mehr als die Hälfte des in

Baden-Württemberg erzeugten Stroms stammt aus der Kernenergie. Weitere 28 % des Stroms wurden aus Steinkohle und 4 % aus Erdgas gewonnen. Die Laufwasser- und Speicherwasserkraftwerke erzeugten 4,3 Mrd. kWh, dies waren fast 7 % der Gesamt-erzeugung (Abb. 3-6).

### 3.3.1.1 FOSSILE ENERGIETRÄGER

Trotz der wachsenden Bedeutung und der Förderung der regenerativen Energien, der Verbesserung der Energieeffizienz und der Nutzung der Kernenergie spielen die fossilen Energieträger in Baden-Württemberg immer noch eine zentrale Rolle.

Zwar gelang es, vor allem durch den Ausbau der Kernenergie (1973 ca. 2,6 %, 2002 ca. 26,1 %) den Anteil der fossilen Energieträger am Primärenergieverbrauch von 1973 ca. 93 % auf ca. 69 % im Jahr 2002 zu senken. Jedoch führte eine ca. 38%-ige Zunahme des Primärenergieverbrauchs im gleichen Zeitraum zu einer Zunahme der absoluten Menge des Verbrauchs an fossilen Energien. [WM 2004]

### 3.3.1.2 KERNENERGIE

Im Jahr 1966 wurde in Baden-Württemberg erstmals Strom aus Kernenergie in einem kleinen Forschungsreaktor gewonnen. 1968 ging dann das Kernkraftwerk Obrigheim an das Netz. In den 1970er und 1980er Jahren führten weitere Kraftwerkszugänge zu einer sprunghaften Zunahme der Stromerzeugung aus der Kernenergie (Abb. 3-6). Bereits 1982 wurde mehr Strom aus Kernenergie gewonnen als aus Steinkohle, und seit Inbetriebnahme des Kernkraftwerks Philippsburg II (1984) entfiel in jedem Jahr mehr als die Hälfte der Stromerzeugung in Baden-Württemberg auf die Kernkraftwerke. 1994 war der Anteil mit 65 % am höchsten, im Jahr 2004 betrug er 57,6 % (Anteil an der gesamten öffentlichen Stromerzeugung 2002: 58,1%). In Baden-Württemberg gibt es zurzeit noch vier Kernkraftwerksblöcke, je zwei an den Standorten Philippsburg und Neckarwestheim. Ein fünfter Kernkraftwerksblock in Obrigheim wurde 2005 stillgelegt.

### 3.3.1.3 REGENERATIVE ENERGIEN

Die Nutzung regenerativer Energien ist ein wichtiger Baustein, um die genannten Klimaschutzziele in Baden-Württemberg zu erreichen. Die nachfolgenden Daten geben einen Überblick über die Entwicklung und den aktuellen Stand der Nutzung regenerativer Energien in Baden-Württemberg (Tab. 3-5, Abb. 3-7).

In Baden-Württemberg bieten sich in naher Zukunft vor allem Ausbaupotenziale bei der Wasserkraft, der Bioenergie und der Geothermie an.

In Baden-Württemberg liegt die Quote der regenerativen Stromerzeugung aus *Wasserkraft* bei knapp 6 % der Stromerzeugung. Neben den großen Wasserkraftanlagen gibt es in Baden-Württemberg rund 1 200 kleine Wasserkraftanlagen unter einem Megawatt Leistung, die teilweise seit Jahrhunderten bestehen und früher in der Regel Mühlenstandorte waren.

Ausbaupotenzial bietet vor allem die große Wasserkraft. Die Wasserkraft trug 2005 mit ca. 1 % zum Primärenergieverbrauch in Baden-Württemberg bei, dies entspricht etwa 19 % des Primärenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien. Bei extremer Trockenheit und dadurch geringem Wasserabfluss, wie dies beispielsweise 2003 der Fall war, kann die Energieerzeugung aus Wasserkraft auch deutlich zurückgehen.

In Baden-Württemberg wurden im Jahr 2005 ca. 15 Mrd. kWh *Bioenergie* als Primärenergie genutzt. Dies sind etwa

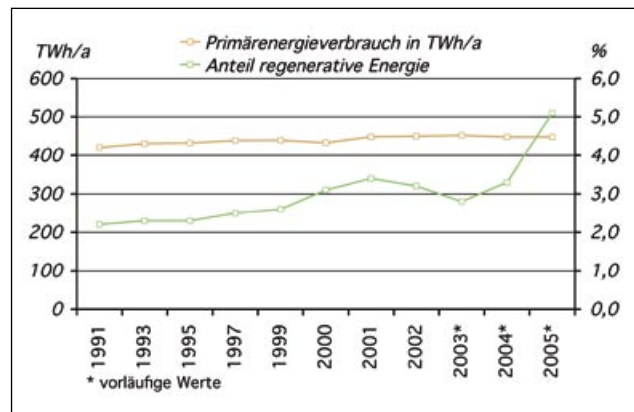


Abb. 3-7: Anteil der regenerativen Energien am Primärenergieverbrauch in Baden-Württemberg. Quelle: WM 2004, UM & WM 2006.

66 % des Primärenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien in unserem Land. Damit trägt die Bioenergie zu ca. 3,4 % zum gesamten Primärenergieverbrauch Baden-Württembergs bei.

Nach einer Potenzialabschätzung der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe könnte Bioenergie bis zu 17 % des Gesamtenergiebedarfs in Deutschland decken. [FNR 2006]

*Geothermie* ist die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Erdoberfläche.

Hier unterscheidet man zwischen der tiefen Geothermie, die sich aufgrund des hohen Temperaturniveaus auch zum Betrieb von kleineren Kraftwerken nutzen lässt, und der oberflächennahen Geothermie, die durch Wärmepumpen vor allem für Niedertemperaturanwendungen, wie der

Tab. 3-5: Nutzung erneuerbarer Energieträger in Baden-Württemberg 1991 bis 2005. Quelle: WM 2004, UM & WM 2006

Energieträger	1991	1993	1995	1997	1999	2000	2001	2002	2003 <sup>3)</sup>	2004 <sup>3)</sup>	2005 <sup>3)</sup>
<i>in TWh</i>											
Wasserkraft	3,66	4,15	4,73	4,49	4,33	5,87	5,14	5,14			
Photovoltaik, Windkraft	-	-	-	-	0,04	0,06	0,11	0,20			
Klärgas und andere Biogase	-	-	0,86	0,98	1,14	1,23	1,85	1,14			
Feste und flüssige Brennstoffe <sup>1)</sup>	-	-	2,35	2,99	2,89	2,81	4,49	3,09			
Abfälle	-	-	2,04	2,28	2,93	3,42	3,50	4,72			
Sonstige <sup>2)</sup>	5,62	5,86	-	-	-	-	-	-			
<b>Insgesamt</b>	<b>9,28</b>	<b>10,01</b>	<b>9,98</b>	<b>10,74</b>	<b>11,33</b>	<b>13,39</b>	<b>15,09</b>	<b>14,29</b>	<b>12,21</b>	<b>14,69</b>	<b>22,68</b>
<i>in % des Primärenergieverbrauchs</i>											
Wasserkraft	0,89	0,98	1,09	1,04	1,00	1,36	1,14	1,14			
Photovoltaik, Windkraft	-	-	-	-	0,01	0,01	0,02	0,05			
Klärgas und andere Biogase	-	-	0,21	0,24	0,26	0,28	0,41	0,26			
Feste und flüssige Brennstoffe <sup>1)</sup>	-	-	0,55	0,69	0,67	0,65	1,00	0,69			
Abfälle	-	-	0,47	0,52	0,67	0,79	0,77	1,05			
Sonstige <sup>2)</sup>	1,33	1,35	-	-	-	-	-	-			
<b>Insgesamt</b>	<b>2,22</b>	<b>2,33</b>	<b>2,32</b>	<b>2,49</b>	<b>2,61</b>	<b>3,09</b>	<b>3,34</b>	<b>3,19</b>	<b>2,80</b>	<b>3,30</b>	<b>5,10</b>

<sup>1)</sup> Nachwachsende Rohstoffe      <sup>2)</sup> bis 1993: Windkraft, Klärgas, Holz, Abfall      <sup>3)</sup> vorläufige Angaben für 2003-2005

Raumheizung, nutzbar ist. Derzeit trägt die Geothermie mit etwa 260 Mio. kWh Wärme noch nicht in größerem Umfang zur Energiebereitstellung in Baden-Württemberg bei.

Bereits die mit heutiger Technik nutzbaren Erdwärmepotenziale übersteigen rechnerisch die fossilen Energiereserven (Kohle, Erdöl, Erdgas) um das Dreifache. Mit geothermischer Energie lassen sich Strom und Wärme erzeugen, und sie kann - anders als Energie aus Wind und Sonne - zu jeder Tages- und Nachtzeit und auch unabhängig von Wasserstand, Witterung und Jahreszeit genutzt werden.

Baden-Württemberg ist prädestiniert, eine bedeutende Rolle für die Geothermie-Nutzung in Mitteleuropa zu übernehmen, da z. B. der Oberrheingraben und das süddeutsche Molassebecken sehr günstige Voraussetzungen für die Erdwärmenutzung bieten. Hier werden lokale Temperaturzunahmen von mehr als vier Grad Celsius pro 100 Meter Tiefe erreicht, während es in Deutschland im Mittel nur drei Grad sind. In besonders günstigen Teilen des Oberrheingrabens, insbesondere im mittleren und nördlichen Teil, nimmt die Temperatur häufig sogar mit etwa sechs Grad Celsius pro 100 Meter Tiefe zu.

Bei der Nutzung der *Solarenergie* muss man zwischen Anlagen zur Wärmeerzeugung (Solarthermie) und den Anlagen zur Erzeugung von elektrischem Strom (Photovoltaik) unterscheiden.

Solarthermische Anlagen dienen vor allem zur Heizungsunterstützung und zur Wassererwärmung im Haushalt. Aufgrund langjähriger Entwicklungen und entsprechender Betriebserfahrungen bei dieser Art der Solarenergienutzung können die am Markt befindlichen Anlagen als ausgereift und betriebssicher betrachtet werden.

Im Jahre 2005 wurden in Baden-Württemberg, das im deutschlandweiten Vergleich sehr gute Bedingungen für die Solarenergienutzung hat, etwa 667 Mio. kWh Wärme durch Solarthermie erzeugt. Die weitere Entwicklung der Verbreitung dieser Anlagen wird derzeit noch von den verhältnismäßig hohen notwendigen Investitionen gebremst. Hinzu kommt, dass bei der Solarenergie die Zeiten des hohen Wärmebedarfs (Winter) nicht mit den Zeiten des hohen Solarenergieangebotes (Sommer) zusammenfallen. Hier ist die Weiterentwicklung von Langzeitspeichern zur Marktreife hin erforderlich. Auch die Entwicklung solarer Kühlmöglichkeiten verspricht für die Zukunft weitere Anwendungsbereiche für die thermische Solarenergienutzung.

Photovoltaikanlagen wandeln durch einen physikalischen Effekt das Sonnenlicht direkt in elektrischen Strom um. Derzeit ist jedoch der Wirkungsgrad solcher Solarzellen noch gering (ca. 7-18 %). Hinzu kommen die sehr hohen Kosten und der relativ hohe Energiebedarf zur Herstellung solcher Anlagen. Die Stromerzeugung im Jahr 2005 war mit etwa 262 Mio. kWh noch sehr gering und deckte damit nur knapp 0,4 % der gesamten Stromerzeugung in Baden-Württemberg.

*Windenergie* dient wie die Photovoltaik nur der Stromerzeugung und ihre Nutzung hat somit fast keine Auswirkungen auf den Wärmemarkt. Ähnlich wie die Solarenergie unterliegt sie auch starken Schwankungen beim Angebot, was Ersatzkapazitäten bei den Kraftwerken bzw. im Stromverbund notwendig macht.

Baden-Württemberg ist als Binnenland, im Gegensatz zu den nördlichen Bundesländern, kein prädestinierter Standort zur Windenergienutzung. Die für die Windenergienutzung in Baden-Württemberg wirtschaftlich geeigneten Standorte liegen zudem häufig in Gebieten, die aus Landschaft- und Naturschutzgründen besonders sensibel sind. Dies setzt weitere Nutzungsgrenzen.

Ende 2005 standen von 17 574 Windenergieanlagen in Deutschland nur 261 in Baden-Württemberg. Die Windenergie trug in Baden-Württemberg im Jahre 2005 mit etwa 285 Mio. kWh zur Stromerzeugung bei, was etwa 0,4 % der Stromerzeugung entsprach. [BWE 2006]

### **3.3.2 ENERGIEVERBRAUCH – PRIMÄRENERGIE, ENDENERGIE, NUTZENERGIE**

In der Kette der verschiedenen Energieumwandlungsprozesse benutzt man üblicherweise die Oberbegriffe Primärenergie, Endenergie und Nutzenergie. So wird aus der Primärenergie, die beispielsweise als chemische Energie im Erdgas oder der Kohle gespeichert ist, durch Energieumwandlung in einem Kraftwerk die Endenergie elektrischer Strom. Dieser elektrische Strom wird über das Leitungsnetz zu den Verbrauchern geleitet und dort in vielfältiger Weise z. B. zum Antrieb von Maschinen oder zur Lichterzeugung in Form der eigentlichen Nutzenergie verwendet. Bei jedem dieser Umwandlungsschritte entsteht aus physikalischen Gründen auch ein nicht nutzbarer Anteil, der im Regelfall in Form von Wärme an die Umgebung abgegeben werden muss. Das Verhältnis zwischen genutzter Energie und eingesetzter Energie wird als Wirkungsgrad bezeichnet.

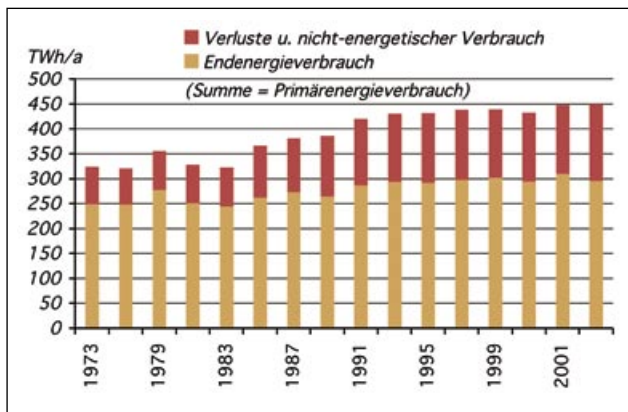


Abb. 3-8: Entwicklung des Primär- und Endenergieverbrauchs in Baden-Württemberg. Quelle: WM 2004

### 3.3.2.1 PRIMÄRENERGIE

Insgesamt hat der Primärenergieverbrauch (PEV) von 1973 bis 2002 um ca. 38 % zugenommen (Abb. 3-8). Die Entwicklung des PEV in Baden-Württemberg von 1973 bis 2002 macht die Auswirkungen der beiden „Ölkrisen“ 1973 und 1979 sichtbar, die einen Rückgang des Energieverbrauchs in den jeweiligen Folgejahren mit sich brachten.

Die Verluste bei der Energieumwandlung von Primär- in Endenergie von ca. 154 TWh bei einem PEV 2002 von ca. 450 TWh entstehen überwiegend bei der Stromproduktion. Hierbei wird unter Einsatz der derzeit gängigen Techniken nur etwa ein Drittel der eingesetzten Primärenergie als Endenergie in Form von Strom gewonnen, der Rest geht als Abwärme verloren. Der auffällige Anstieg der Verlustquote bei der Energieumwandlung (1973 23 %, 2002 ca. 34 %) ist daher auf den immer größer werdenden Anteil des Stromverbrauchs am Endenergieverbrauch zurückzuführen.

Zwischen den Energieträgern gab es von 1973 bis 2002 große Verschiebungen. Insbesondere wurde, in erster Linie als Reaktion auf die Ölkrise, der Anteil des Erdöls am Primärenergieverbrauch von über 75 % (1973) auf weniger als 40 % (2002) zurückgeführt. Entsprechend wurde insbesondere die Kernenergie ausgebaut (Anteil 1973: 2,6 %, Anteil 2002: ca. 26,1 %), und es kam verstärkt Erdgas zum Einsatz (Anteil 1973 ca. 6,9 %, Anteil 2002 ca. 17,3 %) (Abb. 3-9).

### 3.3.2.2 ENDENERGIE UND NUTZENERGIE

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

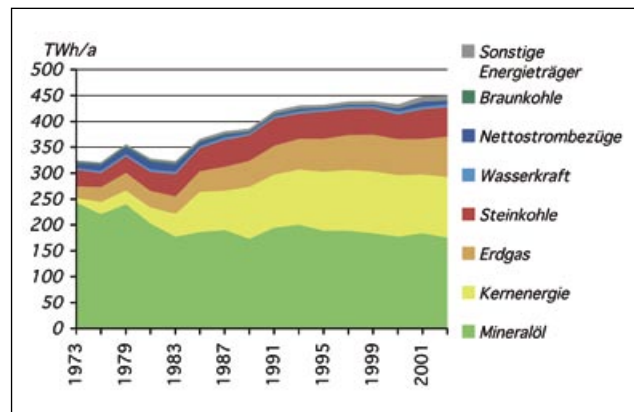


Abb. 3-9: Anteile der Energieträger am Primärenergieverbrauch in Baden-Württemberg. Quelle: WM 2004

verwechseln mit der Nutzenergie, das heißt derjenigen Energie, die letztlich wirklich der Verbraucher benötigt, um eine bestimmte Raumwärme, die Beleuchtung eines Raumes, eine Transportleistung oder eine bestimmte Prozesstemperatur zu erzielen. 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 ebenso wie Haushalte und Kleinverbraucher setzen ca. 50 bis 60 % der Endenergie in Nutzenergie um, der Verkehr nur ca. 20 bis 25 %. Insgesamt beträgt das Verhältnis von Primär-, zu End- zu Nutzenergie heute etwa 3:2:1.

Mit knapp 296 TWh lag der EEV im Land auch 2002 über dem Durchschnitt der 1980er Jahre von ca. 260 TWh [WM 2004]. Die zeitliche Entwicklung des EEV ist naturgemäß qualitativ im Wesentlichen identisch mit der des PEV (Abb. 3-8).

Markante Verschiebungen ergaben sich während der vergangenen zwanzig Jahre bei den prozentualen Anteilen der einzelnen Energieträger Mineralprodukte (Heizöl, Benzin, Diesel, Flugbenzin), Erdgas (einschließlich Erdölgas), Kohle (einschließlich eines geringen Anteils sonstiger Brennstoffe wie Holz und Abfall), Strom und Fernwärme (Abb. 3-10).

Das starke Absinken des Mineralölsanteils von 74,5 % (1973) auf 50,5 % (2002) ist in erster Linie auf den Ersatz von Heizöl durch Erdgas beim Hausbrand zurückzuführen. Im Zuge dieser Entwicklung konnte Erdgas seinen Anteil von 5,4 % (1973) auf über 20 % (2002) ausbauen [WM 2004].



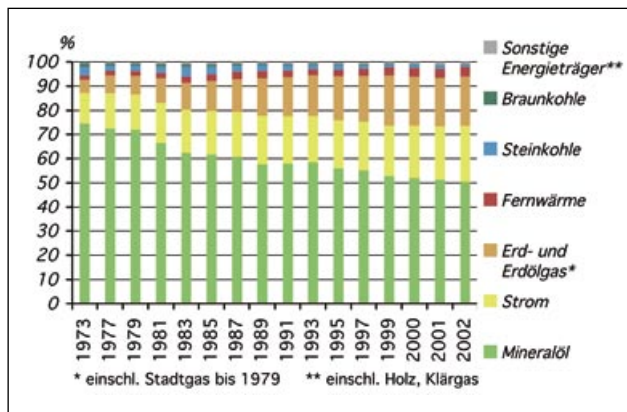


Abb. 3-10: Prozentuale Anteile der Endenergieträger am Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg. Quelle: WM 2004

Einen immer größeren Anteil am Endenergieverbrauch nimmt der elektrische Strom ein. Der Stromanteil am Endenergieverbrauch hat sich von 12,8 % 1973 auf ca. 23 % 2002 fast verdoppelt [WM 2004]. Bei der besonders hochwertigen Endenergieform „Elektrischer Strom“ bestehen große Einsparpotenziale.

Die prozentualen Anteile der Verbrauchergruppen Industrie, Haushalte/Kleinverbraucher, und Verkehr am Endenergieverbrauch zeigt Abbildung 3-11.

Wie der Anteil der Verbrauchergruppen am Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg zeigt, sind die Verbrauchergruppen Haushalt und Verkehr so bedeutend, dass eine Aussage wie „Klimaschutz geht uns alle an“ keinesfalls eine übertriebene Überzeichnung der Problematik ist.

Die Entwicklung ist von einer Zunahme des Verkehranteils und einer Abnahme der Industrie gekennzeichnet. Die Tatsache, dass die Industrie in Baden-Württemberg im Vergleich zur Bundesrepublik Deutschland einen gerin-

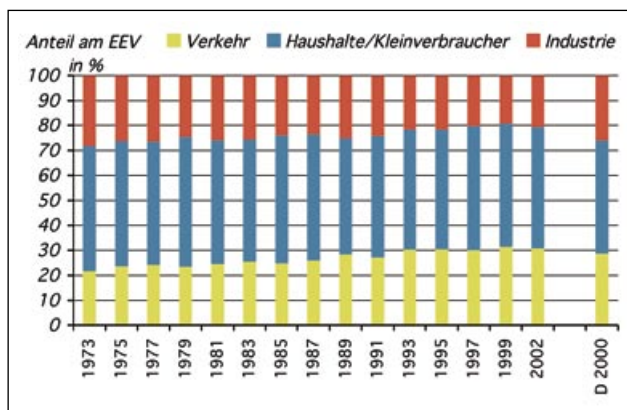


Abb. 3-11: Prozentuale Anteile der Verbrauchergruppen am Endenergieverbrauch (EEV) in Baden-Württemberg. Quelle: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2006

geren Anteil an der Endenergie aller Verbrauchergruppen einnimmt, ist nicht zuletzt auf die höhere Energieeffizienz und die Struktur von Industrie und Gewerbe in Baden-Württemberg zurückzuführen.

### 3.3.3 ENERGIEEFFIZIENZ

Im Vergleich zum Bundesdurchschnitt wird die Energie in Baden-Württemberg sehr effizient genutzt. Außerdem ist in Baden-Württemberg die energieintensive Grundstoff- und Produktionsgüterindustrie unterdurchschnittlich vertreten.

Als Vergleichsmaßstab wird hier der Energieverbrauch auf das Bruttoinlandsprodukt (BIP) oder die Einwohnerzahl bezogen. Für das Jahr 2000 ergab sich ein Wert von 1,46 kWh/Euro (PEV/BIP) bzw. 40,75 MWh (PEV/Einwohner) (Abb. 3-12). Für ganz Deutschland liegen diese Werte deutlich höher (PEV/BIP = 1,95 kWh/Euro, PEV/Einwohner = 48,52 MWh).

#### 3.3.3.1 STROMEFFIZIENZ BEI INDUSTRIE, GEWERBE UND HAUSHALTEN

Der elektrische Strom wird zu ungefähr gleichen Teilen in der Industrie, im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und in den privaten Haushalten verbraucht.

In der Industrie finden sich die Strom-Effizienzpotenziale hauptsächlich bei elektrischen Antrieben, die zwei Drittel des Industriestromverbrauchs verursachen. Energieeffiziente Elektromotoren, bessere Systemauslegungen, Bedarfsanpassungen, Steuerungen und Regelungen können hier zu rund 25 % Einsparung führen. Hiervon ist die Hälfte bereits heute wirtschaftlich umsetzbar.

Beim Sektor Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD) liegen die Sparmöglichkeiten vor allem bei der Beleuch-

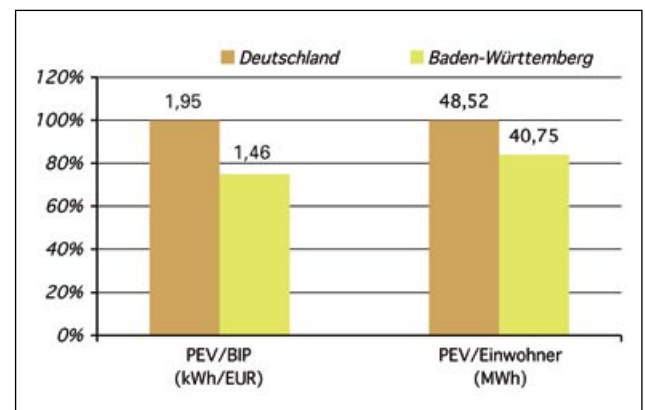


Abb. 3-12: Vergleich Deutschland - Baden-Württemberg beim Primärenergieverbrauch 2000. Quelle: Statistisches Landesamt, LfU 2002

tung, beim Kühlen und Gefrieren, bei der Informations-/Kommunikationstechnik sowie bei der Raumlufttemperierung und Klimatisierung.

Auch in privaten Haushalten sind große Einsparpotenziale vorhanden. Ansatzpunkt ist hier der Einsatz moderner energieeffizienter Haushaltsgeräte.

Allerdings werden zunehmend Erfolge bei der Energieeinsparung in diesem Bereich durch neue Ansprüche und Verhaltensweisen der Endverbraucher wieder zunichte gemacht.

Die wahrnehmbar verstärkte Nutzung von Telekommunikationsgeräten, Unterhaltungselektronik oder der verstärkte Einsatz elektrischer Haushaltsgeräte spricht hier eine deutliche Sprache. Viele dieser Geräte, wie z. B. Mobiltelefone, Digitalkameras, Spielkonsolen oder Endgeräte zur Internet-Nutzung sind entweder durch Akku-Verwendung und Ladegeräte oder durch permanenten Stand-by-Betrieb in ihrer Summe zu ernst zu nehmenden Energieverbrauchern geworden, deren Nutzung vor wenigen Jahren noch gar nicht absehbar war.

### 3.3.3.2 PERSPEKTIVEN FÜR DEN STROMVERBRAUCH

Realistischerweise muss man davon ausgehen, dass nur ein Teil der technisch möglichen und auch der wirtschaftlichen Stromeinsparung umgesetzt wird. Hemmnisse wie Unwissen, Trägheit, Motivationsmangel tragen dazu bei. Ferner werden nicht alle wirtschaftlich rentablen Potenziale erschlossen, weil die erforderlichen Investitionen Hemmnisse darstellen. Zudem verlangsamen die Produkt- bzw. Modernisierungszyklen die Nutzung der Einsparpotenziale. Beispielsweise werden Sanierungsmaßnahmen bei der Gebäudeheizung eher an deren Lebensdauer ausgerichtet als an wirtschaftlichen Prognosen und Förderprogrammen. Die Unsicherheit der Prognosen hinsichtlich langfristiger Entwicklungen spielt dabei eine bedeutende Rolle. Hinzu kommt ein Anwachsen des Stromverbrauchs durch neue Anwendungen, die weitere Zunahme der Haushalte und damit auch Zuwachs an insgesamt installierten Elektrogeräten.

### 3.3.3.3 WÄRMEFFIZIENZ BEI INDUSTRIE UND GEWERBE

Für Raumwärme werden in Baden-Württemberg 34 % der Endenergie aufgewendet, für Prozesswärme (für Industrie, Gewerbe und Brauchwarmwasser) sind es 22 %.

Der große prozentuale Anteil des Wärmemarktes am Endenergieverbrauch, insbesondere auch durch die Haushalte, zeigt, dass effektiver Klimaschutz gerade auch in diesem

Bereich notwendig ist. Aus diesem Grunde werden durch Maßnahmen wie den Energiesparcheck Baden-Württemberg, aber auch durch Förderprogramme im Bereich der Altbausanierung wichtige Weichen für den Klimaschutz gestellt.

In der Industrie bestehen erhebliche Wärmesparpotenziale bei Querschnittstechnologien, z. B.

1. durch Recycling, Kreislaufführung und Lebensdauerverlängerung für Produkte,
2. durch Wärmerückgewinnung,
3. durch Modernisierung bei Öfen und Trocknungsanlagen.

### 3.3.3.4 WÄRMEFFIZIENZ IN HAUSHALTEN

Moderne Häuser benötigen sehr wenig Energie, hier haben die Entwicklung der Bautechnik und die intelligente Nutzung der Baustoffe in den letzten Jahrzehnten große Fortschritte gemacht.

Jedoch ist für den Erfolg von Klimaschutzmaßnahmen in diesem Sektor gerade der Altbaubestand der Hauptansatzpunkt für Maßnahmen. Durch die energetische Sanierung von bestehenden Gebäuden, etwa durch den Einbau moderner Heiz- und Regelungstechnik und verbesserte Wärmedämmung, könnten je nach Situation bis über 50 % an Heizkosten und damit auch an Kohlendioxidemissionen eingespart werden.

Je geringer der Energieverbrauch ist, desto weniger Belastungen fallen für die Umwelt an. Für die Senkung des Energieverbrauchs und damit der klimarelevanten CO<sub>2</sub>-Emissionen sind vor allem energiebewusstes Verhalten, rationelle Energieumwandlung und sparsame Verwendung (Steigerung der Wirkungsgrade und Nutzenergieeinsparung aufgrund moderner Techniken) notwendig. Hinzu kommen die Verringerungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Einsatz regenerativer Energiequellen.

Ein weiteres Hindernis auf dem Weg zu einem niedrigeren Energieverbrauch, insbesondere bei fossilen Brennstoffen, ist die noch immer geringe Wirtschaftlichkeit vieler Maßnahmen. Dies ist darin begründet, dass die mit dem Energieverbrauch verbundenen Umweltschäden als externe Kosten nicht im Energiepreis berücksichtigt sind. Es sind daher umfangreiche politische und gesellschaftliche Anstrengungen erforderlich, um die Möglichkeiten zur Energieverbrauchssenkung und der damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion zumindest annähernd auszuschöpfen.



chendeckende Zunahme der Lufttemperatur stattfand (Abb. 3-13). Die Temperaturzunahme im Winter bedingt eine Abnahme der Schneedeckendauer und eine Änderung im Schneeschmelzverhalten. Gleichzeitig nahm der Niederschlag sowohl im Gebietsmittel als auch in den stationsbezogenen Starkniederschlägen regionalspezifisch im Winter und Frühjahr zu, so dass häufigere und intensivere Niederschläge auftraten. Zusammen mit einem häufigeren Auf- und Abbau der Schneedecke in tieferen und mittleren Höhenlagen wächst das Niederschlagsdargebot (Summe aus Regen und Wasserabgabe aus der Schneedecke) an.

Im Sommer sind die Veränderungen weniger deutlich ausgeprägt; tendenziell zeigen sich trockenere Sommer mit nur einer geringen Zunahme der Lufttemperaturen (Ausnahme: August). Die erwähnten Änderungen der hydro-meteorologischen Größen haben Auswirkungen auf das mittlere Verhalten des Gebietswasserhaushalts. Das Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse zeigt jedoch bei der überwiegenden Anzahl der Pegel keine Änderung der Jahreshöchstabflüsse. Lediglich die Häufigkeit kleinerer Hochwasser hat insbesondere im Winterhalbjahr gebietsweise zugenommen.

Die klimatischen Bedingungen in Süddeutschland mit Auswirkungen auf den gesamten Wasserhaushalt haben sich im vergangenen Jahrhundert – insbesondere während der letzten zwei bis drei Jahrzehnte – verändert. Die gefundenen Trends legen den Schluss auf einen Einfluss des Menschen auf das globale und regionale Klima nahe. Wegen der ebenfalls im Langzeitverhalten erkennbaren Änderungen in den zeitlich-statistischen Kennwerten der Zeitreihen, ist eine Aufspaltung in natürliche und menschliche Einflüsse äußerst schwierig.

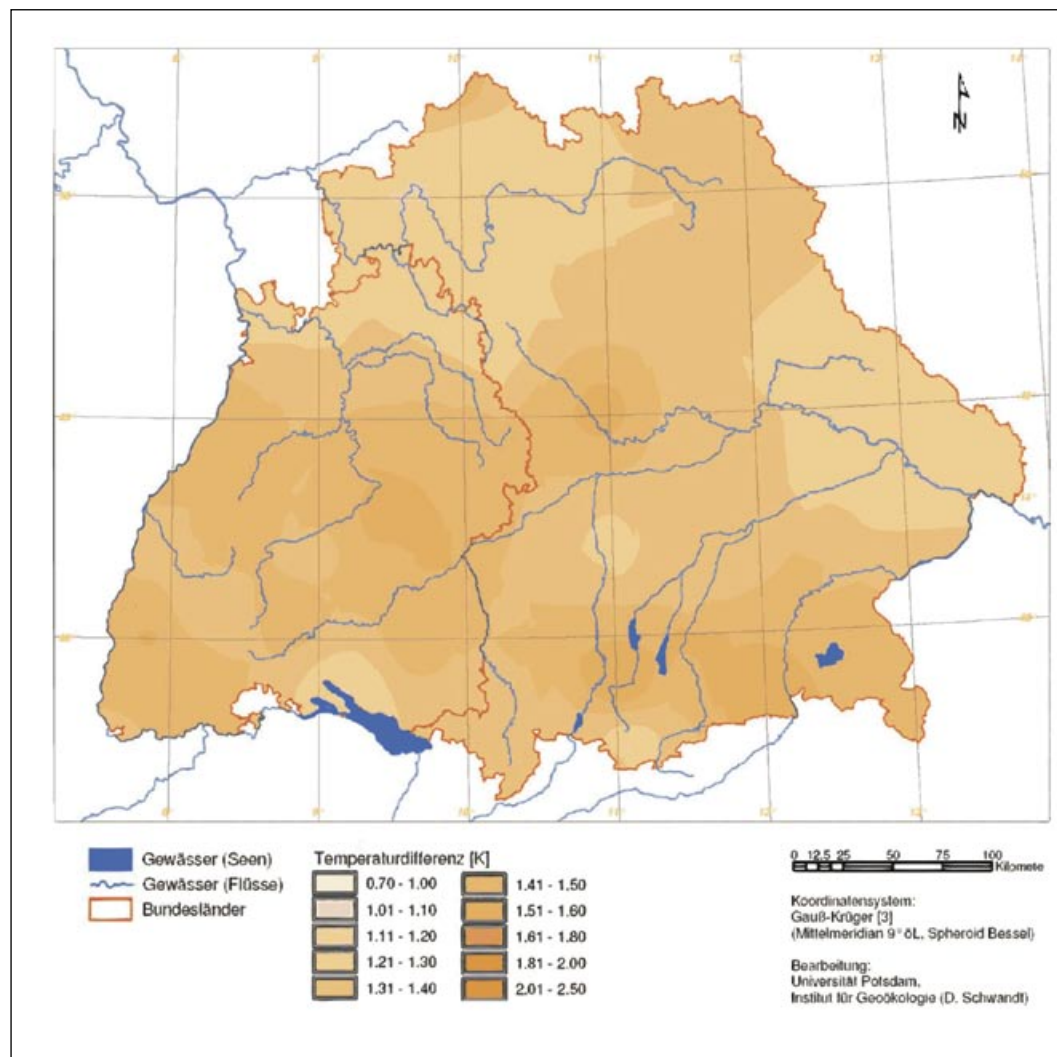
Abb. 3-14: Änderung der künftigen Lufttemperatur [°C] im Sommer gegenüber heute.  
Quelle: Arbeitskreis KLIWA 2005

### 3.4.2 REGIONALE KLIMASZENARIEN BIS 2050

Im Rahmen des KLIWA-Projekts wurden regionale Klimaszenarien hinsichtlich der zu erwartenden Veränderungen der Klimagrößen erstellt. Hierfür wurden jeweils Simulationen der Jahre 1971 bis 2000 als Ist-Zustand und der Jahre 2021 bis 2050 als zukünftig erwarteter Zustand (Zukunftsszenario) definiert. Die nachfolgenden Aussagen konzentrieren sich auf den Bereich des Landes Baden-Württemberg. Die flächenhaften Darstellungen zeigen wegen der weitgehenden klimatologischen Homogenität das gesamte KLIWA-Gebiet Baden-Württemberg und Bayern.

#### 3.4.2.1 LUFTEMPERATUR

Die Lufttemperatur wird in Baden-Württemberg auch in Zukunft weiter deutlich zunehmen. Im Sommerhalbjahr wird die mittlere Tagestemperatur ca. 15°C betragen, im Winter ca. 4,5°C. Die Zunahmen fallen im hydrologischen Winter (November bis April) mit ca. 2°C stärker aus als im hydrologischen Sommer (Mai bis Oktober) mit ca. 1,4°C (Abb. 3-14).



Die Temperaturerhöhung ist auch bei den einzelnen Monaten zu erkennen, und das nicht nur bei den mittleren, sondern auch bei den maximalen und minimalen Tagestemperaturen. Sie ist in den Monaten Dezember bis Februar am höchsten. Die erwartete Temperaturzunahme im Winter ist von besonderer Bedeutung, da die Temperatur großen Einfluss auf die Zwischenspeicherung von Niederschlag als Schnee hat und somit entscheidend für die zukünftig zu erwartenden Abflussverhältnisse sein kann.

### 3.4.2.2 FROST- UND EISTAGE

Infolge der Klimaerwärmung wird die Zahl der Frosttage (Tage mit  $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ ) und auch die Zahl der Eistage (Tage mit  $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$ ) deutlich abnehmen, letztere größtenteils um mehr als die Hälfte. Dennoch können Spätfröste im Frühjahr je nach Zeitpunkt große Schäden in der Landwirtschaft verursachen. Auf Grund der erwarteten Erwärmung wird der letzte Frost im Frühjahr im Mittel früher auftreten als derzeit, so dass sich für die Landwirtschaft die Gefahr von Frostschäden verringert.

### 3.4.2.3 SOMMERTAGE UND HEISSE TAGE

Die Anzahl der Sommertage (Tage mit  $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$ ) und der heißen Tage (Tage mit  $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ ) wird in Baden-Württemberg deutlich steigen. In Abbildung 3-15 ist die Anzahl der heißen Tage an den einzelnen Klimastationen des Landes für die Ist-Zeit (1971-2000) und für die Zukunft

(Szenario 2021-2050) dargestellt. Teilweise wird sie um mehr als das Doppelte zunehmen.

### 3.4.2.4 NIEDERSCHLAG

Die Niederschläge werden sich im Sommer in Baden-Württemberg wenig verändern ( $< 10\%$ ). Die Winterniederschläge jedoch werden deutlich zunehmen. Je nach Region beträgt die unterschiedlich stark ausgeprägte Zunahme bis zu 35 % (Abb. 3-16).

Ebenfalls steigen wird die Zahl der Tage mit hohen Niederschlägen ( $> 25\text{ mm}$ ) im Winter. An der Klimastation Freudenstadt z. B. wird in den Monaten Dezember bis Februar die Zahl der Tage mit Niederschlägen größer 25 mm im Mittel um ca. das Doppelte zunehmen.

### 3.4.3 AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS

#### 3.4.3.1 WASSERWIRTSCHAFT

Die Auswertungen zeigen, dass aufgrund der Klimaänderung in Zukunft von einer Erhöhung der Hochwasserabflüsse auszugehen ist. Die bisherigen Untersuchungen geben Anlass, den bisherigen Weg bei der Festlegung von Bemessungsabflüssen zu modifizieren und zusätzlich einen „Lastfall Klimaänderung“ bei neuen Hochwasserschutzkonzepten und Neuplanungen mit zu untersuchen. Dies erfolgt durch einen Zuschlag („Klimaänderungsfaktor“) zum Bemessungswert z. B.  $HQ_{100}$ . Unter  $HQ_{100}$  versteht man den Hochwasserabfluss, der statistisch betrachtet im

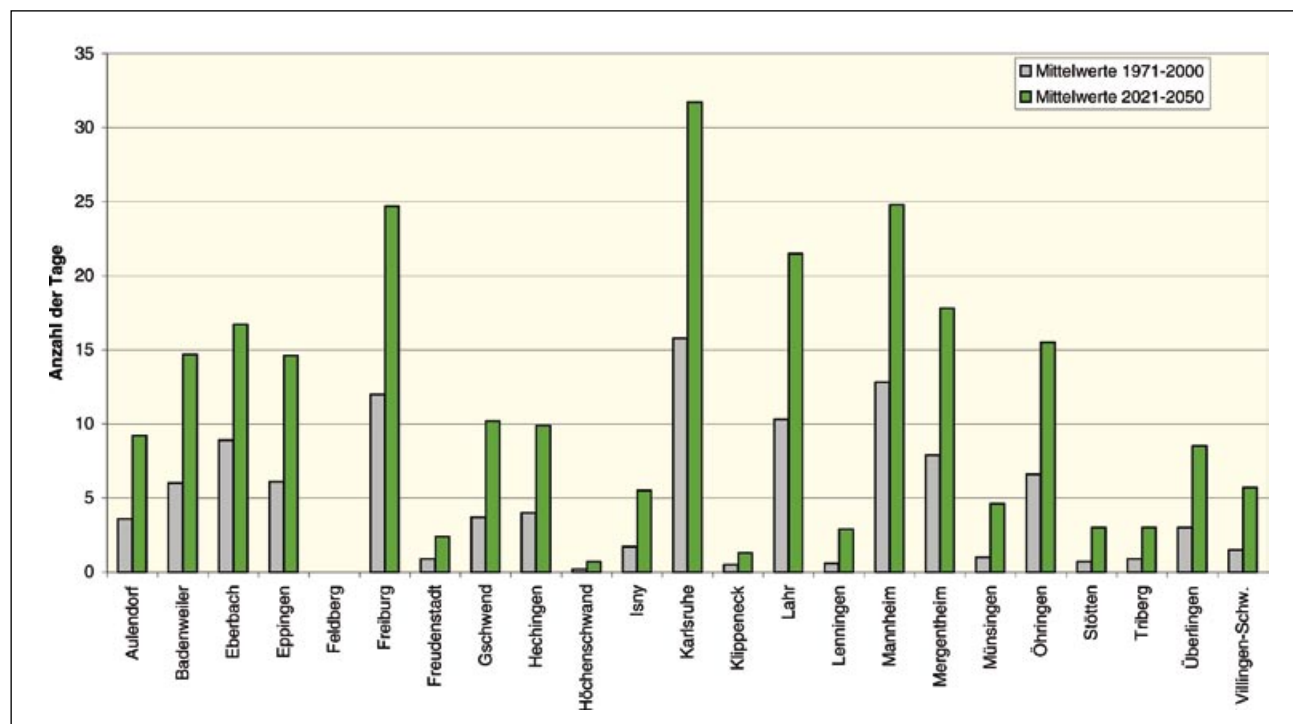


Abb. 3-15: Anzahl der bisherigen und künftigen heißen Tage ( $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ ) pro Jahr. Quelle: Arbeitskreis KLIWA 2005

Durchschnitt alle 100 Jahre einmal auftritt. In Baden-Württemberg ergeben sich je nach Wiederkehrzeit (Jährlichkeit  $T_n$ ) regional unterschiedliche Klimaänderungsfaktoren (Tab. 3-6, Abb. 3-17). So liegt im mittleren und unteren Flusseinzugsgebiet des Neckars der Klimaänderungsfaktor für den hundertjährigen Hochwasserabfluss ( $HQ_{100}$ ) bei einem Wert von 1,15. Für den „Lastfall Klimaänderung“ wird man daher hier den Wert für  $HQ_{100}$  mit dem Klimaänderungsfaktor von 1,15 multiplizieren müssen.

Die Auswertungen zu den Niedrigwasserabflüssen sind noch nicht abgeschlossen. Erste Auswertungen zeigen jedoch, dass das Verhalten jahreszeitlich und regional unterschiedlich ist. Im Sommer werden die Niedrigwasserabflüsse in den meisten Gebieten des Landes abnehmen, am deutlichsten im Bereich des Schwarzwaldes; im Winter werden sie jedoch in den meisten Gebieten des Landes aufgrund der erhöhten Niederschläge zunehmen.

Tab. 3-6: Klimaänderungsfaktoren zur Festlegung des Bemessungshochwassers für die Fluss-Einzugsgebiete in Baden-Württemberg. Quelle: LFU 2005

T [Jahre]	Klimaänderungsfaktoren $f_{T,k}$				
	1	2	3	4	5
2	1,25	1,50	1,75	1,50	1,75
5	1,24	1,45	1,65	1,45	1,67
10	1,23	1,40	1,55	1,43	1,60
20	1,21	1,33	1,42	1,40	1,50
50	1,18	1,23	1,25	1,31	1,35
100	1,15	1,15	1,15	1,25	1,25
200	1,12	1,08	1,07	1,18	1,15
500	1,06	1,03	1,00	1,08	1,05
1000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Bemerkung: für Jährlichkeiten  $T > 1000$  a ist der Faktor gleich 1,0

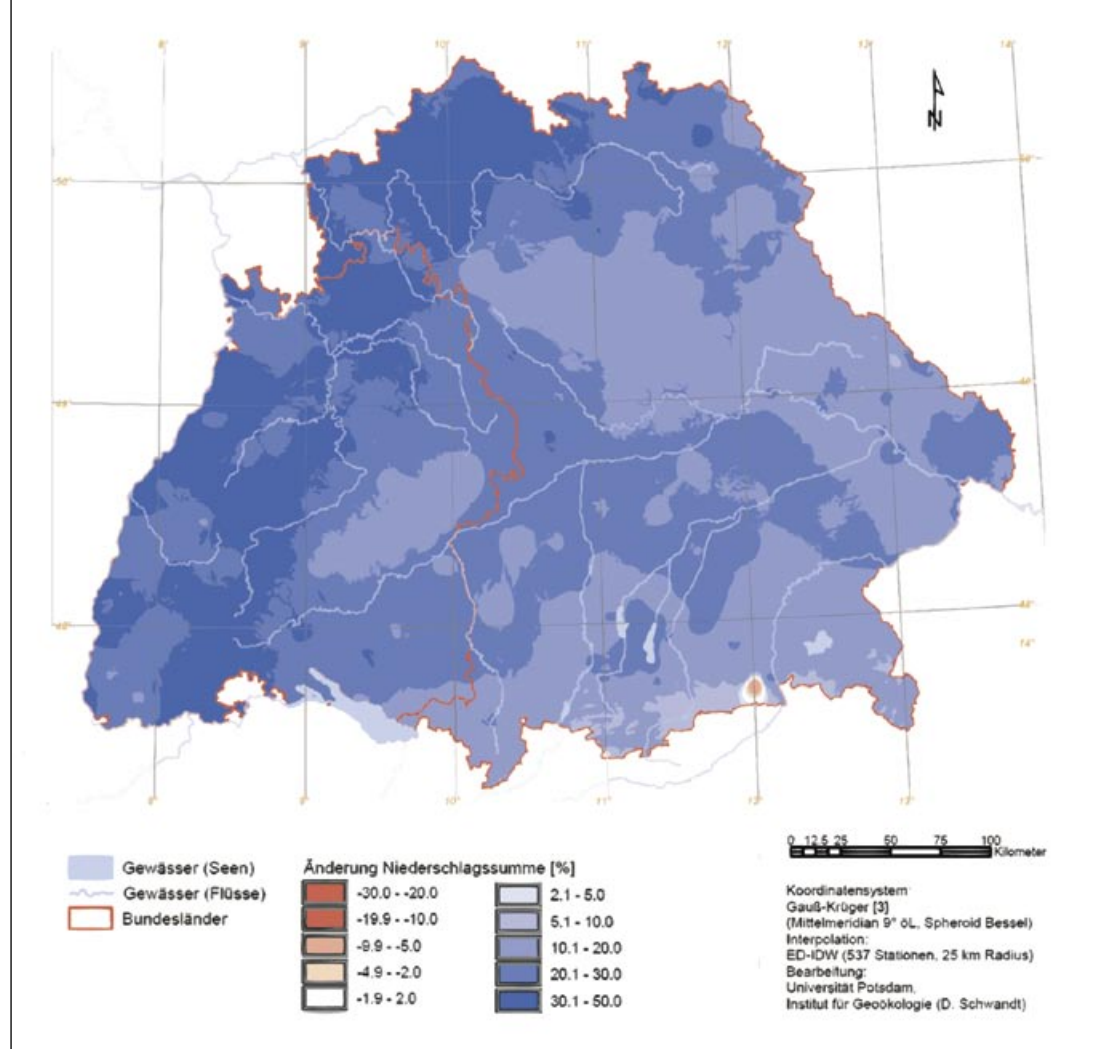


Abb. 3-16: Änderung der künftigen Niederschlagssumme [%] im Winter gegenüber heute. Quelle: Arbeitskreis KLIWA 2005

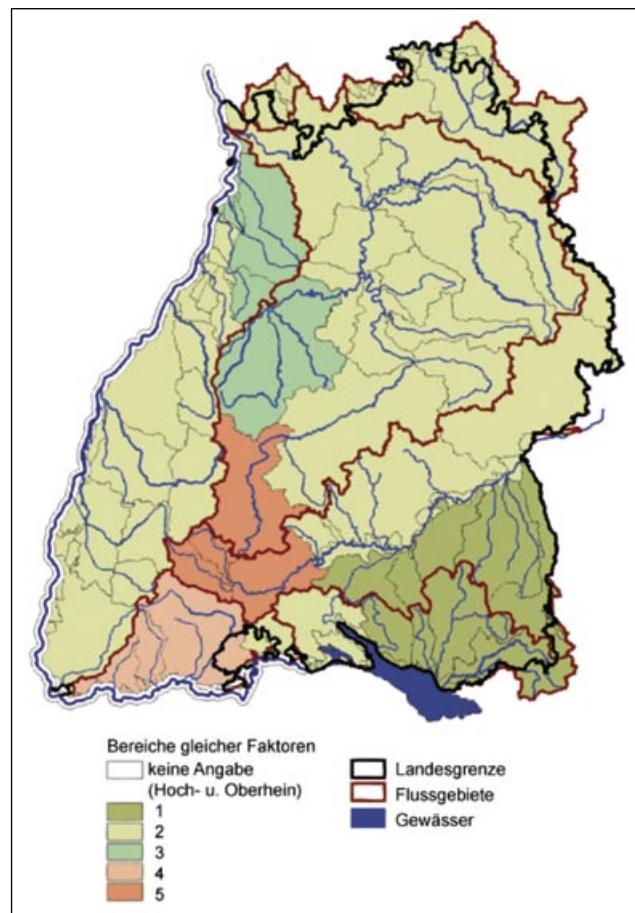


Abb. 3-17: Bereiche gleicher Klimaänderungsfaktoren in Baden-Württemberg. Quelle: LFU 2005

#### 3.4.3.2 LANDWIRTSCHAFT

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft in Baden-Württemberg wurde exemplarisch für die Erträge von Mais und Weizen, die Gefährdung durch Schädlinge im Obstbau sowie die Reifebedingungen im Weinbau untersucht.

Ein wärmeres Klima wird unter den speziellen Bedingungen von Baden-Württemberg bei der postulierten Niederschlagsentwicklung in der Fläche zur Ausdehnung des Maisanbaus führen, da sich die Voraussetzungen für dessen Anbau weiter verbessern. Der in vielen Untersuchungsregionen zunehmende Trockenstress führt demgegenüber beim Weizen wahrscheinlich zu leichten Ertragseinbußen. Die hieraus resultierenden Einnahmeverluste könnten aber durchaus durch bessere Qualitäten in Folge einer verkürzten Reifephase ausgeglichen werden.

In der Bodensee-Region führt ein wärmeres Klima bei weitgehend gleich bleibender Höhe der Jahresniederschläge zu einer vermehrten Anfälligkeit gegenüber Schädlingen im Apfelanbau, wie am Beispiel des Apfelschorfs und des Apfelwicklers gezeigt werden konnte. Bezüglich des Apfelschorfs steigert die Klimaerwärmung das Risiko von Primärfektionen im Frühjahr. Beim Apfelwickler begünstigen die höheren Temperaturen das häufigere Auftreten von zwei Larvengenerationen pro Jahr.

Beim Weinbau ergibt die Beurteilung der klimatischen Entwicklung, dass sich der in den 1990er Jahren beobachtete Trend zu prinzipiell besseren Anbaubedingungen in die Zukunft fortsetzt. Dies könnte in den nächsten Jahrzehnten die Bedingungen des Weinbaus und den Charakter der kultivierten und angebauten Weine nachhaltig beeinflussen.

#### 3.4.3.3 FORSTWIRTSCHAFT

Bedingt durch die auch im Zukunftsszenario noch relativ hohen Niederschläge ist nicht zu erwarten, dass die Wälder regelmäßig unter Trockenstress geraten. Insgesamt ist die erwartete Produktivität der baden-württembergischen Wälder unter dem hier verwendeten Zukunftsszenario bis zur Mitte des kommenden Jahrhunderts eher durch leicht positive Trends gekennzeichnet.

Eine bisher schon beobachtete Auswirkung der Klimaerwärmung ist das frühere Eintreten phänologischer Phasen im Frühjahr. Unter den humiden klimatischen Bedingungen in Baden-Württemberg kann eine vollständige Umsetzung des Potenzials höherer Produktivität infolge frühe-

ren Blattaustriebs erwartet werden. Die Jahresproduktion steigt pro Tag früheren Austriebs um 0,5 bis 1 % an.

#### 3.4.3.4 NATURSCHUTZ

Die Erwärmung des globalen Klimas im vergangenen Jahrhundert beeinflusst auch Ökosysteme stark. Die Veränderungen sind vor allem in den letzten Jahrzehnten festzustellen und betreffen alle ökologischen Ebenen: Populationen, Arten, Ökosysteme. Diese Veränderungen haben folglich auch Konsequenzen für den Naturschutz. Klimaveränderungen können zu Änderungen der Phänologie, Verschiebungen von geografischen Arealen und dem Aussterben kleiner und isolierter Populationen führen. Neue Arten wandern ein, vorhandene Arten verschwinden. Davon sind auch Schutzbemühungen um Arten und Lebensräume betroffen.

Die Analyse einer langjährigen Beobachtungsreihe (1970-2003) der Erstankunftszeiten von 17 *Zugvogelarten* an 13 verschiedenen Orten in Südwestdeutschland ergab, dass sich die Ankunft um durchschnittlich drei bis fünf Tage pro zehn Jahre verfrühte (Abb. 3-18).

Frühere Ankunftsdaten wurden nicht nur bei Kurz-, sondern auch bei Langstreckenziehern festgestellt, allerdings nicht im gleichen Ausmaß. Es wird vermutet, dass die frühere Ankunft darauf zurückzuführen ist, dass sich die Überwinterungsgebiete vieler Arten nach Norden verschoben haben. Das steht in Einklang mit der allgemeinen Tendenz, dass Langstreckenzieher (südlich der Sahara) zu Kurzstreckenziehern (Mittelmeerraum) und Kurzstreckenziehern zu Standvögeln werden. Der Wegflug im Spätsommer verzögert sich bei 9 von 19 getesteten Arten des langjährigen Datensatzes (1972-2003) der Fangstation Mettnau am Bodensee, nur bei zwei Arten wurde eine frühere Ankunft festgestellt. Verspätungen im Herbst sind demnach die deutlich häufiger anzutreffende Verhaltensänderung, allerdings konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen Lang- und Kurzstreckenziehern beobachtet werden.

Zur Untersuchung der Veränderung des Brutverhaltens wurden brutbiologische Daten der Vogelwarte Radolfzell (1971-2002) für vier Arten statistisch ausgewertet. Während bei zwei Arten (Amsel, Hausrotschwanz) kein zeitlicher Trend beobachtet wurde, konnte bei Blaumeise und Halsbandschnäpper ein früherer Legebeginn (ca. drei Tage in zehn Jahren) festgestellt werden. Beim Halsbandschnäpper wurden eine höhere Gelegegröße und ein höherer

Schlüpfertag beobachtet. Der zeitlich frühere Beginn des Brütens wirkt sich also positiv aus. Allerdings ist ein früherer Brutbeginn nicht ohne Risiko, da im Frühjahr auch kurzzeitig ungünstige Witterungsverhältnisse auftreten können und möglicherweise noch nicht genug Nahrung vorhanden ist. Die Auswirkung der Klimaerwärmung auf die Artenzusammensetzung und -verbreitung wurde anhand der Brutvogel-Rasterkartierungen der Ornithologischen Arbeits-

gemeinschaft Bodensee untersucht. Die Bestandsveränderungen zwischen 1980 und 2000 wurden zu Zugverhalten, Bruthabitat und Nord-Südverbreitung der Arten in Beziehung gesetzt. Letztere wurde als Mittelpunkt zwischen Nord- und Südgrenze der Areale in Europa berechnet. Wie auch bei früheren Auswertungen hat sich gezeigt, dass die Bestandsrückgänge vor allem bei Langstreckenziehern und Vögeln des Offenlandes besonders stark ausfielen. Erstmals wurde festgestellt, dass die Bestandsveränderungen unabhängig von Zugverhalten und Bruthabitat auch von der Nord-Südverbreitung abhängen. Südlich verbreitete Arten nahmen zu, während nördlich verbreitete nicht so stark abgenommen haben, wie ursprünglich vermutet. Die Ergebnisse machen deutlich, dass sich Vogelgemeinschaften aufgrund der Klimaerwärmung stark verändern werden und deshalb ein „konservierender“ Naturschutz in Zukunft kaum noch möglich sein wird.

Seit den 1990er Jahren wird vermehrt von der Zunahme Wärme liebender bzw. der Einwanderung südlicher Insekten-Arten berichtet. Im Folgenden wird exemplarisch die Ausbreitung der Gelbbindigen Furchenbiene (*Halictus scabiosae*) gezeigt. Diese Wildbienenart hat ihr Verbreitungsgebiet von Marokko bis Rhodos und Bosphorus, vereinzelt in Mitteleuropa.

Noch vor 15 Jahren waren von der Gelbbindigen Furchenbiene neben mehreren alten Nachweisen nur einzelne neuere Funde aus der Region Südlicher Oberrhein-Kaiserstuhl bekannt. Seitdem konnte sie in Baden-Württemberg in Lagen unter 500 m NN in nahezu allen Regionen nachgewiesen werden (Abb. 3-19). Auch aus anderen Bundesländern

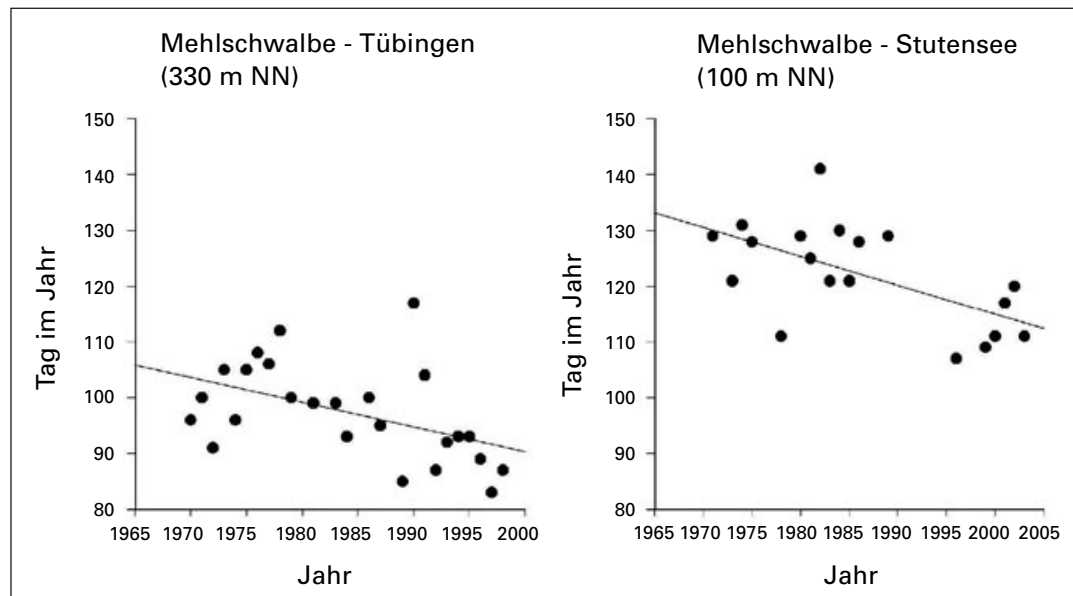


Abb. 3-18: Erstankünfte im Zeitraum 1970-2003 für die Mehlschwalbe an den Standorten Tübingen (links) und Stutensee (rechts). Quelle: STOCK 2005

gibt es Meldungen über merkliche Bestandszunahmen und Arealerweiterungen bis nach Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen.

Der in Abbildung 3-19 dargestellte Verlauf der Ausbreitung findet sich auch bei anderen Arten wieder. Es sind

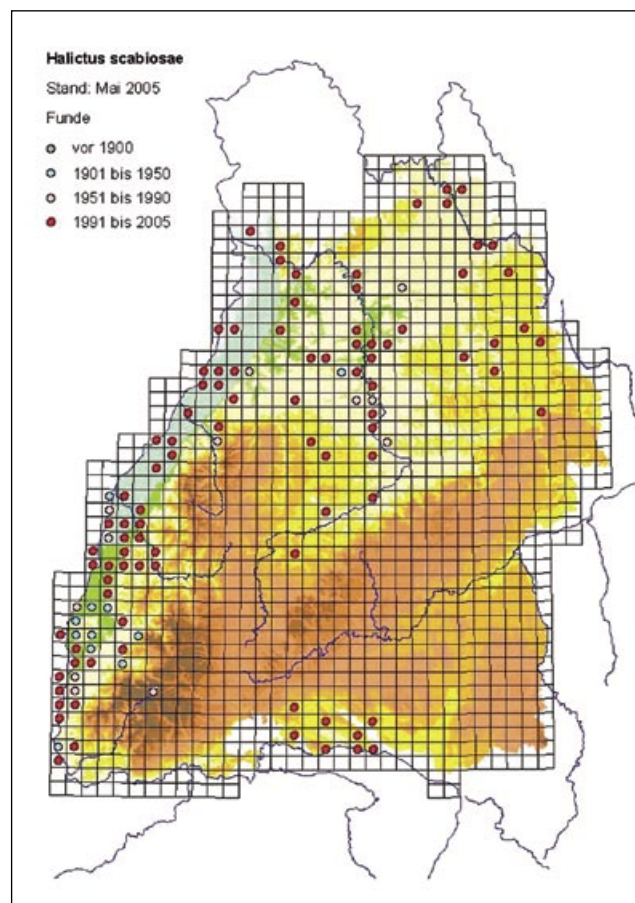


Abb. 3-19: Ausbreitung von *H. scabiosae* in Baden-Württemberg. Quelle: SCHANOWSKI 2005



weitere Untersuchungen erforderlich, um die Auswirkungen auf die Ökosysteme abschätzen zu können. Für eine Übergangszeit kann das Einwandern der Wärme liebenden Arten wahrscheinlich zu einer Zunahme der Biodiversität führen, solange die heimischen Arten nicht verdrängt werden.

#### **3.4.3.5 GESUNDHEITSGEFAHREN**

Es gilt als sehr wahrscheinlich, dass die Häufigkeit und Intensität von Hitzewellen und heißen Tagen in Mitteleuropa in Zukunft zunehmen wird. Das kann auch eine Zunahme von hitzebedingter Morbidität (Krankheitswahrscheinlichkeit) und Mortalität (Sterberate) in Baden-Württemberg bedingen. Hitzebedingte Sterbefälle treten auch unter aktuellen klimatischen Bedingungen in Baden-Württemberg auf, im Sommer 2003 waren schätzungsweise 2 000 Sterbefälle der hitzebedingten Mortalität zuzurechnen.

Ein Vergleich zwischen Basis- und Zukunftsszenario zeigt, dass sich die Vulnerabilität (Empfindlichkeit) der Bevölkerung für Wärmebelastung über alle Kreise gemittelt um ca. 20 % erhöht. Im Zukunftsszenario ist daher landesweit mit jährlich 180 bis 400 zusätzlichen hitzebedingten Todesfällen zu rechnen. Der ermittelte Rückgang der Vulnerabilität für Kältestress kann diesen Anstieg nicht kompensieren. Vor diesem Hintergrund und angesichts der Erfahrungen aus dem Extremjahr 2003 ist es empfehlenswert, Maßnahmen zur Abmilderung dieser möglichen Auswirkungen zu ergreifen. Zu diesen Maßnahmen zählen einerseits das bereits installierte Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes mit Integration des Gesundheitswesens und andererseits langfristig die konsequente Berücksichtigung der thermischen Umweltbedingungen bei Stadtplanung und Gebäudedesign.

#### **3.4.3.6 TOURISMUS**

Auf dem deutschen Tourismusmarkt nimmt das Bundesland Baden-Württemberg mit über 38 Mio. Übernachtungen im Jahr 2002 eine Spitzenstellung ein - lediglich Bayern verzeichnet noch höhere Übernachtungszahlen. Insgesamt entfallen auf Baden-Württemberg über 12 % aller Übernachtungen in Deutschland. Dem hohen Stellenwert der Tourismusbranche Baden-Württembergs entsprechend bietet dieser Wirtschaftszweig etwa 200 000 Arbeits- und 8 000 Ausbildungsplätze. Rund 5 % des Bruttoinlandsproduktes werden in diesem Wirtschaftszweig erwirtschaftet. Da der Tourismus als wirtschaftlich bedeutende Branche stärker noch als manch anderer Wirtschaftszweig witterungsbedingten Einflüssen unterliegt, ist es von Interesse, die möglichen Einflüsse des Klimawandels auf den Tourismus in Baden-Württemberg zu analysieren.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in der Bodensee-Region für das Zukunftsszenario mit einer Zunahme der „potenziellen Badetage“ und zusätzlich mit einer Verlängerung der Badesaison zu rechnen ist. Ebenso treten im südlichen Schwarzwald im Zukunftsszenario öfter Tage mit für den Wandertourismus günstigen Wetterverhältnissen auf - allerdings unter größeren methodischen Unsicherheiten als im Fall der „potenziellen Badetage“. Im Unterschied zum Wintertourismus wird für den Sommertourismus in Baden-Württemberg eine positive klimatische Entwicklung prognostiziert. Dies entspricht zwar grundsätzlich den Erwartungen, die hier vorgestellten Methoden zeigen darüber hinaus Ansätze für eine Quantifizierung der Zusammenhänge, die im Hinblick auf die wirtschaftliche Ertragsentwicklung wichtig ist.

**3.4.3.7 EREIGNISSE MIT GROSSEM SCHADENS-POTENZIAL**

Aus den vorgestellten Untersuchungen lässt sich ableiten, dass die Häufigkeit von extremen Wetterereignissen und die damit verbundenen Gefahren in Baden-Württemberg in den vergangenen 20 bis 30 Jahren teilweise erheblich zugenommen haben. Dabei ist auch eine Zunahme der damit verbundenen Schäden zu beobachten, wie z.B. beim Hagelschlag (Abb. 3-20). Vieles deutet darauf hin, dass diese Änderungen in einem Zusammenhang mit dem anthropogenen Treibhauseffekt stehen. Vollständig und abschließend kann diese Frage hier aber nicht beantwortet werden.

Für Winterstürme gestaltet sich die Analyse aufgrund der großräumigen Ausdehnung der Windfelder entsprechend einfacher. Da schwere Ereignisse allerdings selten sind, muss der Beobachtungszeitraum hierbei entsprechend groß sein. Von den neun schwersten Stürmen in den vergangenen 200 Jahren in Baden-Württemberg fallen allein sechs dieser Ereignisse in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts. Die Auswertungen an verschiedenen Wetterstationen über ca. 50 Jahre ergaben zudem eine Zunahme der Böengeschwindigkeit an Talstationen, während dies an Bergstationen nicht zu erkennen war. Bestätigt wurde das Ergebnis durch zusätzliche Auswertungen von Daten der Radiosondenstation Stuttgart.

**3.4.3.8 KOHLENSTOFFMENGEN IN BÖDEN  
BADEN-WÜRTTEMBERGS – KLIMARELEVANTE  
VERÄNDERUNG**

Böden enthalten organische Substanz (= Humus), die aus abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Lebewesen stammt (Streu). Humus kann je nach Umweltbedingungen und Entwicklung des Klimas akkumuliert und ist damit Senke, als auch durch Bodenlebewesen abgebaut werden und ist damit Quelle von klimarelevantem Kohlendioxid.

Die Gehalte an Humus in Böden sind abhängig von:

- der Bodentemperatur. Bodenlebewesen benötigen für ihre Aktivität einen optimalen Temperaturbereich von 11 bis 30°C,
- der Nährstoffversorgung von Bodenlebewesen, die auch Nährstoffe zum Aufbau und Stoffhaushalt ihrer Körper benötigen,
- dem Sauerstoffgehalt,
- dem Wassergehalt im Boden.

Die Böden Baden-Württembergs (Stand 1995; nach 8 200 Datensätzen des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau) enthalten im Oberboden 2 bis 14 % organische Substanz, die mit sinkender Jahresmittel-Temperatur, entsprechend zunehmender Höhe über NN, zunimmt. Entsprechend der Jahresmitteltemperatur und der typischen Bewirtschaftungsweise bzw. der Nutzung stellen sich langfristig typische Humusgehalte ein (Abb. 3-21). Aus Gehalten an organischer Substanz, Raumgewichten, Mächtigkeiten der humosen Horizonte und Steingehalten von Böden werden die Humusmengen von Böden in kg/m<sup>2</sup>·m errechnet (Abb. 3-22).

Humusmengen von Böden, mit dem Flächenanteil der Nutzungen Wald (43 %), Grünland (14 %) und Acker (43 %)

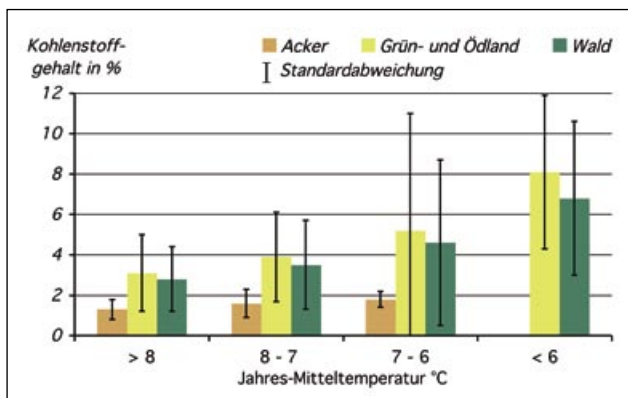


Abb. 3-22: Kohlenstoffgehalte von Böden in Baden-Württemberg nach Nutzungsart. Quelle: LUBW 2006

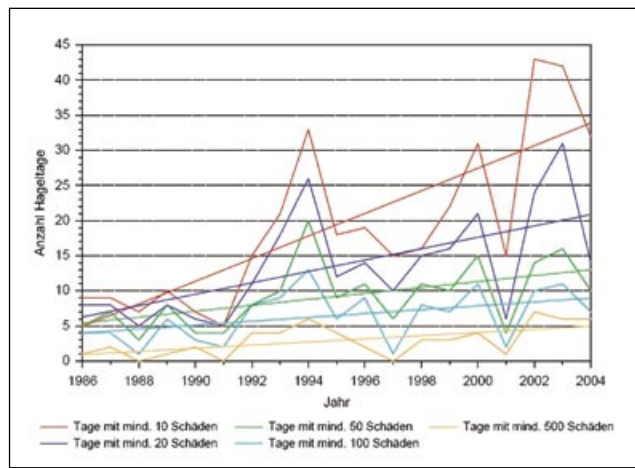


Abb. 3-20: Anzahl Hageltage pro Jahr in Baden-Württemberg. Quelle: STOCK 2005

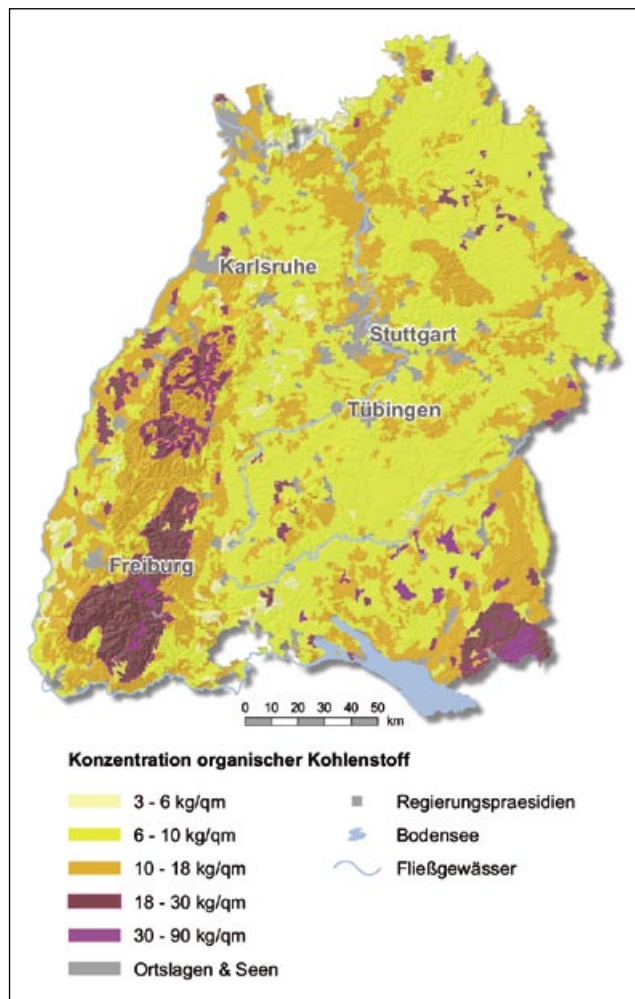


Abb. 3-21: Typische Gehalte an organischem Kohlenstoff in Baden-Württemberg. Quelle: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau 2006

gewichtet und auf die forst- und landbaulich genutzte Landesfläche bezogen, ergibt die relativen Humusmengen. Absolut entspricht dies einem geschätzten Vorrat von 410 Mio. t Humus in Böden des Landes; davon 214 Mio. t unter Wald, 124 Mio. t unter Acker und 73 Mio. t unter Grün- und Ödland.

Eine Erwärmung des Klimas um 2°C würde unter Grünland und Wald die Humusvorräte um etwa 56 Mio. t oder 20 % vermindern, wenn die Humusgehalte der höheren Lagen der Temperaturerhöhung entsprechend sinken (geschätzt aus den flächengewichteten, unterschiedlichen Humusmengen von Böden bei unterschiedlichen Jahresmitteltemperaturen). Düngung, sei es Nitrat-Stickstoff über die Luft oder Kalken durch Waldeigentümer, fördern den Humusabbau zusätzlich. Ein Abbau der Humusvorräte erfolgt auch unter Acker, wenn die bisherigen Nutzungssysteme beibehalten werden. Unter Acker können je nach Betriebssystem und Bewirtschaftung die unvermeidbaren Verluste

der Humusvorräte unter Grünland und Wald kompensiert werden. Entsprechende Forschungsprogramme werden vom Land Baden-Württemberg gefördert.

#### **INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN**

Projekt KLIWA: Klimaveränderung und Wasserwirtschaft  
<http://www.kliwa.de/>

Projekt KLARA: Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung  
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/1454/>

## 4 Luftreinhaltung

Als Luftverunreinigungen werden gemäß § 3 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) alle Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft bezeichnet, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe und Geruchsstoffe. Im Sinne des BImSchG handelt es sich dabei um anthropogene Emissionen, ausgehend von Industrieanlagen, Heizungen, der Landwirtschaft und dem Verkehr. Daneben gibt es auch natürliche Quellen für Luftverunreinigungen wie z. B. Fäulnisprozesse, Waldbrände oder Vulkanausbrüche. Die Einwirkungen von Luftverunreinigungen auf den Menschen, auf Tiere, Pflanzen und Sachgüter (z. B. Bauwerke) werden als Immissionen bezeichnet.

Die Aufgabe einer vorsorgenden Luftreinhaltungspolitik ist es, die schädlichen Wirkungen von Luftverunreinigungen auf den Menschen und die Umwelt frühzeitig zu erkennen sowie zu begrenzen und die Ursachen soweit möglich zu beseitigen.

Aus diesem Grund werden in Baden-Württemberg sowohl die Art und Menge der in die Luft freigesetzten Stoffe (Emissionen) als auch die Konzentrationen der Stoffe in der Außenluft (Immissionen) und ihrer Ablagerung (Deposition) systematisch erfasst und bewertet.

Auf die global klimawirksamen Substanzen Kohlendioxid, Methan und Distickstoffmonoxid (Lachgas) wird im Kapitel 3.2 eingegangen. Das bodennahe Ozon (Sommersmog) wird, da es ein Problem der Luftreinhaltung darstellt, in diesem Kapitel behandelt.

Während bei bestimmten Luftschadstoffen wie z. B. Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid seit den 1980er Jahren vor allem durch Maßnahmen bei Industrie- und Gewerbefeuerungen deutliche Verbesserungen erzielt werden konnten, besteht bei anderen Luftschadstoffen weiterhin Handlungsbedarf. Dies gilt vor allem für die feinen Schwebstäube, die Stickstoffoxide und die flüchtigen Kohlenwasserstoffe als Vorläufersubstanzen für Ozon.

Die lufthygienische Situation in Baden-Württemberg weist derzeit drei wesentliche Problembereiche auf:

- erhöhte Konzentrationen von Schwebstaub und Stickstoffoxiden in den Städten, meist aber lokal begrenzt und straßennah (sog. Spots), bei sonst im Land guter oder sehr guter Luftqualität,

- hohe sommerliche Ozonkonzentrationen im ganzen Land und
- flächenhaft hohe Ablagerungen (Deposition) von versauernden und eutrophierenden Luftschadstoffen. Betroffen sind besonders die Wälder und empfindliche Ökosysteme wie Moore und Trockengebiete.

### 4.1 EMISSIONSQUELLEN FÜR LUFTSCHADSTOFFE

Die räumlich und zeitlich aufgelöste Ermittlung der von verschiedenen Verursachern freigesetzten Luftverunreinigungen (Emissionen) ist Grundlage für gezielte Luftreinhaltungsmaßnahmen. Mit der Erfassung der Emissionsdaten wurde in Baden-Württemberg Anfang der 1980er Jahre punktuell begonnen. Mittlerweile wurden die Emissionserhebungen auf das ganze Land ausgedehnt, so dass eine Gesamtbewertung der Emissionssituation auf der Basis der Emissionsdaten von 2002 vorliegt. Die räumliche Auflösung der erhobenen Emissionen erlaubt neben der landesweiten auch eine regionale, kreis- und gemeindebezogene Beurteilung der Emissionssituation. Die Emissionserhebungen umfassen fünf nachfolgend näher beschriebene Quellengruppen.

Abbildung 4-1 zeigt im Überblick die Anteile dieser Quellengruppen an den Emissionen der wesentlichen Luftverunreinigungen im Land.

#### 4.1.1 VERKEHR

In der Quellengruppe Verkehr werden die Emissionen des Straßen-, Schiff-, Schienen- und bodennahen Flugverkehrs erfasst. Wesentliche Grundlage für die Berechnung der

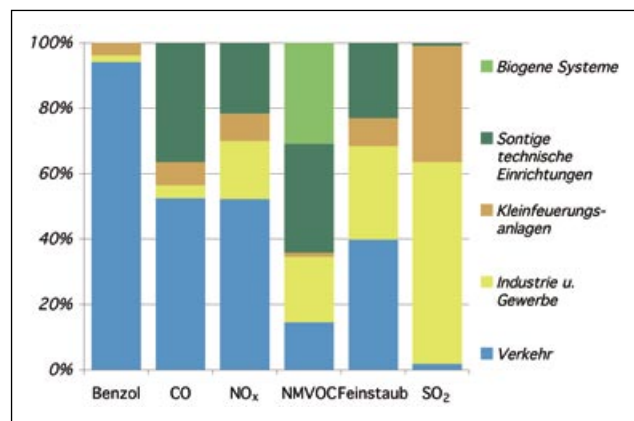


Abb. 4-1: Anteile der Quellengruppen an den Emissionen in Baden-Württemberg, Bezugsjahr 2002. Quelle: UMEG 2005

Straßenverkehrsemissionen ist die Bundesverkehrszählung und deren Fortschreibung auf der Grundlage aktueller Verkehrsdaten und -prognosen sowie die aktuellen Emissionsfaktoren [INFRAS 2004].

Die Berechnung der Emissionen von Schiffen, Schienenfahrzeugen und bodennahem Flugverkehr erfolgt auf der Grundlage der Kraftstoffverbräuche mit spezifischen Emissionsfaktoren. Beim Flugverkehr werden die Emissionen der Starts und Landungen bis zu einer Höhe von 1 000 m einbezogen.

Da der Verkehr bei mehreren Schadstoffkomponenten als Hauptverursacher in Erscheinung tritt (Abb. 4-1), werden die Emissionen und Entwicklungstendenzen dieser Quellengruppe in Kapitel 4.2 detailliert dargestellt.

#### 4.1.2 INDUSTRIE UND GEWERBE

Die Quellengruppe Industrie und Gewerbe umfasst folgende Datenbestände:

- Betriebe mit genehmigungsbedürftigen Anlagen, die nach der 11. BImSchV verpflichtet waren, für das Jahr 2000 eine Emissionserklärung abzugeben (Abb. 4-2). Die Daten der Emissionserklärungen 2000 wurden für das Jahr 2002 fortgeschrieben, wobei nur Daten für die Anlagen mit hohen Massenströmen und besonderer Umweltrelevanz aktualisiert wurden.

- Betriebe mit nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen außer den Kleinf Feuerungsanlagen.

Hierzu zählen besonders kleinere Lackierereien und Druckereien, chemische Reinigungen, Tankstellen, kleine und mittlere Betriebe, in denen Holz, Metalle und Kunststoffe be- und verarbeitet werden sowie Steinbrüche und Häfen.

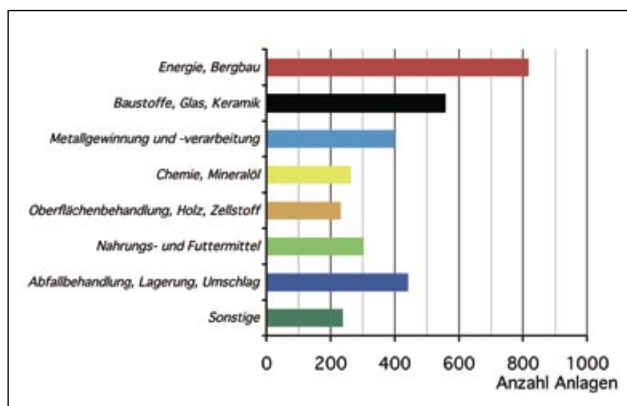


Abb. 4-2: Anzahl emissionserklärungspflichtiger Anlagen in Baden-Württemberg 2002. Quelle: UMEG 2005, Auswertung LUBW

#### 4.1.3 KLEINFUERUNGSANLAGEN

Bei Kleinf Feuerungsanlagen handelt es sich um häusliche und gewerbliche Feuerungsanlagen für die Gebäudeheizung und die Warmwasserbereitung sowie für die Erzeugung von Prozesswärme bei Kleinverbrauchern. Der Endenergieverbrauch ist von den Temperaturen in der Heizperiode abhängig und für das Jahr 2002 in Abbildung 4-3 dargestellt:

Die wesentlichen Energieträger sind leichtes Heizöl und Brenngase (Erdgas und Flüssiggase). Obwohl die Festbrennstoffe (Holz und Kohle) nur einen Anteil von 3 % am Energieeinsatz ausmachen, führt deren Verbrennung zu einem überproportionalen Anteil von über drei Viertel der Emissionen von Kohlenmonoxid, organischen Verbindungen und Stäuben. Durch den Schwefelanteil im leichten Heizöl sind die Ölfeuerungen die hauptsächlichen Emittenten von Schwefeldioxid bei den Kleinf Feuerungsanlagen.

#### 4.1.4 BIOGENE QUELLEN

Die biogenen Quellen beinhalten grob die Bereiche Vegetation, Böden und Gewässer, also die eher „naturbelasenen“ Quellen, zum anderen den vom Menschen beeinflussten Bereich Landwirtschaft und Nutztierhaltung. Im Einzelnen werden folgende Quellen betrachtet:

- Nutztierhaltung und Landwirtschaft,
- Wälder, Acker- und Grünland,
- Abwasserkanäle und
- Gewässer und Feuchtgebiete.

#### 4.1.5 SONSTIGE TECHNISCHE EINRICHTUNGEN

Die sonstigen technischen Einrichtungen umfassen alle Anlagenarten, die sich nicht den vorher genannten Quellengruppen zuordnen lassen:

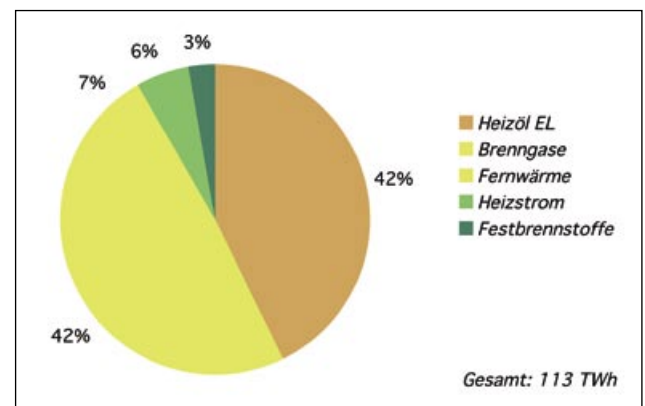


Abb. 4-3: Endenergieeinsatz in Kleinf Feuerungsanlagen in Baden-Württemberg 2002. Quelle: UMEG 2005

- Erdgasverteilung (Netzverluste und Leckagen),
- Abfalldetonen und Altablagerungen,
- Abwasserreinigung,
- Grundwasserförderung,
- private und kleingewerbliche Anwendung lösemittelhaltiger Produkte und
- Maschinen und Geräte mit Verbrennungsmotoren.

## 4.2 EMISSIONEN DES VERKEHRS

### 4.2.1 VERGLEICH DER VERKEHRSTRÄGER

Die Emissionen des Verkehrs haben einen wesentlichen, teilweise dominierenden Anteil an den gesamten anthropogenen Schadstoffemissionen, deshalb wird im Folgenden auf diese Quellengruppe detailliert eingegangen.

Der Anteil des Verkehrs an den gesamten Emissionen betrug 2002 bei Benzol 94%, bei den Kohlenmonoxid (CO)- und Stickstoffoxid (NO<sub>x</sub>)-Emissionen 52%, bei Feinstaub (PM<sub>10</sub>) 40% und bei den flüchtigen Kohlenwasserstoffen (ohne Methan, NMVOC) 21% (Abb. 4-4).

Im Vergleich der Verkehrsbereiche kommt dem Straßenverkehr eine zentrale Bedeutung zu; im Jahr 2002 wurden 96% der im Verkehr eingesetzten Kraftstoffe dort verbraucht. Dementsprechend dominiert der Straßenverkehr auch die Schadstoffemissionen des gesamten Verkehrs mit Anteilen zwischen 90% und 96% (Tab. 4-1). Lediglich die Emissionen von Schwefeldioxid wurden deutlich durch Flug-, Schienen- und insbesondere Schiffsverkehr beein-

flusst, da hier die Kraftstoffe einen höheren Schwefelanteil aufweisen.

Bei Kraftstoffverbrauch und Emissionen steht nach den Kraftfahrzeugen der Schiffsverkehr an zweiter Stelle, gefolgt von Bahn und Flugverkehr.

Die angegebenen Emissionen des Verkehrs lassen sich prinzipiell nicht direkt messen, sondern sind das Ergebnis aufwändiger Modellrechnungen, die zur Erstellung von Emissionskatastern durchgeführt werden. Emissionsdaten sind daher immer als Abschätzungen und bestmögliche Annäherung an die realen Verhältnisse zu verstehen. Dies gilt entsprechend auch für die Emissionen der meisten anderen Quellengruppen.

Tab. 4-1: Anteile der Verkehrsbereiche am Kraftstoffverbrauch und an den Verkehrsemissionen insgesamt in Baden-Württemberg 2002. Quelle: UMEG 2005

	Straßenverkehr	Schiffsverkehr <sup>2)</sup>	Schienerverkehr	Flugverkehr <sup>3)</sup>	Summe
Kraftstoffverbrauch	96,3%	1,7%	1,0%	1,0%	100%
Benzol (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	97,9%	1,4%	0,2%	0,5%	100%
Stickstoffoxide (NO <sub>x</sub> )	89,7%	5,7%	3,5%	1,1%	100%
Kohlenmonoxid (CO)	95,1%	2,3%	0,3%	2,3%	100%
NMVOC	96,2%	2,4%	0,4%	1,0%	100%
Partikel PM <sub>10</sub> <sup>1)</sup>	95,7%	3,0%	0,8%	0,5%	100%
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	53,8%	31,5%	6,6%	8,1%	100%

<sup>1)</sup> PM<sub>10</sub> aus Abgas, Abrieb und Aufwirbelung  
<sup>2)</sup> einschließlich Schiffsverkehr auf den Teilen des Bodensees und des Rheins, die nicht dem Hoheitsgebiet von Baden-Württemberg zuzuordnen sind (= Überschätzung)  
<sup>3)</sup> Bodennaher Bereich bis 3 000 ft (ca. 1 000 m) Flughöhe (= Unterschätzung)

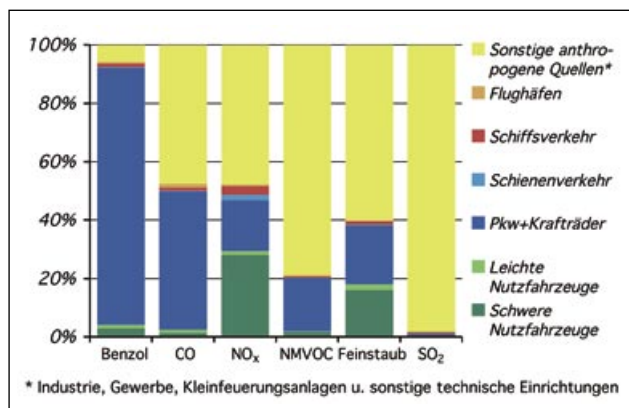


Abb. 4-4: Anteil der Verkehrsemissionen an den gesamten anthropogenen Emissionen in Baden-Württemberg 2002. Quelle: UMEG 2005

### 4.2.2 STRASSENVERKEHR

#### 4.2.2.1 EMISSIONEN DES STRASSENVERKEHRS

Die Abbildung 4-5 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 und an der Fahrleistung nur ei-

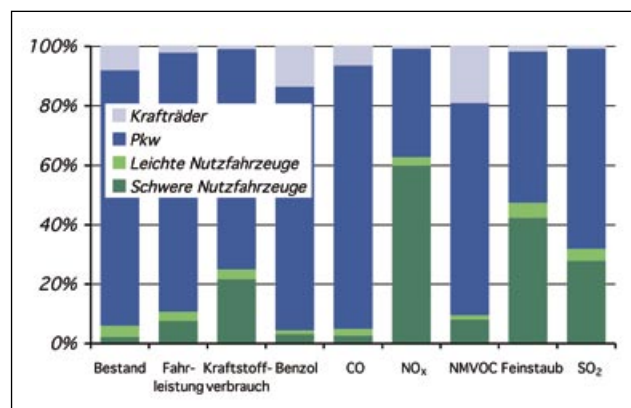


Abb. 4-5: Bestand, Fahrleistung, Kraftstoffverbrauch und Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg, aufgeschlüsselt nach den Gruppen Pkw, Krafträder, leichte Nutzfahrzeuge und schwere Nutzfahrzeuge 2002. Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt 2003, UMEG 2005

nen Anteil von 2,2 bzw. 7,7 %, beim Kraftstoffverbrauch dagegen bereits 22 %. Mit einem Anteil von 42 % bei der Partikelemission und 60 % bei  $\text{NO}_x$  tragen sie bei diesen Schadstoffen weit überproportional zu den Emissionen des Straßenverkehrs bei.

Auf die Pkw entfallen 87 % der Fahrleistung. Sie sind die Hauptemittenten von CO (89 %) und NMVOC (72 %), leisten aber auch bei den anderen Schadstoffen erhebliche Beiträge ( $\text{NO}_x$ : 37 %, Feinstaub: 51 %,  $\text{SO}_2$ : 67 %). Motorräder sind vor allem durch überproportional hohe Benzol-, NMVOC- und CO-Emissionen gekennzeichnet.

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 großen Abgasmengen haben. Zum anderen unterscheiden sich Diesel- und Ottomotoren in ihrem Emissionsprofil: Während Ottomotoren im Vergleich höhere Kohlenmonoxid- und Benzol-Emissionen aufweisen, emittieren Dieselmotoren mehr Stickstoffoxide und Partikel (Tab. 4-2). Die Partikelemission von Ottomotoren ist dagegen vernachlässigbar.

Auch innerhalb der einzelnen Fahrzeuggruppen gibt es beträchtliche Unterschiede hinsichtlich der emittierten Schadstoffmengen, abhängig vom Alter des Fahrzeugs und damit von der Abgasnorm, die das Fahrzeug erfüllt. Den Abgasnormen liegen Emissionsgrenzwerte zugrunde, die europaweit schrittweise verschärft wurden. Seit 2005 ist von Neufahrzeugen die Abgasnorm Euro 4 einzuhalten. Ungeminderte Altfahrzeuge, insbesondere Benzin-Pkw ohne geregelten Katalysator (G-Kat), weisen ein Vielfaches der Emissionen moderner Euro 3 und Euro 4-Fahrzeuge auf. Bei den in Tabelle 4-2 beispielhaft angegebenen Werten handelt es sich um reale Durchschnittsemissionen, nicht um Grenzwerte.

Durch die zunehmend verbesserten Abgasnormen haben die Kfz-Emissionen in den vergangenen Jahren trotz ge-

stiegener Fahrleistung erheblich abgenommen, so dass früher problematische verkehrsbezogene Komponenten wie Kohlenmonoxid heute auch an Hauptverkehrsstraßen keine gesundheitlich bedenklichen Konzentrationen mehr erreichen.

Problematisch zu bewerten sind aus lufthygienischer Sicht dagegen weiterhin die Partikel- und Stickstoffoxid-Emissionen des Verkehrs. Die vielerorts notwendig gewordenen Luftreinhalte- und Aktionspläne aufgrund zu hoher Konzentrationsniveaus bei  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{NO}_2$  belegen dies. Bei diesen Komponenten ist eine weitere Absenkung der Emissionen notwendig. Insbesondere beim Dieselmotor besteht hier Nachholbedarf gegenüber den mittlerweile sehr niedrig emittierenden Benzinern. Die Einführung des Partikelfilters ist dazu ein notwendiger Schritt.

Darüber hinaus ist eine deutliche Minderung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen zu fordern, um die vom Kfz-Verkehr verursachten  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen an Hauptverkehrsstraßen abzusenken. Andernfalls sind Überschreitungen der ab 2010 gültigen  $\text{NO}_2$ -Grenzwerte bereits jetzt absehbar (vgl. Kapitel 4.2.1). Insbesondere sind weitere Reduzierungen der  $\text{NO}_x$ -Emissionen von Dieselfahrzeugen erforderlich, denn die reale  $\text{NO}_x$ -Emission eines Diesel-Pkw nach Euro 4 beträgt innerorts immerhin das 11-fache der  $\text{NO}_x$ -Emission eines Benziners, ebenfalls nach Euro 4 (Tab. 4-2). Ein moderner Diesel-Lkw nach Euro 4 emittiert allerdings im Vergleich zum modernen Diesel-Pkw die 22-fache, im Vergleich zum modernen Benzinern die 250-fache  $\text{NO}_x$ -Menge.

#### 4.2.2.2 EMISSIONSENTWICKLUNG UND -PROGNOSE

Obwohl der Sektor Verkehr nach wie vor einen sehr hohen Anteil an den anthropogenen Emissionen einnimmt, konnten bislang erhebliche Emissionsminderungen erreicht werden. Dazu hat überwiegend der Straßenverkehr beigetragen, vor allem durch die Einführung des geregelten Katalysators bei den Otto-Pkw seit Mitte der 1980er Jahre und die Weiterentwicklung der Abgasgesetzgebung in der EU.

Einer Steigerung der Fahrleistung des Straßenverkehrs um rund 10 % im Zeitraum 1994 bis 2002 stehen Emissionsminderungen von 31 bis zu 92 % im gesamten Sektor Verkehr gegenüber (Tab. 4-3). Die größten Minderungen haben sich bei Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) mit 92 % und Benzol mit 62 % ergeben. Sie sind auf Qualitätsverbesserungen der im Straßenverkehr eingesetzten Kraftstoffe zurückzuführen.

Tab. 4-2: Vergleich der Emissionsfaktoren von Pkw ohne Schadstoffminderung und Lkw nach EURO 1 mit Fahrzeugen nach Euro 4 (Berechnung für 2005, durchschnittliche Verkehrssituationen innerorts). Quelle: UBA 2004

	Pkw - Benzin		Pkw - Diesel		Lkw > 7,5 t	
	ohne G-Kat	Euro 4	vor Euro 1	Euro 4	Euro 1	Euro 4
	in g/km					
CO	10,8	0,31	0,54	0,24	2,02	1,80
$\text{NO}_x$	1,17	0,03	0,69	0,34	6,66	7,54
Partikel	-	-	0,11	0,016	0,39	0,07
VOC	1,55	0,007	0,11	0,059	0,79	0,73

Tab. 4-3: Veränderungen der Emissionen des Verkehrs in Baden-Württemberg zwischen 1994 und 2002.  
Quelle: UMEG 2005

	1994 in t/a	2002 in t/a	Veränderung
Benzol	3 761	1 426	-62%
Kohlenstoffmonoxid	568 432	326 121	-43%
Stickstoffoxid	146 745	93 305	-36%
Schwebstaub (PM <sub>10</sub> )*	8 828	6 133	-31%
NMVOG	83 410	31 729	-62%
Schwefeldioxid	8 940	714	-92%
Ammoniak	995	1 504	51%

\*einschließlich Aufwirbelung, Reifen- und Bremsenabrieb

Schwefel als natürlicher Bestandteil des Rohöls führt bei der Verbrennung zu unerwünschten Emissionen und beeinträchtigt die Funktion der Abgaskatalysatoren. Daher wurde der Schwefelgehalt stufenweise reduziert. Seit 1. Januar 2003 wird an deutschen Tankstellen nur noch „schwefelfreier“ Kraftstoff mit einem Schwefelgehalt unter 10 ppm angeboten. In der EU ist dies seit 1. Januar 2005 realisiert. Für Benzol gilt seit dem 1. Januar 2000 in der EU ein Grenzwert von maximal 1 Vol-% im Benzin. Außerdem hat die Einführung des geregelten Katalysators bei den Benzinfahrzeugen erheblich zur Senkung der Benzolemissionen beigetragen.

Während bei Dieselfahrzeugen die direkt aus dem Auspuff emittierten Partikel durch technische Verbesserungen abgenommen haben, ist von einer Zunahme der Partikelemission durch Aufwirbelung, Reifen- und Bremsenabrieb aufgrund der gestiegenen Fahrleistung auszugehen. Die Berechnung dieser Beiträge durch Abrieb und Aufwirbelung basiert bislang auf wenig belastbaren Daten und dürfte daher mit einem relativ großen Fehler behaftet sein.

Der Einsatz des geregelten Katalysators ist sehr erfolgreich gewesen bei der Minderung der Emissionen von Kohlenstoffmonoxid, flüchtigen Kohlenwasserstoffen und Stickstoffoxiden. Allerdings bewirken geregelte Katalysatoren auch eine Zunahme der Ammoniak-Emissionen.

Auch in den kommenden Jahren werden die Emissionen noch weiter abnehmen bedingt durch die stetige Erneuerung des Kfz-Bestands durch schadstoffarme Neufahrzeuge.

Die Berechnung der bundesweiten Verkehrsemissionen [IFEU 2005] zeigt einen deutlichen Rückgang der Emissionen von NO<sub>x</sub>, Benzol und Partikeln (Abb. 4-6). Da für Partikel erstmals 1992 Grenzwerte festgelegt wurden, ist ein Rückgang der Partikelbelastung erst ab 1994 und damit

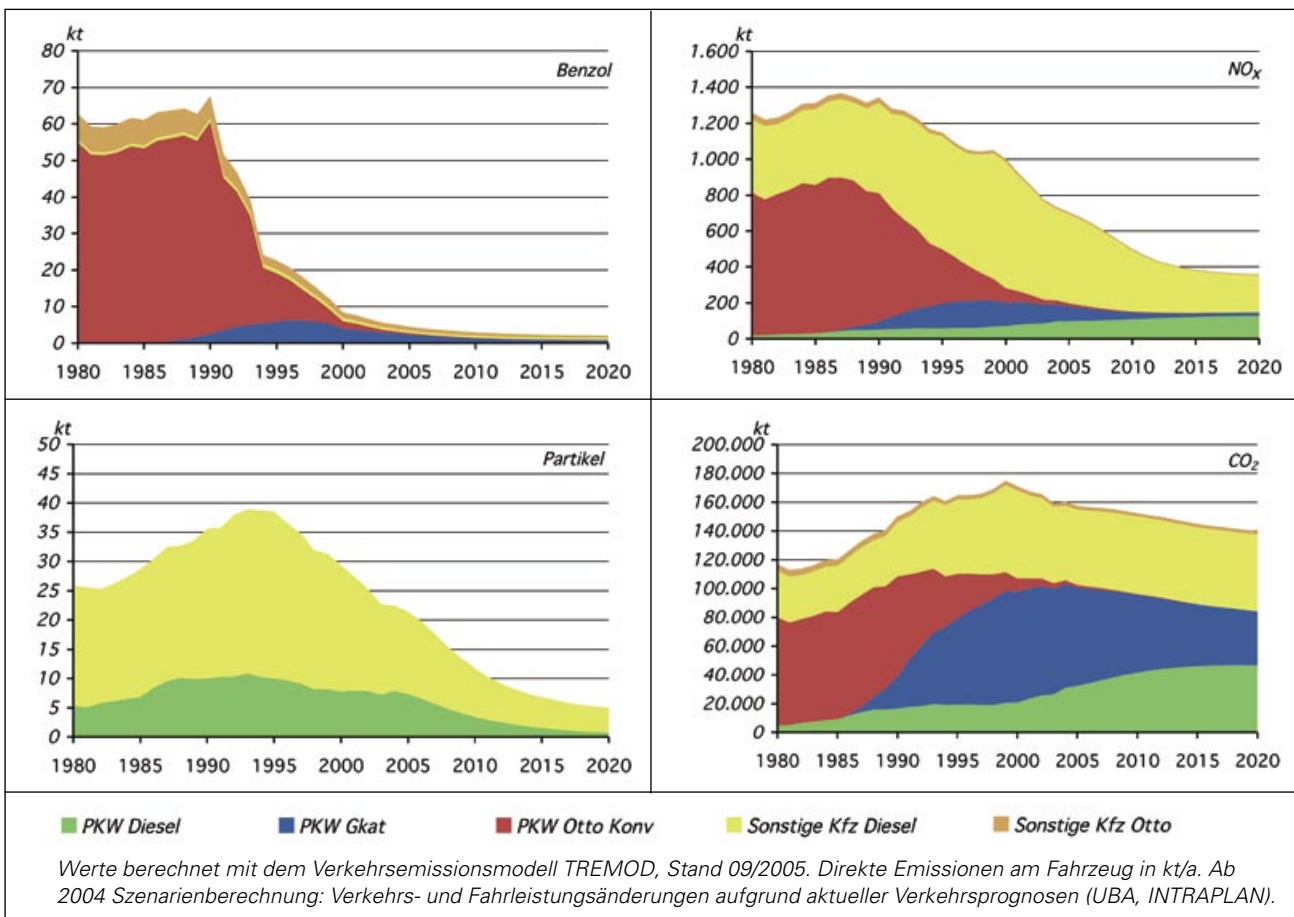


Abb. 4-6: Entwicklung der Kfz-Emissionen in Deutschland seit 1980 mit Prognose bis 2020. Quelle: IFEU/TREMOD 2005



Tab. 4-4: Entwicklung der Kfz-Emissionen 2000 sowie prognostiziert für 2010 und 2020 in Deutschland in Prozent des Wertes von 1990. Quelle: IFEU/TREMOD 2005

	1990	2000	2010	2020
Benzol	100%	12%	4%	3%
NO <sub>x</sub>	100%	74%	37%	27%
Partikel	100%	82%	33%	14%
CO <sub>2</sub>	100%	114%	102%	93%
Fahrleistung	100%	119%	131%	143%

drei bis sechs Jahre später als bei den anderen Schadstoffen zu beobachten.

Tabelle 4-4 gibt die in Abbildung 4-6 dargestellte Emissionsentwicklung für das Jahr 2000 sowie die prognostizierten Werte für 2010 und 2020 in Prozent des Wertes von 1990 an. Diese Emissionsprognose, die sich auf das Gebiet Deutschlands bezieht, berücksichtigt sämtliche absehbaren Entwicklungen und ist insofern eine fundierte Abschätzung.

Für den Zeitraum 1990 bis 2005 ergibt der Vergleich dieser Emissionsberechnungen mit der gemessenen Immissionsentwicklung eine gute Übereinstimmung für die Komponenten Benzol, CO und NO<sub>x</sub>. Bis 2010 sagen die Berechnungen für die Partikel- und NO<sub>x</sub>-Emissionen einen Rückgang auf etwa 33 % bzw. 37 %, für Benzol auf nur noch 4 % voraus, jeweils bezogen auf das Niveau von 1990.

Die klimawirksamen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die in direktem Zusammenhang mit dem Kraftstoffverbrauch stehen, haben nach der Berechnung des IFEU-Instituts 1999 ihr Maximum erreicht und zeigen seitdem einen allmählichen Rückgang. Damit überwiegt offenbar die bei den Fahrzeugen erzielte Verbrauchsminderung gegenüber dem weiteren Anstieg der Fahrleistung.

Ein wesentlicher Schritt zur Emissionsminderung ist dabei die Zusage der europäischen Automobilhersteller, die CO<sub>2</sub>-Emission der neu zugelassenen Pkw bis 2008 im Durchschnitt auf einen Wert von 140 g/km CO<sub>2</sub> zu reduzieren. Dies entspricht einem durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von 5,3 l Diesel bzw. 6,0 l Benzin pro 100 km. Derzeit liegt der Durchschnittsverbrauch der Pkw-Flotte bei etwa 8 l/100 km. Der EU-Ministerrat hat als weiteres Ziel einen Wert von 120 g/km bis 2012 formuliert.

#### 4.2.2.3 ABGASGRENZWERTE VON KRAFTFAHRZEUGEN

In der EU wurden die Abgasgrenzwerte von Kraftfahrzeugen in den vergangenen Jahren zunehmend verschärft. Dies hat für die Luftreinhaltung wesentliche Fortschritte

gebracht. Nur so ist es gelungen, trotz stärkerer Motorisierung der Fahrzeuge und wachsender Fahrleistung die Emissionen zu reduzieren.

Die Abbildungen 4-7 und 4-8 zeigen die Entwicklung der Abgasgrenzwerte in der EU für Pkw und für schwere Nutzfahrzeuge. In der Darstellung wurde jeweils der Euro 0 bzw. der Euro 1- Grenzwert zu 100 % gesetzt und die folgenden Euro-Stufen darauf bezogen. Die bei Abgasgrenzwerten übliche Bezeichnung HC steht für flüchtige Kohlenwasserstoffe und entspricht der Bezeichnung VOC (volatile organic compounds).

Bei den Pkw liegen die seit 2005 geltenden Grenzwerte Euro 4 je nach Komponente zwischen 68 % und 86 % niedriger als die Grenzwerte der 1992 eingeführten Stufe Euro 1 (Abb. 4-7). Der Partikelgrenzwert der Stufe Euro 3 wurde mit Inkrafttreten der Euro 4 halbiert.

Die lange diskutierte Einführung des Partikelfilters wird von der Autoindustrie mittlerweile umgesetzt. Leistungsstärkere Diesel-Pkw-Neufahrzeuge werden heute überwiegend mit Partikelfilter angeboten, teilweise gegen Aufpreis. Die Ausstattung der kleineren Diesel-Pkw-Modelle mit Partikelfiltern ist bislang nicht im notwendigen Umfang erfolgt, ebenso die Nachrüstung der Flotte. Hier besteht ein großes Potenzial zur Partikel- und insbesondere Dieselruß-Minderung.

Bei Lkw und Bussen sind mit der seit 2005/2006 geltenden Stufe Euro 4 die Grenzwerte gegenüber Euro 1 um 61 bis 69 %, bei Partikeln sogar um 95 % abgesenkt worden (Abb. 4-8). Mit der Stufe Euro 5 ist eine weitere Reduktion des NO<sub>x</sub>-Grenzwerts ab 2008 beschlossen.

Während sich die Vorgaben der Grenzwertstufe Euro 3 bei Lkw noch mit motortechnischen Maßnahmen erreichen ließen, werden ab Euro 4 zumindest bei Lkw mit höherer Leistung Verfahren zur Abgasnachbehandlung wie Partikelfilter oder katalytische Reduzierung der Stickstoffoxide (SCR) notwendig.

Die stufenweise Verschärfung der Abgasgrenzwerte hat zu deutlich geringeren Emissionen bei NO<sub>x</sub>, VOC, CO, Benzol und Partikeln geführt. Die Entwicklung der Kfz-Emissionen seit 1980 lässt diesen Trend klar erkennen (Abb. 4-6).

Diese Schadstoffrückgänge gehen auf die Flottenverjüngung durch Neufahrzeuge mit niedrigem Emissionsniveau zurück. Auch in den kommenden Jahren werden die Emis-

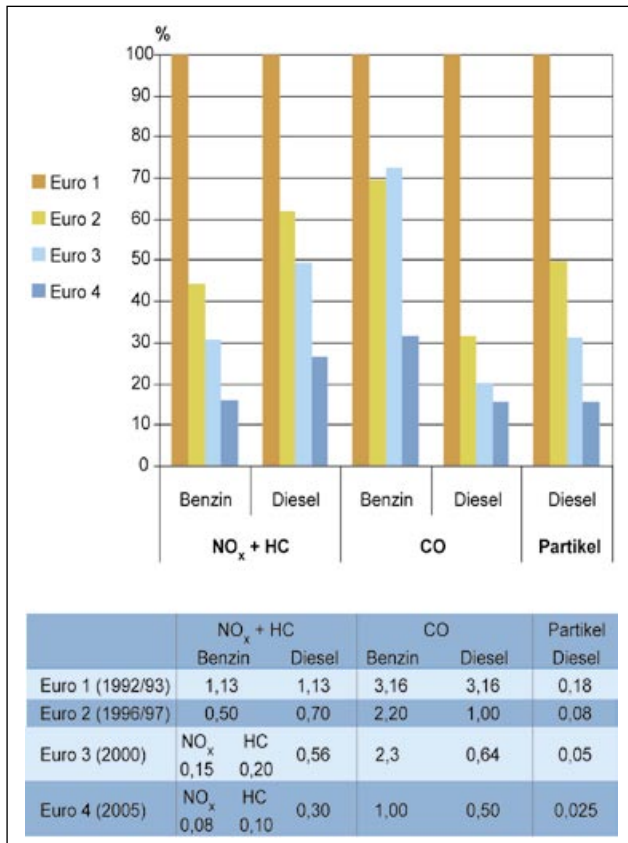


Abb. 4-7: Entwicklung der europäischen Abgasgrenzwerte für Otto- und Diesel-Pkw. Abgasgrenzwerte in g/km. Quelle: EU, Bundesumweltministerium 1999

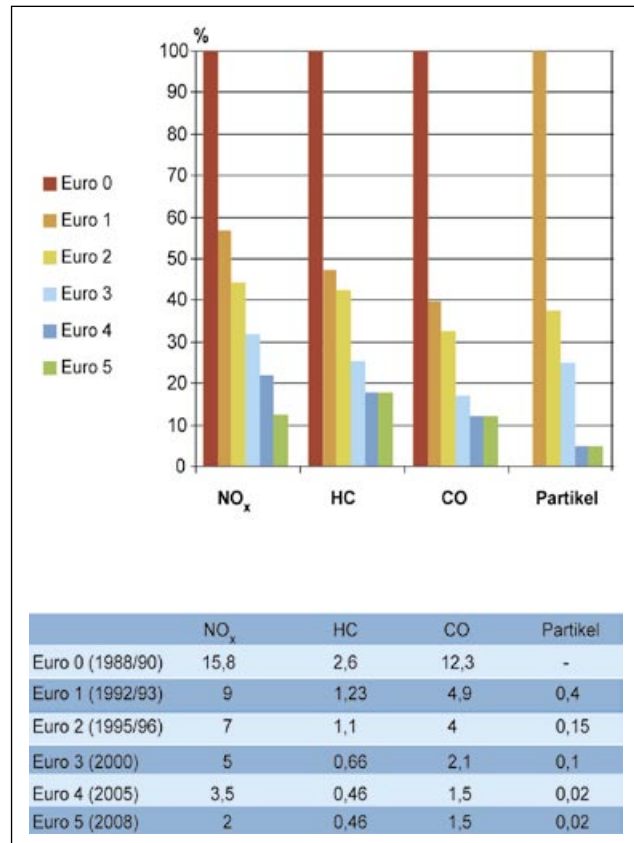


Abb. 4-8: Entwicklung der europäischen Abgasgrenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge über 3,5 t Gesamtgewicht Abgasgrenzwerte in g/kWh. Quelle: EU, Bundesumweltministerium 1999

sionen trotz einer Zunahme der Fahrleistung zumindest im Lkw-Bereich weiter abnehmen, bedingt durch die weitere Erneuerung des Kfz-Bestands.

Die Altfahrzeuge ohne bzw. mit bedingter Schadstoffminderung weisen zwar unverhältnismäßig hohe Emissionen auf, ihr Anteil am Pkw-Bestand wird aber zunehmend geringer und betrug am 1. Januar 2005 nur noch 5,1 %.

**4.2.3 SCHIFFS-, SCHIENEN- UND FLUGVERKEHR**

Die Emissionen der sonstigen, nicht straßengebundenen Verkehrsträger sind zur besseren Vergleichbarkeit in Tabelle 4-5 zusammengestellt.

Tab. 4-5: Kraftstoffverbrauch (KV) und Emissionen des Schiffsverkehrs, der Bahnstrecken mit Dieseltraktion und des bodennahen Flugverkehrs in Baden-Württemberg im Bezugsjahr 2002. Quelle: UMEG 2005

	KV	CO	NO <sub>x</sub>	NM <sub>10</sub> VOC	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>
	t/a					
Schiffsverkehr <sup>1)</sup>	113 182	7 354	5 335	765	183	225
Bahn <sup>2)</sup>	61 190	974	3 263	136	48	47
Flugverkehr <sup>3)</sup>	61 229	7 647	994	322	31	58

<sup>1)</sup> einschließlich Schiffsverkehr auf Teilen des Bodensees und des Rheins, die nicht zu Baden-Württemberg zählen  
<sup>2)</sup> Dieseltraktion, einschließlich Dampftraktion auf Museumstrecken  
<sup>3)</sup> Bodennaher Bereich bis 3 000 ft (ca. 1 000 m) Flughöhe: Start- und Landephase, Bewegungen am Boden und Platzrunden.

**4.2.3.1 SCHIFFSVERKEHR**

Der Schiffsverkehr steht – unter Einbeziehung angrenzender, nicht zu Baden-Württemberg gehörender Teile des Rheins und des Bodensees - bei Kraftstoffverbrauch und Emissionen im Vergleich der Verkehrsträger nach dem Straßenverkehr an zweiter Stelle, mit einem Anteil von 1,7 % beim Kraftstoffverbrauch und zwischen 1,4 und 31,5 % bei den Emissionen (Tab. 4-1). Für die Berechnung der Emissionen wurde der gesamte Güter- und Personenschiffsverkehr einschließlich Durchgangs- und Freizeitverkehr betrachtet. Hierbei wurden 374 km schiffbare Länge auf dem Rhein, 203 km auf dem Neckar, 38 km auf dem Main sowie die gesamte Fläche des Bodensees berücksichtigt.

Aus den Emissionsangaben für das Jahr 2002 (Tab. 4-5) und dem Vergleich der Verkehrsbereiche (Tab. 4-1) ergibt sich

bezogen auf den Kraftstoffverbrauch eine deutlich überproportionale Emission von Schwefeldioxid, bedingt durch Kraftstoffe mit einem höheren Schwefelanteil. Auch die Stickstoffoxid- und Partikelemission pro Liter Kraftstoff liegt bis zu dreifach über der des Straßenverkehrs. Dies ist auf die leistungsstarken Dieselmotoren der Güterschifffahrt zurückzuführen, die die genannten

Emissionen dominieren. Dagegen sind die Sportboote - überwiegend mit Benzinmotoren - nur gering am Kraftstoffverbrauch beteiligt, tragen aber erheblich zu den CO- und NMVOC-Emissionen bei.

#### 4.2.3.2 SCHIENENVERKEHR

Das Schienennetz in Baden-Württemberg hat eine Streckenlänge von insgesamt rund 3 900 km und wird zu großen Teilen von der Deutschen Bahn AG, daneben auch von mehreren nicht bundeseigenen Eisenbahngesellschaften (NE-Bahnen) betrieben. Aus Emissionssicht von Interesse sind vor allem die nicht-elektrifizierten, d.h. mit Dieselloks und teilweise Dampfloks betriebenen Streckenabschnitte, die in Baden-Württemberg eine Länge von rund 1 650 km im Jahr 2005 (gegenüber 2 050 km in 2000) hatten. Damit sind seit 2000 etwa 400 Strecken-Kilometer elektrifiziert worden. Hinzu kommt der Rangierbetrieb, der auf 47 Bahnhöfen in Baden-Württemberg ebenfalls mit Dieselloks durchgeführt wird.

Die Luftschadstoffemissionen des dieselgetriebenen Schienenverkehrs entlang der Trassen und im Bereich großflä-

chiger Gleisanlagen (Rangier- und Umschlagbahnhöfe) für das Bezugsjahr 2002 zeigt Tabelle 4-5. Der Anteil des Schienenverkehrs am gesamten Verkehrsbereich (Tab. 4-1) beträgt beim Kraftstoffverbrauch 1,0 %, bei den Emissionen zwischen 0,3 % (CO) und 6,6 % (SO<sub>2</sub>); der Beitrag zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen ist - ähnlich wie beim Schiffsverkehr - mit 3,5 % überproportional.

Landesweit gesehen ist der Anteil der Dieselloks an den Emissionen des gesamten Verkehrs relativ gering im Vergleich zu den Kfz-Emissionen. Allerdings kann es an Bahnhöfen und Bahnstrecken in Siedlungsgebieten zu lokalen Belastungen durch Ruß und Abgase von Dieselloks kommen.

Die folgenden Kartendarstellungen zur NO<sub>x</sub>- und Partikelemission (Abb. 4-9 und 4-10) des Schienenverkehrs in Baden-Württemberg zeigen, dass einige Bahnstrecken im Land durchaus noch nennenswerte Schadstoffbelastungen aufweisen. Erfreulicherweise haben sich die Partikel- und Stickstoffoxid-Emissionen der Bahn im Zeitraum von 2000

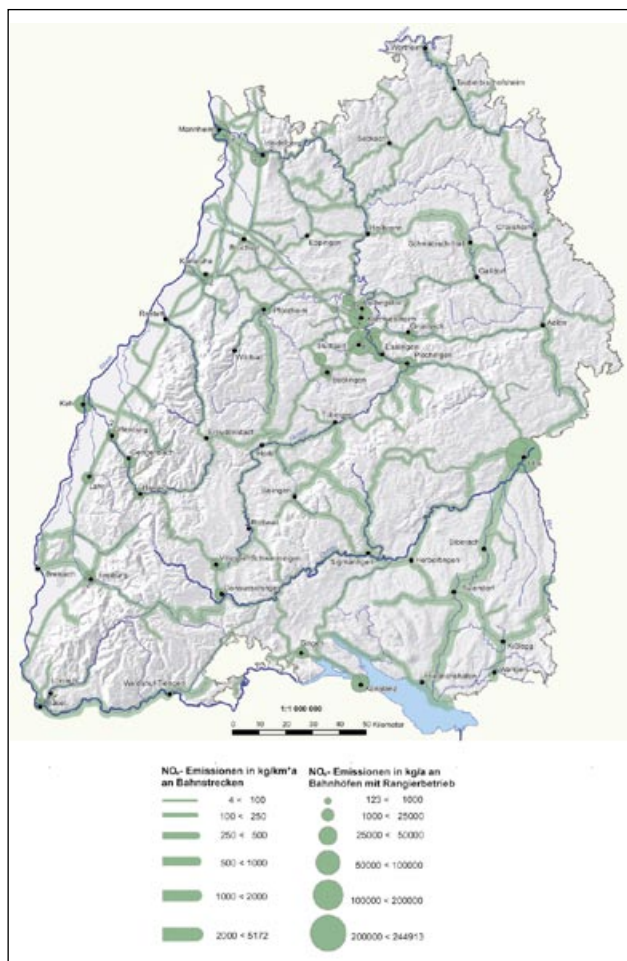


Abb. 4-9: NO<sub>x</sub>-Emission der Bahnstrecken mit Dieseltraktion in Baden-Württemberg, Stand 2005. Quelle: LUBW/AVISO 2005

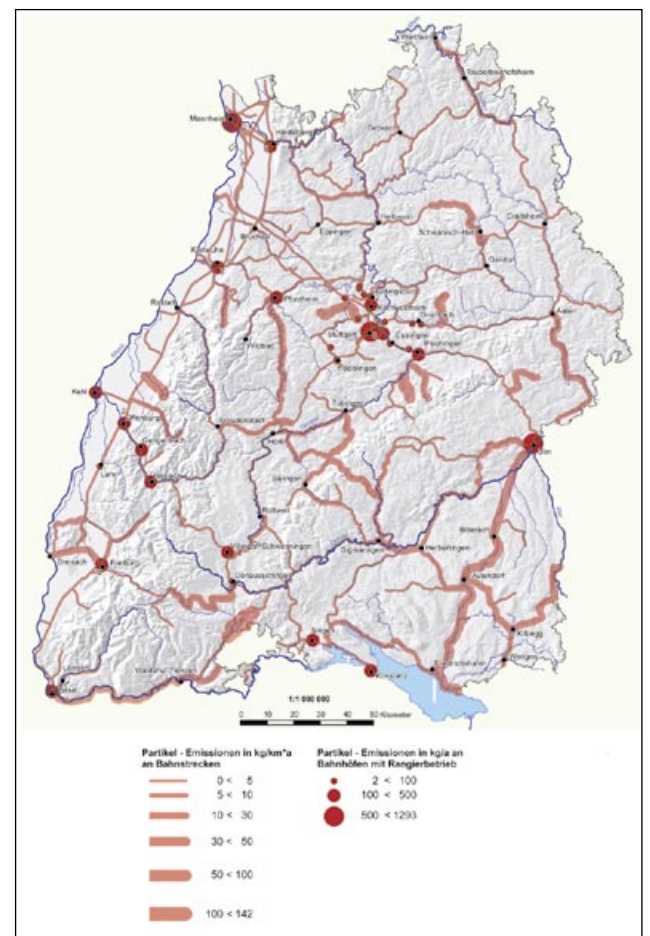


Abb. 4-10: Partikelemission der Bahnstrecken mit Dieseltraktion in Baden-Württemberg, Stand 2005 (einschließlich Dampfloks auf Museumsbahnstrecken). Quelle: LUBW/AVISO 2005

bis 2005 mehr als halbiert. Hauptursache dafür sind die fortschreitende Elektrifizierung des Streckennetzes sowie der weitgehende Ersatz veralteter Dieselloks durch moderne Triebwagen.

#### 4.2.3.3 FLUGVERKEHR

Der Flugverkehr zeichnet sich weiterhin durch eine hohe Wachstumsdynamik aus (Abb. 4-11). Auf dem Flughafen Stuttgart wurde im Jahr 2005 mit über 9,4 Mio. Fluggästen ein neuer Höchstwert erreicht. Auf den Regionalflughäfen Friedrichshafen und Baden Airport haben die Fluggastzahlen auf 596 089 bzw. 711 898 im Jahr 2005 zugenommen. Damit hat der Baden Airport beim Passagieraufkommen Friedrichshafen seit 2004 überholt.

Für die Berechnung der Emissionen des bodennahen Flugverkehrs in Baden-Württemberg wurden der Flughafen Stuttgart, die beiden Regionalflughäfen Friedrichshafen und Baden Airport, 116 Flug- und Segelflugplätze sowie 30 Hubschrauberlandeplätze berücksichtigt (Tab. 4-5). Eine Erhebung der Emissionen des Flugverkehrs in Höhen über 1 000 m steht für Baden-Württemberg nicht zur Verfügung. Gleichwohl tragen solche Emissionen zur überregionalen Schadstoffbelastung und damit zu Prozessen wie etwa der europaweiten Ozonbildung und dem Treibhauseffekt bei.

Der Flughafen Stuttgart ist die maßgebliche Emissionsquelle des Flugverkehrs im Land. Im Bezugsjahr 2000 lag sein Anteil am Kraftstoffverbrauch sowie an den  $\text{SO}_2$ - und Partikel-Emissionen bei jeweils etwa 80 % des gesamten bodennahen Flugverkehrs, bei  $\text{NO}_x$  sogar bei 88 %. Demgegenüber betrug der Emissionsanteil bei den VOC lediglich 39 % und bei CO nur 9 %, da diese Komponenten hauptsächlich von den ein- und zweimotorigen Propellermaschinen emittiert werden.

In einer differenzierten Betrachtung, ebenfalls durchgeführt für das Jahr 2000, wurden am Beispiel des Flughafens Stuttgart die einzelnen Emissionsbeiträge sowie ihre Verteilung auf die verschiedenen Flugphasen untersucht [AVISO 2003]. Die Emissionen des Flughafens setzen sich dabei aus folgenden Beiträgen zusammen:

- Emissionen des Flugverkehrs im bodennahen Bereich bis 3 000 ft (ca. 915 m), d.h. sie enthalten vorwiegend die Start- und Landephassen einschl. Platzrunden und Bewegungen am Boden,

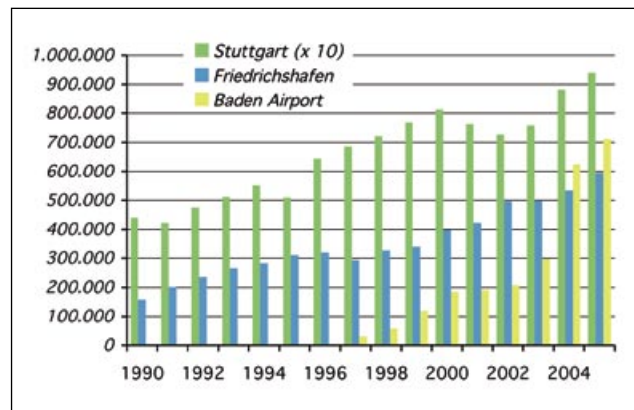


Abb. 4-11: Fluggastzahlen auf den Flughäfen Baden-Württembergs 1990 – 2005. Quelle: Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (ADV) 2006

- Bord-Hilfstriebwerke zur Strom- und Druckluftherzeugung (auxiliary power unit, APU),
- Stationäre Energieversorgungssysteme (ground power unit, GPU, als Ersatz für APU),
- Kraftfahrzeugverkehr im Vorfeldbereich und sonstige Geräte und
- Betankung und Enteisung.

Die Jahresemissionen für diese Emittentengruppen sind in der Tabelle 4-6 aufgelistet.

Die Emissionen des bodennahen Flugverkehrs werden auf der Grundlage des so genannten LTO-Zyklus (Landing and takeoff cycle) berechnet, der den einzelnen Flugbewegungsphasen spezifische Emissionen zuordnet (Tab. 4-7). Die Landephase setzt sich dabei zusammen aus Anflug („Approach“, veranschlagte Dauer 240 Sekunden) und dem anschließenden Rollen zum Vorfeld („Taxi-in“, 240-360 sec). Die Startphase wird unterteilt in die Abschnitte Rollen zum Start („Taxi-out“, 120-360 sec), Start („Take-off“, 42 sec) und Steigflug („Climbout“, 132 sec).

Tab. 4-6: Kraftstoffverbrauch (KV) und Jahresemissionen für den Flughafen Stuttgart 2000. Quelle: AVISO 2003

	KV	CO	NO <sub>x</sub>	VOC	Partikel	SO <sub>2</sub>
	t/a					
<b>Flugverkehr bodennah (0 bis 3000 ft)</b>	44 582	717	800	132	22,3	45
APU <sup>1)</sup>	9 510	85	63	6	4,8	9
GPU <sup>2)</sup>	229	5	14	1	0,8	
<b>Vorfeldverkehr</b>	1 197	13	25	8	1,9	1
<b>Betankung</b>				29		
<b>Enteisung</b>				99		
<b>Summe</b>	55 518	820	902	275	29,7	45

<sup>1)</sup> Auxiliary Power Unit (Bord-Hilfstriebwerke zur Strom- u. Druckluftherzeugung)  
<sup>2)</sup> Ground Power Unit (Stationäre Energieversorgungssysteme)

Tab. 4-7: Kraftstoffverbrauch (KV) und Emissionen für Passagierjets in den LTO-Phasen. Quelle: AVISO 2003

LTO-Phasen	KV	NO <sub>x</sub>	CO	Partikel
	kg			
Landung insgesamt (Approach + Taxi-in)	272	2,62	4,63	0,14
Start insgesamt (Taxi-out, Take-off, Climbout)	484	11,1	3,99	0,24

Bei der Landung befinden sich die Turbinen weitgehend im Leerlauf, weshalb die CO-Emission aufgrund der unvollständigen Verbrennung dominiert. Beim Start (Take-off) ist 100 % Leistung nötig, was zu einer Verbrennung mit hohen Temperaturen und entsprechend erhöhten NO<sub>x</sub>-Emissionen führt.

### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Informationen der LUBW zu Verkehrsemissionen:  
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de>

## 4.3 EMISSIONEN VON LUFTSCHADSTOFFEN

### 4.3.1 STICKSTOFFOXIDE

Stickstoffoxide entstehen bei Verbrennungsprozessen mit hohen Temperaturen durch teilweise Oxidation des im Brennstoff und der Verbrennungsluft enthaltenen Stickstoffs. Während des Verbrennungsprozesses entsteht überwiegend Stickstoffmonoxid (NO), das anschließend in der Atmosphäre zu Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) oxidiert wird.

Im Jahr 2002 wurden in Baden-Württemberg insgesamt 178 500 t Stickstoffoxide (berechnet als Stickstoffdioxid) freigesetzt. Die Quellengruppe Verkehr hatte daran einen Anteil von 52 %, gefolgt von den sonstigen technischen Einrichtungen mit 22 %, der Quellengruppe Industrie und Gewerbe mit 18 % und den Kleinf Feuerungsanlagen mit 8 % (Abb. 4-12).

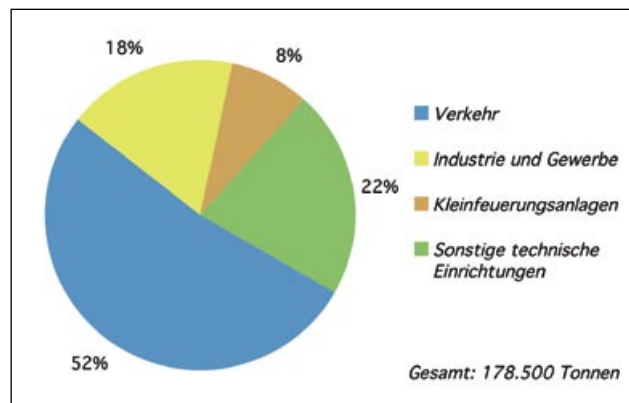


Abb. 4-12: Stickstoffoxid-Emissionen in Baden-Württemberg 2002. Quelle: UMEG 2005

Bei der Quellengruppe Industrie und Gewerbe sind insbesondere die großen Kraft- und Heizwerke, die Zementindustrie und die Mineralölverarbeitung für die Stickstoffoxid-Emissionen verantwortlich.

Die wesentlichen Verursacher der Stickstoffoxid-Emissionen der sonstigen technischen Einrichtungen sind Geräte der Industrie, der Bau- sowie der Land- und Forstwirtschaft.

Von 1990 bis 2003 gingen in Baden-Württemberg die Stickstoffoxid-Emissionen um 35 % zurück (Abb. 4-13). Die Emissionen des Straßenverkehrs haben in diesem Zeitraum mit 44 % etwas stärker abgenommen und dies trotz steigender Fahrleistung aufgrund von Minderungsmaßnahmen an den Fahrzeugen. Die Quellengruppe Kleinf Feuerungsanlagen weist relativ geringe Stickstoffoxid-Emissionen auf. Die Ursache liegt in den gegenüber industriellen Feuerungsanlagen niedrigeren Verbrennungstemperaturen. Die Emissionen dieser Gruppe sind abhängig vom Energieverbrauch und damit von den Temperaturen in der Heizperiode.

Auch zukünftig werden die Stickstoffoxid-Emissionen aller Quellengruppen weiter zurückgehen. Den wesentlichen Beitrag hierzu liefert der Straßenverkehr aufgrund der Flottenverjüngung durch Neufahrzeuge mit niedrigem Emissionsniveau (Abgasgrenzwertstufen Euro 4 bzw. Euro 5). Bei den Quellengruppen Industrie und Gewerbe sowie Kleinf Feuerungsanlagen ist dagegen nur noch eine geringe Abnahme der Stickstoffoxid-Emissionen zu erwarten.

### 4.3.2 STAUBEMISSIONEN

Bei den Staubemissionen wird zwischen Gesamtstaub und dem Feinstaubgehalt (PM<sub>10</sub>) im Gesamtstaub unterschieden. Sie werden im Folgenden getrennt betrachtet:

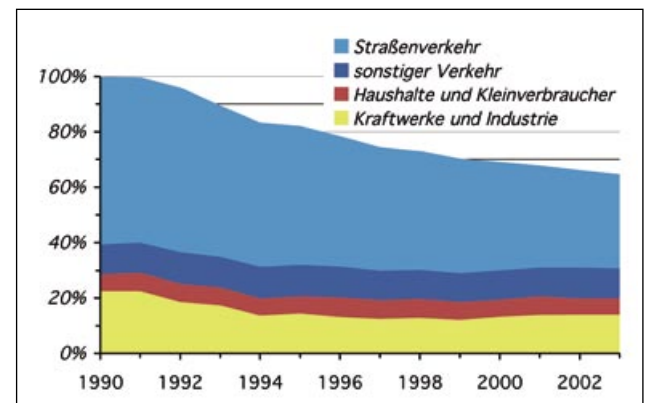


Abb. 4-13: Entwicklung der Stickstoffoxid-Emissionen in Baden-Württemberg 1990 bis 2003 im Vergleich zu 1990 (1990 = 100 %). Quelle: Statistisches Landesamt 2005

#### 4.3.2.1 GESAMTSTAUB

Bei der katastermäßigen Erfassung der Emission von Gesamtstaub handelt es sich ausschließlich um primär emittierten Staub. Die Bildung sekundärer Aerosole (vgl. Kapitel 4.4.3) wird nicht berücksichtigt. Eine Relation zwischen der Emissionsmenge und der gemessenen Immissionskonzentration kann daher nicht hergestellt werden.

Die Gesamtstaub-Emissionen betragen 2002 insgesamt 25 000 t. Davon stammen 50 % aus dem Verkehr, gefolgt von der Quellengruppe Industrie und Gewerbe mit 29 % sowie den sonstigen technischen Einrichtungen mit 16 % und den Kleinf Feuerungsanlagen mit 5 % (Abb. 4-14).

Innerhalb der Quellengruppe Industrie und Gewerbe werden vor allem Stäube aus Verbrennungsprozessen, Stäube aus der Metall- sowie Holz- und Holzverarbeitung, wie auch Gesteinsstäube freigesetzt.

Auf die Staubemissionen der Quellengruppe Verkehr wurde bereits in Kapitel 4.2 eingegangen.

Die Gesamtstaub-Emissionen der sonstigen technischen Einrichtungen werden durch Geräte der Land- und Forstwirtschaft sowie durch Bau-maschinen verursacht. Bei den Kleinf Feuerungsanlagen stammen die Staub-Emissionen überwiegend aus der Verbrennung von Festbrennstoffen (Holz und Kohle).

Die Gesamtstaub-Emissionen konnten in Baden-Württemberg von 1994 bis 2002 um 10 % reduziert werden (Abb. 4-15), wobei die Minderung im Bereich Verkehr und Feuerungsanlagen mit je 12 % etwas größer ausfiel als bei den Produktionsprozessen mit ca. 8 %.

Zukünftig ist bei den Emissionen mit einem weiteren Rückgang zu rechnen, wozu vor allem der Straßenverkehr innerhalb der Quellengruppe Verkehr beiträgt. Bei den Quellengruppen Industrie und Gewerbe sowie Kleinf Feuerungsanlagen ist keine bedeutende Verringerung der Emissionen mehr zu erwarten.

#### 4.3.2.2 FEINSTAUBANTEIL (PM<sub>10</sub>) IM GESAMTSTAUB

Die PM<sub>10</sub>-Feinstaubfraktion wurde für jede Quellengruppe getrennt aus den jeweiligen Gesamtstaubemissionen berechnet. Die PM<sub>10</sub>-Feinstaubemissionen für das Jahr 2002 sind differenziert nach den einzelnen Quellengruppen in Abbildung 4-16 dargestellt.

Die Feinstaubemissionen werden mit Anteilen von 40 % von der Quellengruppe Verkehr sowie zu 29 % von der

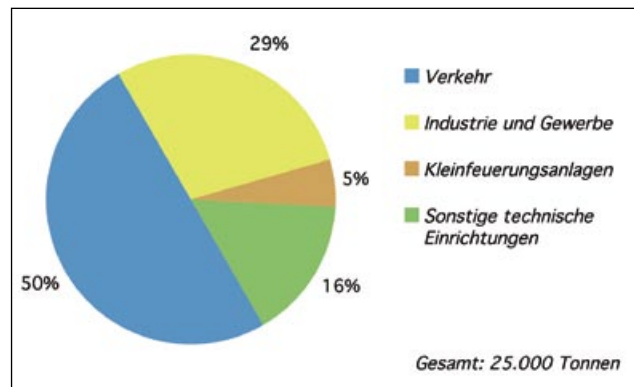


Abb. 4-14: Gesamtstaub-Emissionen in Baden-Württemberg 2002. Quelle: UMEG 2005

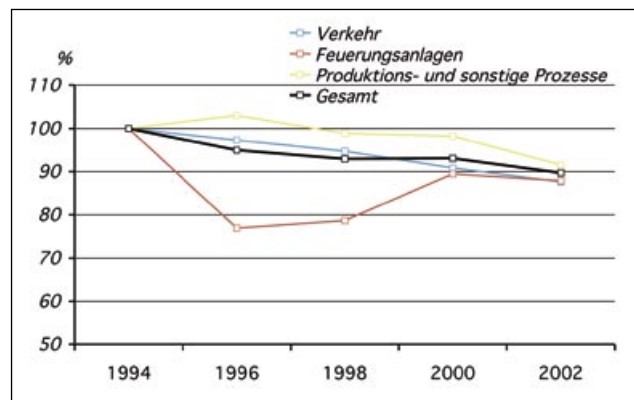


Abb. 4-15: Entwicklung der Gesamtstaub-Emissionen in Baden-Württemberg 1996 bis 2002 im Vergleich zu 1994 (1994 = 100 %). Quelle: Statistisches Landesamt 2005

Quellengruppe Industrie und Gewerbe bestimmt, der Anteil der sonstigen technischen Einrichtungen beträgt 23 %.

Zwischen 1994 und 2002 nahmen die Emissionen von PM<sub>10</sub> Feinstaub um 20 % ab (Abb. 4-17). Beim Straßenverkehr konnte durch Verbesserungen, insbesondere bei Dieselmotoren, ein Rückgang der Feinstaubemissionen um 31 % erreicht werden. Bei den Feuerungsanlagen lag der Rückgang bei 9 %, im produzierenden Gewerbe bei lediglich 2 %.

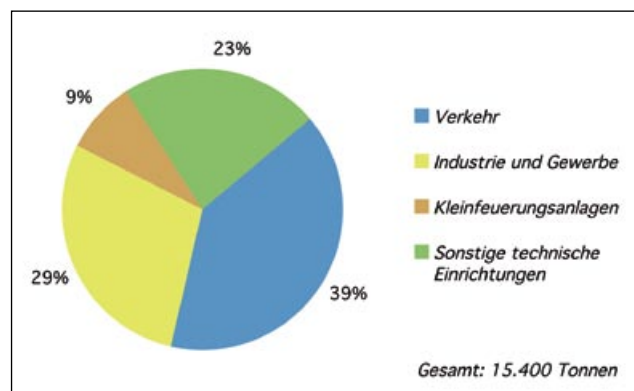


Abb. 16: PM<sub>10</sub>-Feinstaub-Emissionen in Baden-Württemberg 2002. Quelle: UMEG 2005

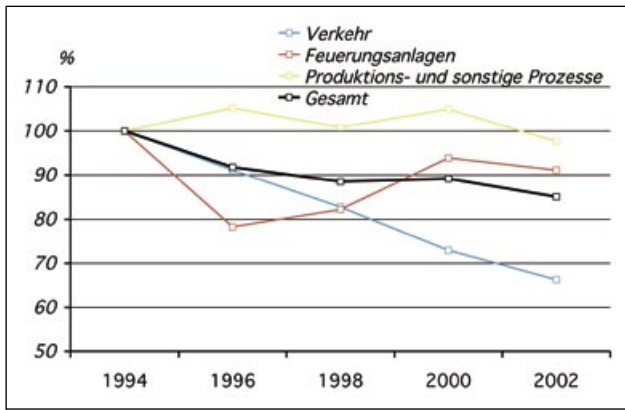


Abb. 4-17: Entwicklung der PM10-Feinstaub-Emissionen in Baden-Württemberg 1996 bis 2002 im Vergleich zu 1994 (1994 = 100 %).  
Quelle: Statistisches Landesamt 2005

### 4.3.3 AMMONIAK

Ammoniak stammt zu 97 % aus biogenen Quellen, insbesondere aus der Nutztierhaltung und der Landwirtschaft (insgesamt 90 %). Weiterhin tragen der naturbelassene Bereich (Vegetation, Böden und Gewässer) mit 3 % und Abwasserkanäle mit 4 % zu den Emissionen bei. Die Ammoniakemissionen, die als Nebenprodukt im geregelten Dreiwegekatalysator beim Pkw-Verkehr entstehen, machen nur einen Anteil von 2 % aus. Insgesamt betragen die Emissionen von Ammoniak 65 900 t im Jahr 2002 (Abb. 4-18).

Als Schwerpunkte der Ammoniakemissionen sind in Baden-Württemberg die Gebiete mit hohem Viehbestand wie z. B. die Regionen Hohenlohe, Ostalb und Oberschwaben zu nennen (Abb. 4-19).

Für Ammoniak ist seit 1990 eine Abnahme der Emission von ca. 17 % [STALA 2006a] zu verzeichnen. Ausschlaggebend hierfür waren die überwiegend für die Ammoniakfreisetzung verantwortlichen Rinderbestände, die inner-

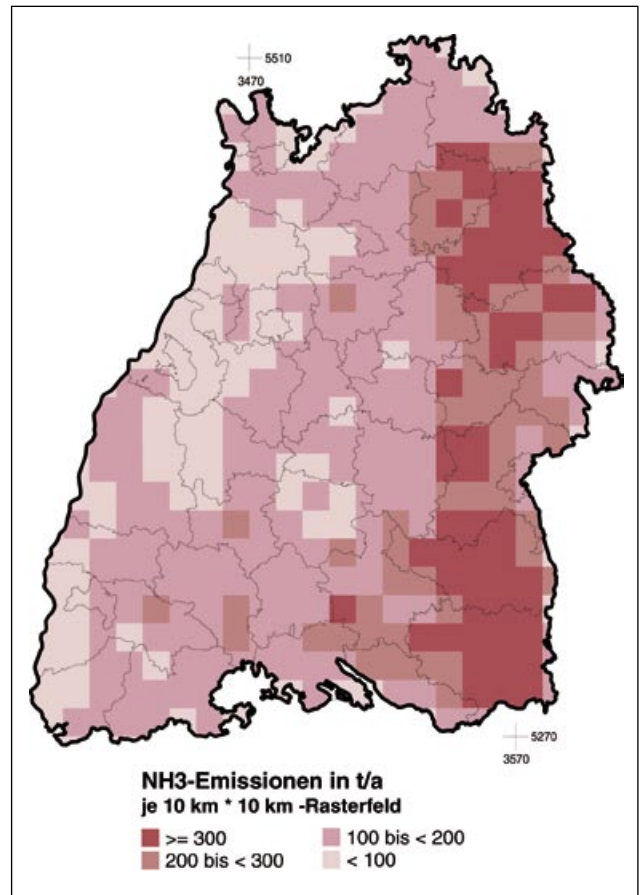


Abb. 4-19: Ammoniakemissionen in t/a je 10 x 10 km - Rasterfeld in Baden-Württemberg (2000). Quelle: UMEG 2003

halb dieses Zeitraums um 32 % abnahmen [STALA 2006b]. Weiterhin tragen die Anwendungen der guten fachlichen Praxis gemäß der Düngeverordnung [DüV 2006] zur Reduktion der Emissionen bei.

### 4.3.4 KOHLENMONOXID

Kohlenmonoxid entsteht bei unvollständiger Verbrennung, hauptsächlich in Kraftfahrzeugmotoren, in geringerem Maße auch in Feuerungsanlagen. Die Emissionen von 621 200 t im

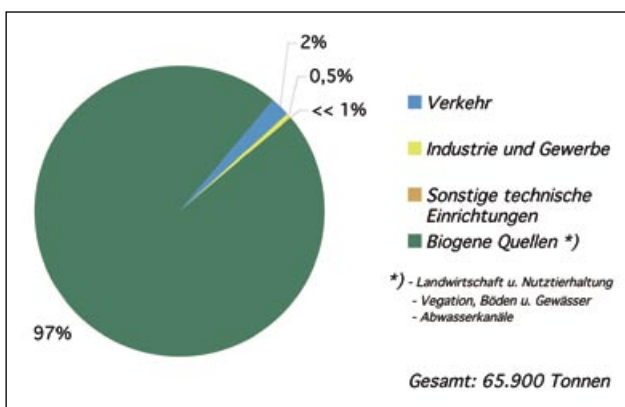


Abb. 4-18: Ammoniak-Emissionen in Baden-Württemberg 2002.  
Quelle: UMEG 2005

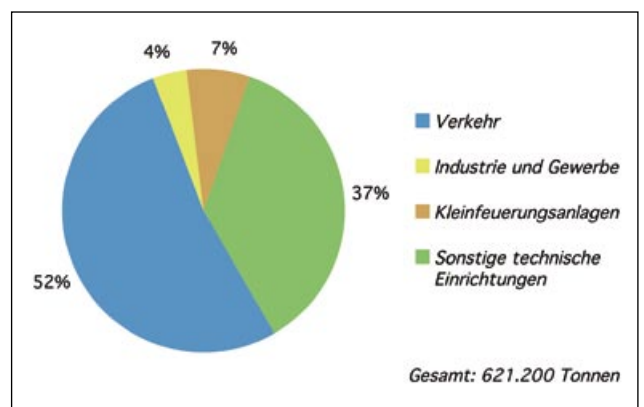


Abb. 4-20: Kohlenmonoxid-Emissionen in Baden-Württemberg im Jahr 2002. Quelle: UMEG 2005

Jahr 2002 wurden zu 52 % vom Verkehr und zu 37 % von den sonstigen technischen Einrichtungen verursacht. Bei den sonstigen technischen Einrichtungen tragen wiederum vorwiegend Antriebsmotoren von Maschinen zur Emission bei (Abb. 4-20).

Durch die weitgehende Ausrüstung der Benzinfahrzeuge mit einem geregelten Katalysator sanken die CO-Emissionen des Straßenverkehrs im Zeitraum 1990 bis 2003 um 63 %, während die CO-Emissionen insgesamt um 46 % abnahmen (Abb. 4-21).

#### 4.3.5 SCHWEFELDIOXID

Schwefeldioxid-Emissionen entstehen bei der Verbrennung schwefelhaltiger Brennstoffe, insbesondere von Kohle und Öl. Im Jahr 2002 wurden 39 600 t Schwefeldioxid emittiert, davon 61 % durch Industrie und Gewerbe und 36 % durch Kleinfeuerungsanlagen, welche mit Heizöl betrieben werden (Abb. 4-22).

Insgesamt haben die Emissionen von Schwefeldioxid zwischen 1990 und 2003 um 67 % abgenommen. Den stärksten Rückgang der Schwefeldioxid-Emissionen gab es Ende der 1980er Jahre, vor allem durch die Abgasentschwefelung bei Kraftwerken und Industriefeuerungen. Seit 1990 sind die Emissionen von Schwefeldioxid bei dieser wichtigen Emitterengruppe nochmals um 65 % gesunken, auch bei den Kleinfeuerungen hat sich der Rückgang im Schwefelgehalt des leichten Heizöls (von 0,20 % auf 0,005 %) stark auf die Emissionen ausgewirkt. Besonders groß ist der Rückgang beim Verkehr durch Einsatz schwefelärmerer Kraftstoffe, so dass dieser kaum noch zur Emission beiträgt (Abb. 4-23).

#### 4.3.6 FLÜCHTIGE ORGANISCHE VERBINDUNGEN

Unter dem Oberbegriff flüchtige organische Verbindungen (VOC) ist eine Vielzahl unterschiedlicher Stoffarten zusammengefasst, die sich sowohl in ihrer Wirkung auf den Menschen als auch in ihrem Verhalten in der Umwelt stark unterscheiden.

Bestimmte organische Verbindungen haben Einfluss auf den globalen Zustand der Atmosphäre, indem sie in den Strahlungshaushalt der Erde eingreifen. So ist Methan neben Kohlendioxid hauptverantwortlich für die Verstärkung des Treibhauseffektes. Aus diesem Grund wird bei der Darstellung der VOC-Emissionen im Allgemeinen zwischen Methan- und Nicht-Methan-VOC (NMVOC) unterschieden.

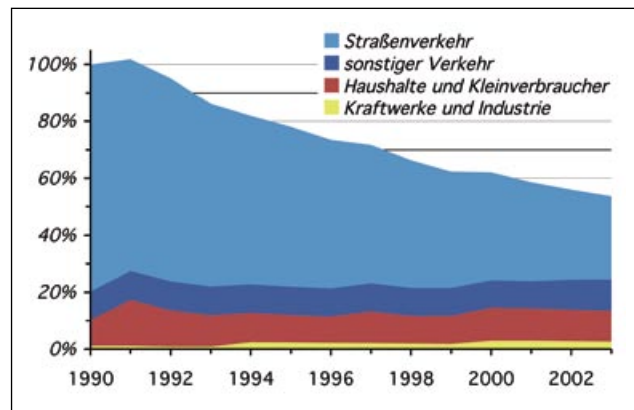


Abb. 4-21: Entwicklung der Kohlenmonoxid-Emissionen in Baden-Württemberg 1990 bis 2003 im Vergleich zu 1990 (1990 = 100 %). Quelle: Statistisches Landesamt 2005

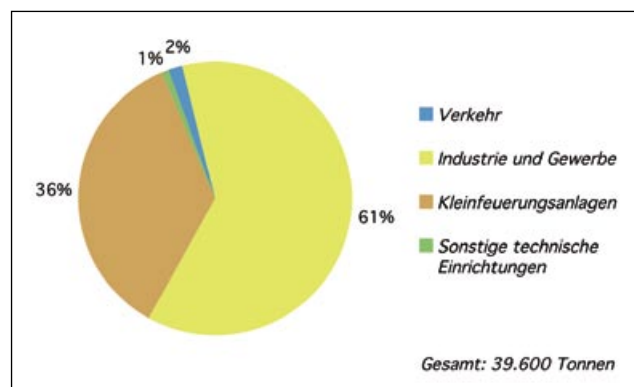


Abb. 4-22: Schwefeldioxid-Emissionen in Baden-Württemberg im Jahr 2002. Quelle: UMEG 2005

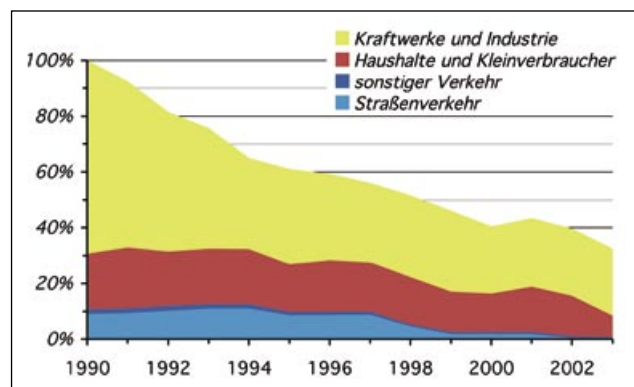


Abb. 4-23: Entwicklung der Schwefeldioxid-Emissionen in Baden-Württemberg 1990 bis 2003 im Vergleich zu 1990 (1990 = 100 %). Quelle: Statistisches Landesamt 2005

Die NMVOC-Emissionen betragen 2002 in Baden-Württemberg 217 600 t. Hauptverursacher sind die sonstigen technischen Einrichtungen mit einem Anteil von 33 % und die biogenen Quellen mit einem Anteil von 31 %. Die industriellen und gewerblichen Quellen tragen mit einem Anteil von 20 % zu den NMVOC-Emissionen bei, der Anteil des Verkehrs liegt bei 15 %. Unbedeutend ist der Anteil der Kleinfeuerungsanlagen (Abb. 4-24).



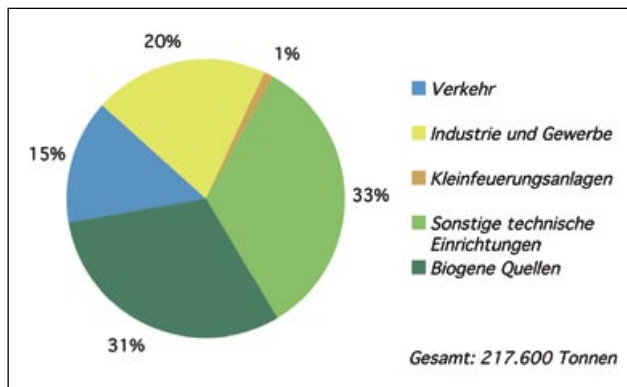


Abb. 4-24: NMVOC-Emissionen in Baden-Württemberg 2002.  
Quelle: UMEG 2005

Innerhalb der biogenen Quellen sind vor allem die Wälder für die NMVOC-Emissionen verantwortlich. Bei den sonstigen technischen Einrichtungen tragen der Einsatz von Produkten mit organischen Lösemitteln (zum Beispiel Anwendung von Reinigungsmitteln, Klebstoffen, Lacken usw.) sowie Geräte und Maschinen wesentlich zu den NMVOC-Emissionen bei. Im Rahmen der Quellengruppe Industrie und Gewerbe ist das Gewerbe zu etwa zwei Drittel für die NMVOC-Emissionen verantwortlich. Die Emissionen entstehen hier vor allem beim Einsatz von Reinigungsmitteln, Lacken, Druckfarben und Kraftstoffen.

Die NMVOC-Emissionen gingen in Baden-Württemberg von 1994 bis 2002 um 31 % zurück (Abb. 4-25). Die Emissionsminderung beim Straßenverkehr von 1994 bis 2002 um 58 % wurde vor allem durch das fortschreitende Anwachsen des Kraftfahrzeug-Bestandes mit geregelter Katalysator erreicht. Bei der Lösemittelanwendung im privaten sowie industriellen und gewerblichen Bereich betrug der Rückgang infolge lösemittelarmer Produkte und emissionsarmer Verfahren etwa 28 %.

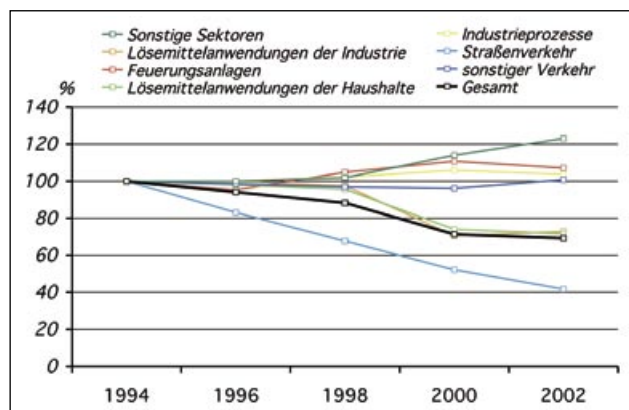


Abb. 4-25: Entwicklung der NMVOC-Emissionen in Baden-Württemberg 1996 bis 2002 im Vergleich zu 1994 (1994=100 %). Quelle: Statistisches Landesamt 2005

Zukünftig wird ein weiterer Rückgang der NMVOC-Emissionen erwartet. Durch den wachsenden Anteil von Kraftfahrzeugen an der Fahrzeugflotte, die den Abgasgrenzwerten Euro 4 entsprechen, wird wie bei den Stickstoffoxiden der Straßenverkehr auch zukünftig wesentlich zur Abnahme der Emissionen beitragen. Bei der Quellengruppe Industrie und Gewerbe ist ein Rückgang der NMVOC-Emissionen insbesondere im Bereich der Lösemittelanwendungen zu erwarten.

#### 4.3.7 KREBSERZEUGENDE LUFTSCHADSTOFFE

Krebserzeugende Schadstoffe stammen überwiegend aus Verbrennungsvorgängen in der Industrie, im Verkehr, im Hausbrand und aus Reaktionsprozessen der chemischen Industrie.

Für fünf als besonders umweltrelevant eingestufte krebserzeugende Luftverunreinigungen wurden 2002 die Emissionen erhoben. Bis auf Benzol werden die krebserzeugenden Luftverunreinigungen überwiegend als Staubbestandteile oder an Staubpartikel angelagert in die Atmosphäre abgegeben.

*Arsenverbindungen* kommen 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 (Abb. 4-26). Die Arsenemissionen bei den Kleinf Feuerungsanlagen und dem Verkehr entstehen durch den natürlichen Arsengehalt in den Brennstoffen bzw. im Dieselöl.

*Benzol* als gasförmiger Luftschadstoff wird überwiegend vom Verkehr freigesetzt (Abb. 4-27) und tritt insbesondere an stark befahrenen, innerstädtischen Straßen in höheren Konzentrationen auf. Benzol-Emissionen bei Kleinf Feuer-

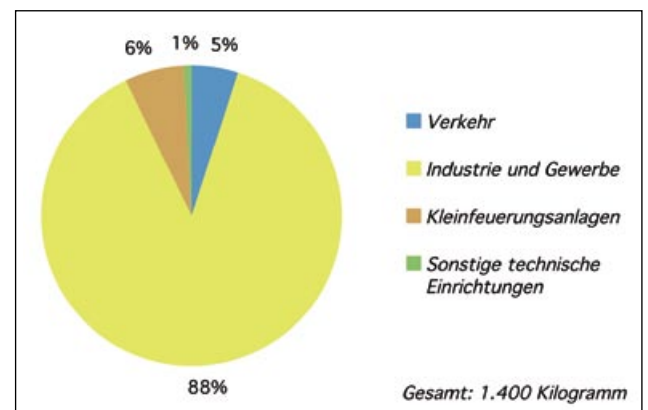


Abb. 4-26: Emissionen von Arsen in Baden-Württemberg 2002.  
Quelle: UMEG 2005

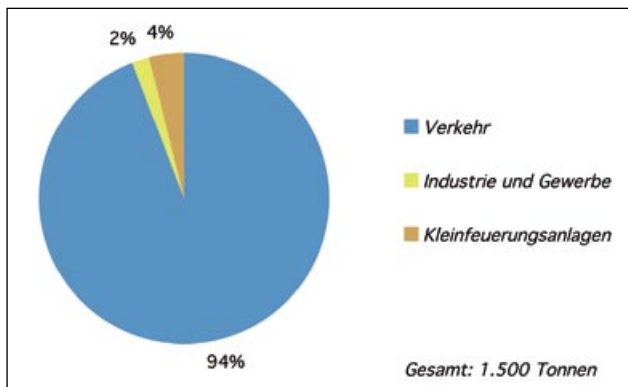


Abb. 4-27: Emissionen von Benzol in Baden-Württemberg 2002. Quelle: UMEG 2005

rungsanlagen entstehen aus der unvollständigen Verbrennung von Holz. Die industriellen Benzol-Emissionen machen nur einen kleinen Anteil an den Gesamtemissionen aus, sie werden überwiegend von der Metallverarbeitung und dort besonders von den Eisengießereien verursacht.

**Cadmiumverbindungen** werden vorwiegend bei der Metallverarbeitung (Eisengießereien), bei der Zement- und Keramikherstellung sowie in Feuerungsanlagen und bei der Müllverbrennung freigesetzt (Abb. 4-28). Die Cadmium-Emissionen aus dem Bereich der Kleinfeuerungen beruhen auf einem geringen Cadmiumgehalt im Brennholz und im leichten Heizöl.

**Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe** (Leitsubstanz: Benzo(a)pyren) treten bei der unvollständig ablaufenden Verbrennung oder Verschwelung organischer Materialien auf. Die bei der Verbrennung zunächst gasförmigen Verbindungen lagern sich an die Staubpartikel im Abgas an. Hauptquellen sind die Verbrennungsmotoren der sonstigen technischen Einrichtungen, Kleinfeuerungsanlagen zur Verfeuerung von Holz und Kohle sowie der Straßenverkehr (Abb. 4-29). Im Bereich Industrie stammen die Emissionen von Benzo(a)pyren aus Nichteisenmetallgießereien, Feuerungsanlagen und Motorenprüfständen.

**2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin** (2,3,7,8-TCDD) ist das am stärksten krebserzeugend wirkende Kongener aus der Gruppe der polychlorierten p-Dibenzodioxine und -furan (PCDD/F). PCDD/F entstehen bei Verbrennungs- und Verschwelungsprozessen chlorhaltiger Materialien bei Temperaturen um 500°C. Der hohe Siedepunkt führt dazu, dass bei normalen Temperaturen der Hauptanteil an Staubpartikeln angelagert wird.

Die wesentlichen Emissionen von 2,3,7,8-TCDD kommen aus dem Bereich Industrie und Gewerbe (Abb. 4-30), dort besonders aus Anlagen zur Metallgewinnung (Nichteisen-

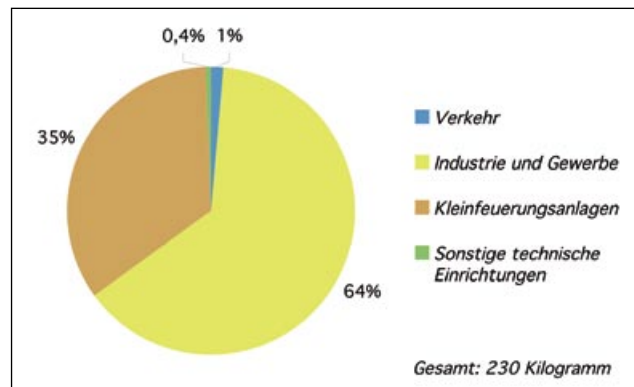


Abb. 4-28: Emissionen von Cadmium in Baden-Württemberg 2002. Quelle: UMEG 2005

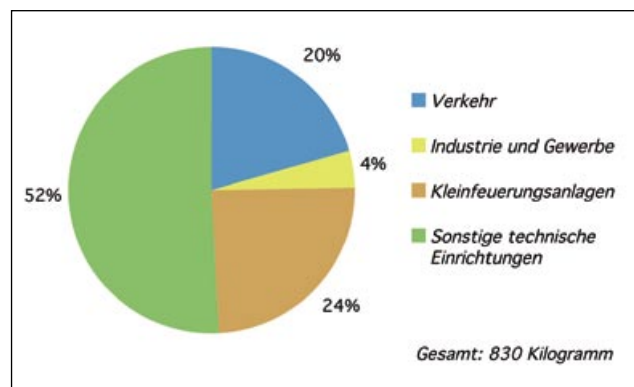


Abb. 4-29: Emissionen von Benzo(a)pyren in Baden-Württemberg 2002. Quelle: UMEG 2005

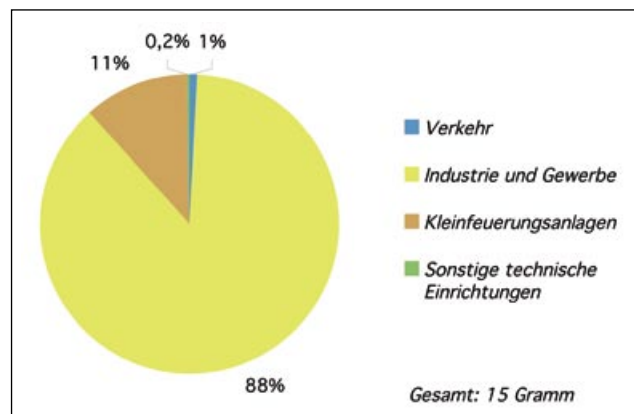


Abb. 4-30: 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin-Emissionen in Baden-Württemberg 2002. Quelle: UMEG 2005

metallschmelz- und Gießanlagen), Räucheranlagen und Müll- und Sondermüllverbrennungsanlagen. In Kleinfeuerungsanlagen entstehen die Emissionen hauptsächlich bei der Verbrennung von Holz und Kohle.

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Aktuelle Emissionsdaten der LUBW:

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/10276/>

Luft – Emissionskataster:

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/11163/>

## 4.4 IMMISSIONEN VON LUFTSCHADSTOFFEN

### 4.4.1 ÜBERWACHUNG DER LUFTQUALITÄT IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Zur Beurteilung der Luftqualität werden sowohl Informationen über die Emissionsquellen von Luftschadstoffen als auch über die Immissionskonzentration von Luftschadstoffen benötigt.

Kernstück der Immissionsüberwachung ist das stationäre, kontinuierlich messende Luftmessnetz Baden-Württemberg. Bis zum Jahr 2002 hatte das Land Baden-Württemberg ein Luftmessnetz aus 67 Luftmessstationen errichtet. Mit den Änderungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und von Verordnungen hierzu (22. und 33. BImSchV) wurde eine Neukonzeption des Luftmessnetzes Baden-Württemberg erforderlich. Für die Struktur der Luftüberwachung wurde daher ein Messnetz entworfen, das strikt an den rechtlichen Vorgaben ausgerichtet ist. Damit wurde auch eine Standortoptimierung erreicht. Das neue Landesmessnetz wird im Endausbau aus 33 Stationen in Siedlungsgebieten und vier Stationen im ländlichen Hintergrund bestehen. Ergänzt wird es durch vier innerstädtische Verkehrsstationen (Abb. 4-31). Das Luftmessnetz Baden-Württemberg dient der Langzeitüberwachung von Luftverunreinigungen, wobei die über viele Jahre durchgeführten

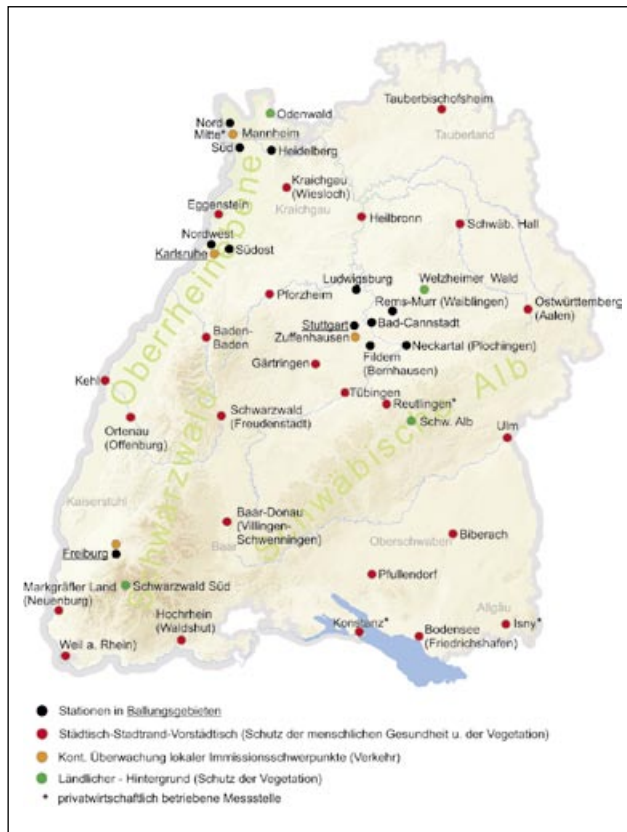


Abb. 4-31: Luftmessstationen Baden-Württemberg, Stand 2005.  
Quelle: LUBW 2006

kontinuierlichen Messungen Aussagen über die zeitliche Entwicklung der Luftbelastung (Trendanalysen) erlauben. Die Überwachung der Luftqualität wird ergänzt durch zeitlich befristete Messungen an stark befahrenen Straßen in Ortsgebieten (Spotmessungen). Die Spotmessungen 2006 umfassen 25 Messorte.

#### 4.4.1.1 AUSWIRKUNGEN UND BEWERTUNG VON IMMISSIONEN

Immissionen durch Luftschadstoffe können zu akuten Beeinträchtigungen oder chronischen Schädigungen führen. Beim Menschen können bei kurzfristigen hohen Konzentrationen vorwiegend die Atemwege betroffen sein. Chronische Schäden auch an anderen Organen können besonders durch Feinstäube bzw. durch ihre Inhaltsstoffe verursacht werden.

Nach heutigem Kenntnisstand sind Luftverunreinigungen auch eine wesentliche Ursache für Schäden an der natürlichen Vegetation und an landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. Der Eintrag von Luftverunreinigungen (Deposition) verändert die Eigenschaften von Böden und Oberflächengewässern. In den letzten Jahren hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass der Ausarbeitung und Umsetzung einer Strategie zur Verminderung der versauernden, überdüngenden und ozonbildenden Luftschadstoffe eine besondere Bedeutung zukommt. Ursache hierfür sind die europaweit noch zu hohen Emissionen von Schwefeldioxid, Stickstoffoxiden, flüchtigen organischen Verbindungen und von Ammoniak.

Mit der Luftqualitäts-Rahmenrichtlinie (Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996) über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität hat die Europäische Union (EU) folgende Grundsätze für die Luftreinhaltungspolitik aufgestellt:

- Definition und Festlegung von Luftqualitätszielen für die Gemeinschaft im Hinblick auf die Vermeidung, Verhütung oder Verringerung schädlicher Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt insgesamt,
- Erhaltung der Luftqualität, sofern sie gut ist, und Verbesserung der Luftqualität, wenn dies nicht der Fall ist,
- Beurteilung der Luftqualität in den Mitgliedstaaten anhand einheitlicher Methoden und Kriterien,
- Verfügbarkeit von sachdienlichen Informationen über die Luftqualität und Unterrichtung der Öffentlichkeit hierüber.

#### 4.4.1.2 LUFTQUALITÄTSSTANDARDS

Grenzwerte wurden auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse mit dem Ziel festgelegt, schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und auf andere Schutzgüter (z. B. Vegetation und Materialien) zu vermeiden. Werden die zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegten Grenzwerte eingehalten, sind nach gegenwärtigem Kenntnisstand gesundheitliche Beeinträchtigungen nicht zu erwarten. Bei deutlicher und dauerhafter Überschreitung der Grenzwerte ist ein allgemein erhöhtes Gesundheitsrisiko möglich.

Die Grenzwerte für den Schutz von Ökosystemen und für den Schutz der Vegetation beziehen sich auf größere, besonders zu schützende naturnahe Landschaften, die weitgehend unbeeinflusst durch menschliche Aktivitäten sind, wie z. B. Naturschutzgebiete.

Zielwerte werden definiert, um schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt langfristig zu vermeiden. Die Zielwerte sollen soweit wie möglich innerhalb eines festgelegten Zeitraumes erreicht werden.

Die europäische Rahmenrichtlinie über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität 96/62/EG hat erstmals eine europaweit einheitliche Grundlage für die qualitative und quantitative Bewertung der Luftqualität geschaffen. Grenz- und Zielwerte für einzelne Stoffe wurden in darauf folgenden „Tochterrichtlinien“ festgelegt. Die Mitgliedstaaten müssen diese Vorschriften in nationales Recht umsetzen. In der Bundesrepublik Deutschland erfolgte dies mit der 22. und 33. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchV) bzw. deren Novellierungen.

Die Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft (22. BImSchV) vom 11. September 2002 legt Immissionswerte für Schwefeldioxid, Schwebstaub, Blei, Stickstoffdioxide, Benzol und Kohlenmonoxid fest. Sie enthält außerdem Regelungen zur Überwachung der Luftqualität (Festlegung von Messverfahren) und zur Beurteilung der Luftqualität.

Mit der Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen (33. BImSchV) vom 13. Juli 2004 wurden Zielwerte für den Schutz der menschlichen Gesundheit und zum Schutz der Vegetation vor bodennahem Ozon festgelegt. Außerdem werden jährliche Emissionshöchstmengen für die Bundesrepublik Deutschland für die Stoffe Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, flüchtige

organische Verbindungen und Ammoniak zur langfristigen Verminderung von Versauerung und Nährstoffeinträgen in Ökosysteme vorgegeben.

Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) vom 24. Juli 2002 schreibt Immissionswerte zum Schutz vor Gesundheitsgefahren und zum Schutz vor erheblichen Nachteilen und Belästigungen vor, die als Beurteilungsmaßstäbe für immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren von industriellen und gewerblichen Anlagen dienen.

#### 4.4.2 STICKSTOFFOXIDE

Stickstoffoxide werden überwiegend als Stickstoffmonoxid (NO) emittiert und anschließend in der Atmosphäre zu Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) oxidiert. Die Umwandlungsgeschwindigkeit hängt von der Tages- und Jahreszeit sowie von der Ozonkonzentration ab.

Stickstoffoxide sind einerseits als Luftschadstoff direkt wirksam, andererseits sind sie Ausgangssubstanz für zahlreiche chemische Prozesse in der Atmosphäre: Durch Umwandlung zu Nitraten und Bildung von sekundärem Aerosol leisten sie einen Beitrag zur großräumigen Partikelbelastung, als Nitratdeposition können sie zu einer Überdüngung der Böden führen, durch Säurebildung tragen sie zum sauren Regen bei, mit negativen Auswirkungen auf die Vegetation. Große Bedeutung für die Luftqualität haben Stickstoffoxide aber auch als Vorläufersubstanzen für die Bildung von bodennahem Ozon und anderen Photooxidantien.

Beim Menschen wirkt Stickstoffdioxid primär als Reizgas auf die Schleimhäute des Atemtraktes. Kurzzeitige Spitzenwerte scheinen dabei stärkere Auswirkungen zu haben als niedrigere, über einen längeren Zeitraum wirkende Konzentrationen.

In Deutschland gelten die Immissionsgrenzwerte der 22. BImSchV für Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide (Tab. 4-8). Zum Schutz der menschlichen Gesundheit ist für NO<sub>2</sub> bis 2009 noch der 98%-Wert der Summenhäufigkeit aller 1-Stunden-Werte eines Jahres von 200 µg/m<sup>3</sup> einzuhalten. Ab 1. Januar 2010 gilt zum Schutz der menschlichen Gesundheit bei NO<sub>2</sub> ein Grenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> (Jahresmittel) und außerdem ein Kurzzeit-Grenzwert von 200 µg/m<sup>3</sup> (1-Stundenmittel) bei 18 zugelassenen Überschreitungen pro Kalenderjahr.

Tab. 4-8: Grenzwerte der 22. BImSchV für Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>).

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Grenzwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Bemerkungen	Gültigkeit*
Menschliche Gesundheit	Jahr	200 für NO <sub>2</sub>	98%-Wert der Summenhäufigkeit der 1 Stunden-Mittelwerte bei 18 zugelassenen Überschreitungen pro Kalenderjahr	gültig bis 31.12.2009
Menschliche Gesundheit	1 Stunde	200 für NO <sub>2</sub>		01.01.2010
Menschliche Gesundheit	Kalenderjahr	40 für NO <sub>2</sub>		01.01.2010
Vegetation	Kalenderjahr	30 für NO <sub>x</sub>		11.09.2002

\* Datum, ab dem der Grenzwert einzuhalten ist

An mehreren straßennahen Messstellen im Land, insbesondere an verschiedenen Spotmessstellen, die als Sonderprogramm zur Prüfung der Immissionsbelastung an besonders verkehrsbelasteten Punkten eingerichtet wurden, liegen Überschreitungen der beiden zukünftigen NO<sub>2</sub>-Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit vor.

Als Jahresgrenzwert für den Schutz der Vegetation gilt seit dem Jahr 2002 für Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) der Wert von 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , welcher an allen ländlichen Hintergrundstationen sicher eingehalten wird.

Die Konzentrationsverläufe von Stickstoffoxiden zeigen eine uneinheitliche Tendenz.

Bei den Gesamt-Stickstoffoxiden (NO<sub>x</sub>) und ebenso bei Stickstoffmonoxid (NO) (Abb. 4-32 a und b) ist in den Städten eine deutliche Abnahme der Konzentrationen um etwa 40 bis 60 % seit 1990 festzustellen. Dies stimmt mit dem berechneten Rückgang der NO<sub>x</sub>-Emissionen überein, sowohl insgesamt als auch im Bereich des Straßenverkehrs (vgl. Kapitel 4.2 und 4.3).

Dagegen ist bei den Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)-Immissionen (Abb. 4-32 c) kein entsprechender Rückgang festzustellen: Sie nehmen straßennah nur geringfügig ab und steigen teilweise sogar an. Die NO<sub>2</sub>-Immissionsentwicklung an den vier Verkehrsmessstationen im Land (Abb. 4-33) zeigt für die Station Stuttgart-Mitte-Straße eine Zunahme der Konzentrationen über die letzten Jahre, für die anderen eine Stagnation. Auch die gemessene Abnahme der NO<sub>2</sub>-Immissionen an städtischen Stationen mit Verkehrseinfluss sowie im städtischen Hintergrund (Abb. 4-32 c) fällt wesentlich geringer aus als der entsprechende NO<sub>x</sub>-Trend.

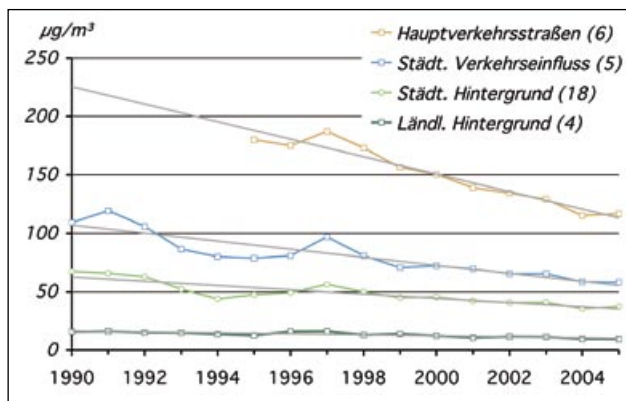


Abb. 4-32 a: NO<sub>x</sub>-Immissionsentwicklung 1990-2005 in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW 2006

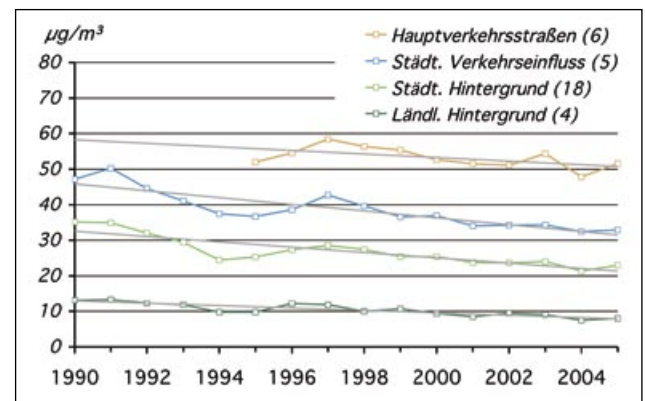


Abb. 4-32 c: NO<sub>2</sub>-Immissionsentwicklung 1990-2005 in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW 2006

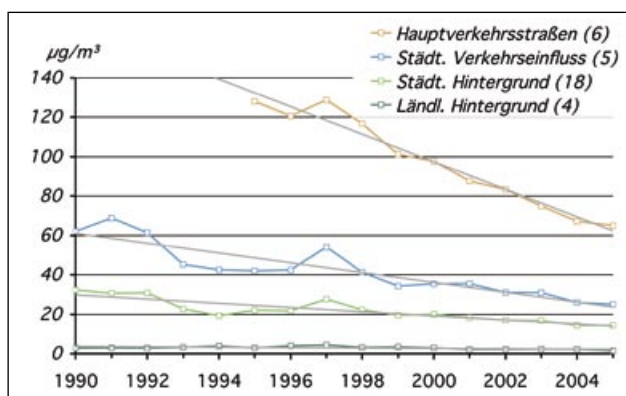


Abb. 4-32 b: NO-Immissionsentwicklung 1990-2005 in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW 2006

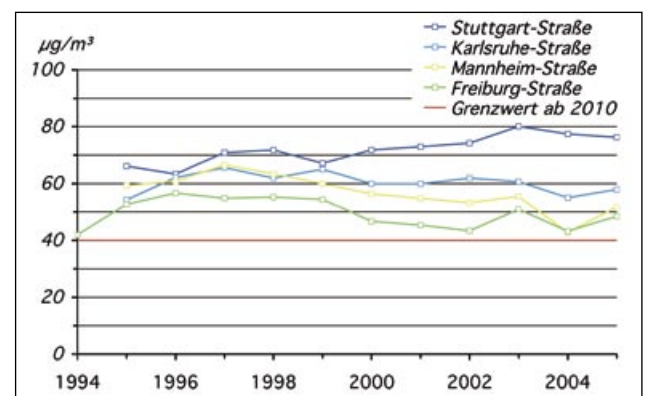


Abb. 4-33: NO<sub>2</sub>-Immissionsentwicklung 1994-2005 an den vier Straßenstationen in Ba-Wü. Quelle: LUBW 2006

Diese Entwicklung lässt erwarten, dass auch noch 2010 die  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwerte an verschiedenen straßennahen Stationen über  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Grenzwert der 22. BImSchV) liegen werden.

Ursache dieser vom  $\text{NO}_x$ - und  $\text{NO}$ -Trend abweichenden Entwicklung der  $\text{NO}_2$ -Immissionen sind vor allem moderne Diesel-Pkw mit serienmäßig eingebautem Oxidationskatalysator, die gegenüber den Kraftfahrzeugen der 1990er Jahre eine veränderte Abgaszusammensetzung mit stark erhöhter  $\text{NO}_2$ -Direktemission aufweisen. Der massive Trend hin zum Dieselmotor (bis zu 50 % bei den Neuzulassungen) hat diese Entwicklung noch verstärkt. Auch die bei Bussen eingesetzten CRT-Partikelfilter (CRT: continuously regenerating trap), die mit dem Ziel der Partikelminderung bislang propagiert wurden, haben hohe  $\text{NO}_2$ -Emissionen zur Folge. Es ist davon auszugehen, dass Partikelfilter mit katalytischer Beschichtung generell zu deutlich erhöhten  $\text{NO}_2$ -Emissionen führen.

Damit wird die Entwicklung der  $\text{NO}_2$ -Immissionen in den nächsten Jahren sehr aufmerksam verfolgt werden müssen. Insbesondere im Bereich der Dieselfahrzeuge ist eine weitere Senkung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen in künftigen Euro-Normen erforderlich, um die  $\text{NO}_2$ -Emissionen zu verringern.

Diese Zusammenhänge werden deutlich aus den Messungen sowohl an den Spotmessstellen, die als Sonderprogramm zur Prüfung der Immissionsbelastung an besonders verkehrsbelasteten Punkten eingerichtet wurden, als auch an den innerstädtischen Straßenstationen. Dort kam es 2004 und 2005 zu zahlreichen Überschreitungen der  $\text{NO}_2$ -Grenzwerte, auch unter Einbeziehung der derzeit gültigen Toleranzmargen.

#### 4.4.3 SCHWEBSTAUB

Schwebstaub bzw. Aerosole sind luftgetragene, feste und/oder flüssige Partikel, die nicht sofort zu Boden sinken, sondern in der Atmosphäre über weite Strecken transportiert werden. Sie spielen in der Luftchemie und bei Strahlungsprozessen in der Atmosphäre eine wichtige Rolle. International werden sie als Particulate Matter (PM) bezeichnet. Dabei unterscheidet man zwischen primären und sekundären Aerosolen:

Primäre Aerosole sind größer als 1 nm (Nanometer) und werden als Teilchen direkt in die Umwelt emittiert. Pri-

märe Aerosole natürlichen Ursprungs gelangen z. B. durch Winderosion des Bodens und Erntevorgänge, aus Vulkaneruptionen oder Waldbränden sowie als Seesalz in die Atmosphäre. Primäre anthropogene Aerosole sind durch menschliche Aktivitäten erzeugte Partikel, z. B. aus dem Verkehr (Dieselruß, Reifenabrieb, Bremsabrieb) oder aus Feuerungsanlagen (Öl-, Kohle-, Holzfeuerung).

Ruß als Teil der primären Aerosole, besteht aus elementarem Kohlenstoff (EC) und ist ein Produkt der unvollständigen Verbrennung von Dieseldieselkraftstoff, Heizöl, Holz und Kohle, entsteht aber auch bei Waldbränden.

Sekundäre Aerosole werden aus gasförmigen Substanzen in der Atmosphäre durch chemische Reaktionen in einem zweiten Schritt (sekundär) gebildet. Sekundäre Aerosole natürlichen Ursprungs entstehen zum größten Teil aus leicht flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) wie z. B. den Terpenen, welche von Bäumen (mehrheitlich Nadelbäumen) emittiert werden. Sekundäre anthropogene Aerosole bilden sich überwiegend aus Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ )- und Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ )-Emissionen aus Heizungsanlagen und Verkehr sowie den flüchtigen organischen Verbindungen aus Industrie und Verkehr und den Ammoniakemissionen der Landwirtschaft und dem Verkehr (3-Wege-Katalysator). Der Verkehr macht bei den Ammoniakemissionen in der Summe zwar nur einen geringen Anteil aus, da die Bildung der sekundären Aerosole im Winter stärker ausfällt als im Sommer und die Düngung in der Landwirtschaft im Winter unterbleibt, ist der Anteil des Verkehrs während der Feinstaub-Episoden im Winter jedoch relevant.

Für die gesundheitliche Bewertung von Schwebstaub ist vor allem die Größe der Partikel bedeutsam. Man unterteilt sie anhand ihres Durchmessers in drei Kategorien:

- Inhalierbarer Feinstaub  $\text{PM}_{10}$ :  $< 10 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$  sind die Partikel, die einen gröÑenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von  $10 \mu\text{m}$  einen Abscheidegrad von 50 % aufweist),
- Lungengängiger Feinstaub  $\text{PM}_{2,5}$ :  $< 2,5 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$  sind die Partikel, die einen gröÑenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von  $2,5 \mu\text{m}$  einen Abscheidegrad von 50 % aufweist) und
- Ultrafeine Partikel UP:  $< 0,1 \mu\text{m}$ .

Feine Teilchen von weniger als 2,5 µm Durchmesser und ultrafeine Teilchen kleiner als 0,1 µm Durchmesser, die für das menschliche Auge nicht wahrzunehmen sind, machen dabei den gesundheitlich relevanteren Teil des Schwebstaubs aus. Messungen aus Baden-Württemberg, der Schweiz und Österreich zeigen, dass PM<sub>10</sub> zu 65 bis 80 % aus PM<sub>2,5</sub> besteht.

Die 22. BImSchV gibt für die Fraktion PM<sub>10</sub> seit 2005 einen Grenzwert als Jahresmittelwert von 40 µg/m<sup>3</sup> an, außerdem sind Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg/m<sup>3</sup> an bis zu 35 Tagen im Jahr zulässig.

Tab. 4-9: Grenzwerte der 22. BImSchV für Partikel (PM<sub>10</sub>).

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Grenzwert [µg/m <sup>3</sup> ]	Bemerkungen	Gültigkeit*
Menschliche Gesundheit	24 Stunden	50	bei 35 zugelassenen Überschreitungen pro Kalenderjahr	01.01.2005
Menschliche Gesundheit	Kalenderjahr	40		01.01.2005

\* Datum, ab dem der Grenzwert einzuhalten ist

Aufgrund der gesundheitlichen Relevanz der lungengängigen und ultrafeinen Partikel wird neben einer weiteren Grenzwertfestlegung für PM<sub>10</sub> die Festlegung eines Grenzwertes für die kleineren Partikel mit einem Durchmesser von weniger als 2,5 µm diskutiert. In den USA gilt dieser seit 2002 neben dem Grenzwert für PM<sub>10</sub>. Die EU-Richtlinie 1999/30/EG gibt in einer zweiten Stufe für das Jahr 2010 niedrigere Werte für PM<sub>10</sub> an, jedoch mit dem ausdrücklichen Vorbehalt, dass diese im Lichte weiterer Erkenntnisse und Erfahrungen zu überprüfen sind. Diese zweite Stufe wird im Rahmen der zurzeit laufenden Überarbeitung der EU-Richtlinien nicht mehr weiterverfolgt.

Für Ruß wurde in der 23. BImSchV ein Konzentrationswert von 8 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel angegeben. Die 23. BImSchV wurde jedoch mit der Novellierung der 22. BImSchV vom 13. Juli 2004 außer Kraft gesetzt. Ein eigener Grenz- oder Richtwert für Ruß existiert seither nicht mehr. Die Staubkomponente Ruß ist in den Grenzwerten für PM<sub>10</sub> enthalten.

Die Zusammensetzung der Stäube verändert sich während ihrer Verweilzeit in der Atmosphäre ständig. So vermischen sich Stäube aus anthropogenen Quellen (Verkehr, industriellen Prozessen, Kraft- und Fernheizwerken sowie aus Kleinf Feuerungsanlagen) mit natürlichen Stäuben wie Pflan-

zenpollen, Sand, Sporen, die vom Wind aufgewirbelt und fort getragen werden. Gasförmige Luftverunreinigungen wie z. B. organische Verbindungen adsorbieren an Staubkörnern oder werden in feste und/oder flüssige Reaktionsprodukte umgewandelt und tragen dann als Partikel bzw. flüssige Aerosole zum Feinstaub bei. Außerdem können auf dem Staubkorn chemische Reaktionen stattfinden.

Untersuchungen des Rußanteils (primäre Partikel) für Winter und Sommer wurden für das Jahr 2003 an der Verkehrsmessstation Stuttgart-Mitte-Straße am Arnulf-Klett-Platz und an der städtischen Hintergrundstation Stuttgart-Bad Cannstatt durchgeführt. An der Straße ist der Rußanteil absolut gesehen im Sommer wie im Winter fast gleich, der relative Anteil ist im Sommer aber wegen der geringeren Gesamtbelastung mit 24 % viel höher als im Winter (10 %). Dieser Rußanteil kann als der durch verkehrliche Maßnahmen maximal minimierbare Anteil angesehen werden.

Gegenüber anderen Luftschadstoffen tritt der PM<sub>10</sub>-Feinstaub in ausgeprägten, meist winterlichen Episoden auf. Ein Beispiel dafür ist die Spotmessstelle Stuttgart-Neckartor (Abb. 4-34). Episoden hoher Feinstaubwerte sind vorrangig von meteorologischen Parametern wie geringe Windgeschwindigkeit, niedrige Mischungsschichthöhe, Temperaturen zwischen 0 und 10 °C und einer Luftfeuchte von 70 bis 90 % abhängig.

#### 4.4.3.1 IMMISSION GESAMTSTAUB

Seit 1996 ist bei den Immissionsmessungen ein starker Rückgang der Gesamtstaubkonzentration im Jahresmittel

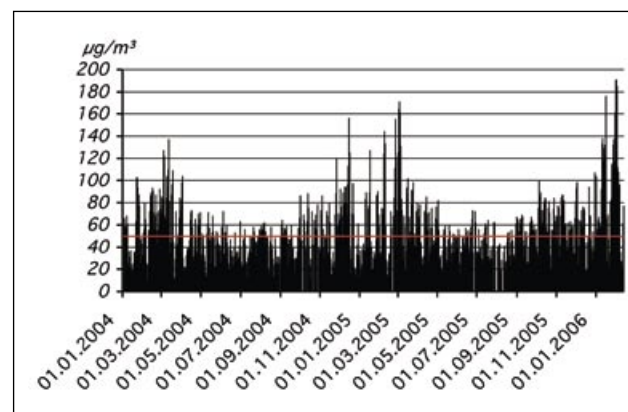


Abb. 4-34: Tagesmittelwerte der PM<sub>10</sub>-Feinstaubkonzentration an der Spotmessstelle Stuttgart-Neckartor vom 01.01.04 – 12.02.06, Grenzwert des Tagesmittelwertes: 50 µg/m<sup>3</sup>. Quelle: LUBW 2006

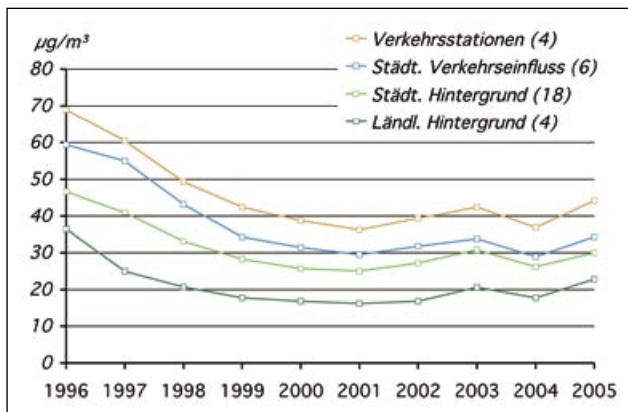


Abb. 4-35: Entwicklung der Gesamtstaub-Konzentration (TSP) als Jahresmittelwert in den vier Kategorien der Messstationen (ab 2000 aus  $PM_{10}$  errechnet).  
Quelle: LUBW 2006

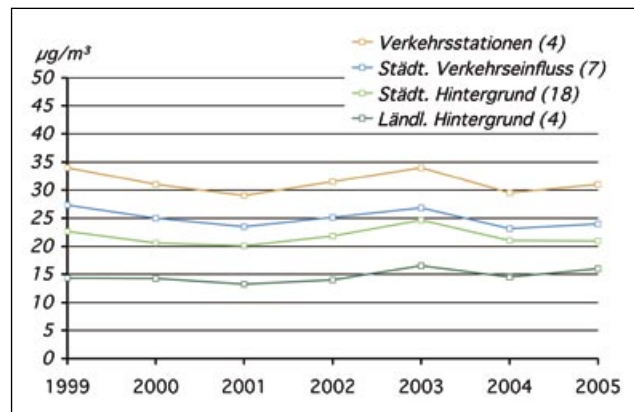


Abb. 4-36: Entwicklung der  $PM_{10}$ -Konzentration als Jahresmittelwert in den vier Kategorien der Messstationen, der ab 2005 gültige Grenzwert der 22. BImSchV liegt bei  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Quelle: LUBW 2006

von 36 % an den Verkehrsstationen zu erkennen (Abb. 4-35). Auch an den ländlichen Hintergrundmessstationen zeigt sich ein Rückgang im Jahresmittel von 38 % innerhalb von neun Jahren.

#### 4.4.3.2 $PM_{10}$ -IMMISSION

Der seit 2005 geltende Grenzwert für  $PM_{10}$  von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Jahresmittelwert) wurde an allen Messstationen des Luftmessnetzes Baden-Württemberg im betrachteten Zeitraum von 1999 bis 2005 eingehalten (Abb. 4-36). Der Jahresmittelwert an  $PM_{10}$  ist in den ländlichen Hintergrundmessstationen seit 1999 unverändert um den Faktor 2 niedriger als an den Verkehrsmessstationen. Die Jahresmittelwerte der städtisch verkehrsbeeinflussten Stationen liegen 16 % unter denen der straßennah gelegenen Verkehrsmessstationen.

An allen Luftmessstationen im städtischen und ländlichen Hintergrund wurden die zulässigen 35 Überschreitungen des Tagesmittelwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in den Jahren 2004 und 2005 eingehalten.

Unter Spots versteht man Messpunkte in Straßenabschnitten, bei denen sich Menschen nicht nur vorübergehend aufhalten und Grenzwertüberschreitungen zu vermuten sind. Im Jahr 2004 unterhielt das Land zusätzlich zu den vier dauerhaft betriebenen Verkehrsmessstationen zehn Spotmessstellen, an denen  $PM_{10}$  gemessen wurde, 2005 waren es elf, 2006 wurden sie auf 25 erhöht. Eine Übersicht der Messergebnisse befindet sich in der Tabelle 4-10. Die häufigsten Überschreitungen der zulässigen 35

Überschreitungen des Tageswertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurden am Messpunkt Stuttgart-Neckartor ermittelt, gefolgt von dem Messpunkt Ludwigsburg-Friedrichsstraße. Der seit 2005 einzuhaltende Grenzwert für das Jahresmittel von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurde 2004 nur am Messpunkt Stuttgart-Neckartor überschritten, 2005 auch noch am Messpunkt Ludwigsburg-Friedrichsstraße.

#### 4.4.4 OZON UND PHOTOOXIDANTIEN

##### 4.4.4.1 BODENNAHES OZON

Ozon kommt als natürliches Spurengas in der Atmosphäre vor. Es wird in der Stratosphäre in 20 bis 40 km Höhe über der Erde durch Sonneneinstrahlung gebildet. Bei Wetterlagen mit starkem vertikalem Luftaustausch gelangt Ozon bis in die bodennahe Atmosphäre und führt dort zu einem natürlichen Hintergrundpegel von bis zu  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Tab. 4-10:  $PM_{10}$ -Jahresmittelwerte und Anzahl der Überschreitungen des  $PM_{10}$ -Tagesmittelwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an den Verkehrsmessstationen und den Spotmessstationen in den Jahren 2004 und 2005. Quelle: LUBW 2006

	2004		2005	
	Jahres- Mittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Anzahl Tage > $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Jahres- Mittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Anzahl Tage > $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$
FR-Straße, Friedrichsring	24	16	26	15
KA-Straße, Reinhold-Frank-Straße	29	25	30	22
MA-Straße, Friedrichsring	31	41	32	43
S-Mitte-Straße, Arnulf-Klett-Platz	34	42	35	37
FR, Schwarzwaldstraße	-	-	33	21
Ilsfeld, König-Wilhelm-Straße	33	52	-	-
Leonberg, Grabenstraße	-	-	27	16
Ludwigsburg, Friedrichstraße	38	74	41	77
Ludwigsburg, Frankfurter Straße	30	37	-	-
MA, Luisenring	-	-	33	42
MA, Seckenheimer Hauptstraße	-	-	26	16
Pleidelshheim, Beihinger Straße	35	69	36	55
Reutlingen, Lederstraße	-	-	28	17
Schwäbisch Gmünd, Lorcher Str.	35	57	36	51
S, Am Neckartor	51	160	55	186
S, Hohenheimer Straße 64	36	58	38	60
S, Siemensstraße	37	63	37	50
S, Waiblinger Straße	36	65	-	-
TÜ, Mühlstraße	28	30	-	-

FR: Freiburg, KA: Karlsruhe, MA: Mannheim, S: Stuttgart, TÜ: Tübingen



Im Gegensatz zu anderen Luftverunreinigungen gibt es keine direkten künstlichen Emissionen von Ozon. Zusätzlich entsteht Ozon in den bodennahen Luftschichten als sekundäre Luftverunreinigung aus „Vorläufersubstanzen“.

Hierfür müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- das Vorhandensein von Stickstoffoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) in für luftchemische Reaktionen ausreichend hohen Konzentrationen,
- eine intensive Sonneneinstrahlung und
- eine mehrere Tage andauernde Hochdruckwetterlage.

Diese führen zu photochemischen Reaktionen zwischen den vorhandenen Luftverunreinigungen. Dabei entstehen eine ganze Reihe neuer, zum Teil sehr kurzlebiger Luftverunreinigungen, von denen aber Ozon aufgrund seiner Konzentration, seiner Lebensdauer wie auch seiner Wirkung die wichtigste Einzelkomponente ist und deshalb als „Leitsubstanz“ angesehen wird.

Ozon kann, ebenso wie die Vorläufersubstanzen, über größere Entfernungen transportiert werden und tritt deshalb auch in ländlichen Gebieten in höheren Konzentrationen auf.

Erhöhte Ozonkonzentrationen können insbesondere bei körperlichen Anstrengungen zu Reizerscheinungen der Atemwege, zu Befindlichkeitsstörungen und zu Leistungseinbußen führen. Dabei bestehen große Unterschiede in der Empfindlichkeit der Menschen gegenüber Ozon. Bei landwirtschaftlichen Nutzpflanzen und Waldbäumen können neben sichtbaren Schäden an Blättern auch Wachstumseinbußen resultieren.

In Stadtgebieten hängt die örtliche Ozonkonzentration weitgehend vom augenblicklichen Verhältnis der Kon-

zentrationen von Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid ab. Wenn ständig Stickstoffmonoxid emittiert wird, wie an verkehrsreichen Straßen, bleiben die Ozonkonzentrationen auch bei starker Sonneneinstrahlung niedrig, da Ozon lokal durch direkte Reaktion mit Stickstoffmonoxid abgebaut wird. Neben der regionalen Ozonproduktion, z. B. im Lee (dem Wind abgewandte Seite) einer Stadt oder einer VOC-emittierenden Anlage, ist der Einfluss von großräumigen vertikalen und horizontalen Luftaustauschbewegungen auf den Verlauf der Ozonkonzentration von großer Bedeutung. So entstehen räumlich sehr unterschiedliche Konzentrationsverteilungen und zeitlich starke Konzentrationsschwankungen.

Tab. 4-11: Zielwerte für Ozon nach der 33. BImSchV.

Schutzgut	Parameter	Zielwert	Bemerkungen bei 25 zugelassenen Überschreitungen pro Kalenderjahr, gemittelt über 3 Jahre	Gültigkeit*
Menschliche Gesundheit	Höchster 8- Stunden- Mittelwert AOT40, berechnet aus 1- Std.-Werten von Mai bis Juli	120 µg/m <sup>3</sup>		2010
Vegetation		18 000 µg/m <sup>3</sup> h	gemittelt über 5 Jahre	2010

\* Datum, ab dem der Zielwert einzuhalten ist

Bei der großräumigen Belastung durch Ozon im ländlichen Bereich zeigt sich im *Jahresmittel* seit 1990 ein sehr schwach ausgeprägter Rückgang der Werte (Abb. 4-37) bei starken jährlichen Schwankungen. Dagegen ist in den Ballungsgebieten und Städten ein leichter Anstieg zu erkennen, der sich auf einen verminderten Abbau des Ozons durch den Rückgang der Kfz-Emissionen, besonders von Stickstoffmonoxid zurückführen lässt. Damit wird eine allmähliche Angleichung der städtischen Konzentrationen an das Umland erkennbar.

Die Unterschiede der Ozonbelastung bezüglich der gesundheitlich relevanten *Spitzenkonzentrationen* (Abb. 4-38)

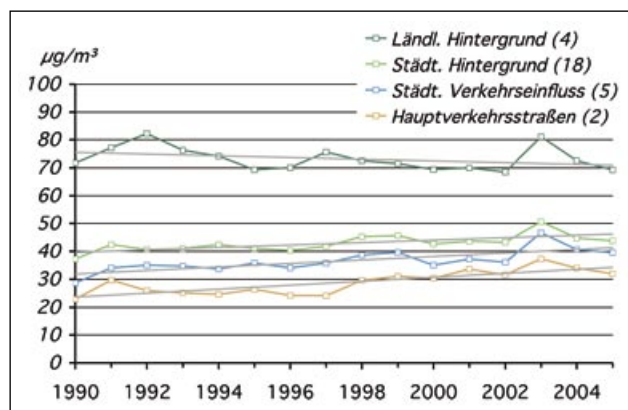


Abb. 4-37: Entwicklung der Ozonkonzentration in Baden-Württemberg 1990-2005. Quelle: LUBW 2006

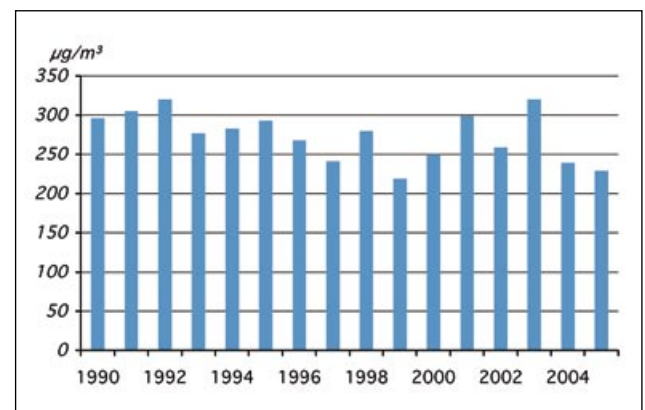


Abb. 4-38: Entwicklung der maximalen Ozonkonzentrationen des 1-Stunden-Mittelwertes im Luftmessnetz Baden-Württemberg 1990-2005. Quelle: LUBW 2006

sind meteorologisch bedingt von Jahr zu Jahr sehr groß. Dabei ist zu erkennen, dass sehr hohe Konzentrationen in den Jahren 2000 bis 2005 tendenziell niedriger sind als in den Jahren 1990 bis 1995. Offenbar greifen die bisher durchgeführten Maßnahmen zur Minderung der Vorläufer-substanzen bei den Ozonspitzenkonzentrationen.

Die Anzahl der Tage pro Jahr mit Ozonkonzentrationen größer  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (8-Stunden gleitend) weisen ebenfalls sehr starke jährliche Schwankungen mit einer Höchstzahl im extrem heißen Sommer 2003 auf (Abb. 4-39). Der Zielwert von höchstens 25 Überschreitungstagen nach der 33. BImSchV zum Schutz der menschlichen Gesundheit (gültig ab 2010) wurde bisher nur in wenigen Jahren und bei wenigen Messstellen eingehalten.

Der Zielwert der 33. BImSchV zum Schutz der Vegetation von  $18\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$  (AOT 40) wurde bisher an allen Hintergrundmessstellen überschritten (Abb. 4-40). Ein abnehmender Trend ist nicht ersichtlich.

Die in der 33. BImSchV genannten Emissionshöchst-mengen für VOC und  $\text{NO}_x$  sollen langfristig zu einer Verringerung des Ozonbildungspotenzials der Atmosphäre und damit zur Konzentrationsbegrenzung führen. Ob die Minderungen ausreichen, um die Zielwerte ab 2010 bezüglich Anzahl der Tage größer  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und des AOT40-Wertes einzuhalten, muss bezweifelt werden.

#### 4.4.5 AMMONIAK

Das in der Atmosphäre vorhandene gasförmige und gut wasserlösliche Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) können die Pflanzen über die Spaltöffnungen aufnehmen und bei geringen Konzentrationen als Stickstoffquelle nutzen. Höhere Ammoniakkonzentrationen schädigen jedoch die Pflanzen. Das über die Niederschläge ausgewaschene Ammoniak und sein Umwandlungsprodukt Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) tragen zusammen mit Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) zur Bodenversauerung und zum Gesamtstickstoffeintrag in naturnahe Ökosysteme wie Wälder, Moore, Magerrasen und Gewässer bei.

Emittiertes Ammoniak wird überwiegend quellenah deponiert. Es reagiert jedoch mit den aus Verbrennungsprozessen freigesetzten Schwefel- und Stickstoffoxiden zu Ammoniumnitrat- oder Ammoniumsulfat-Aerosolen, die an der Bildung von Schwebstaub (vgl. Kapitel 4.4.3) beteiligt sind. Das Ammonium, mit einer Lebensdauer von mehre-

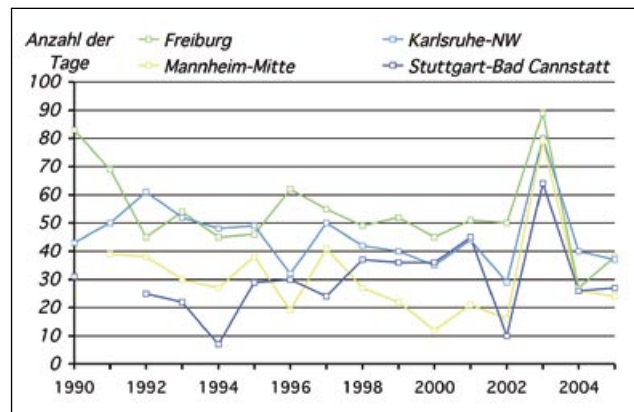


Abb. 4-39: Anzahl der Tage mit Ozon-Konzentrationen größer  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (8-Stunden gleitend). Quelle: LUBW 2006

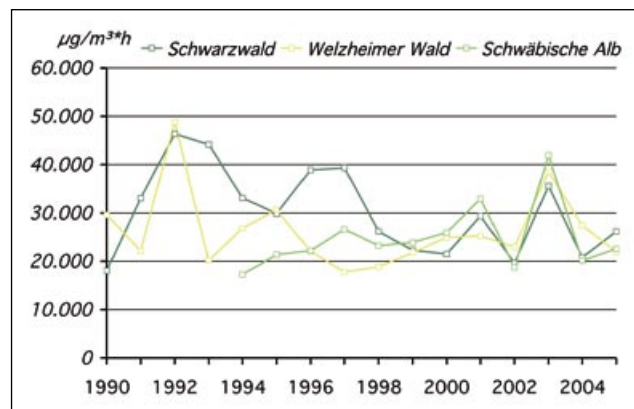


Abb. 4-40: AOT 40-Werte für drei ländliche Hintergrundmessstellen von 1990-2005. Quelle: LUBW 2006

ren Tagen [NAGEL & GREGOR 2002], kann somit über weite Strecken auch über Landesgrenzen hinweg transportiert werden und dort die Ökosysteme beeinflussen.

Kenntnisse zur Immissionskonzentration von Ammoniak sind somit erforderlich, auch im Hinblick auf die Effektivität von Minderungsmaßnahmen bei den Ammoniakemissionen. Die TA Luft enthält Vorgaben, wonach der Schutz empfindlicher Pflanzen und Ökosysteme vor der Einwirkung durch Ammoniak zu gewährleisten ist. Anhaltspunkte für erhebliche Nachteile liegen dann nicht vor, wenn die Gesamtbelastung an Ammoniak  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Jahresmittel) nicht überschreitet.

Im Jahr 2002 fanden erste Untersuchungen in Baden-Württemberg statt, die in den nachfolgenden Jahren im Umfeld potenzieller Emittenten wie Landwirtschaft und Verkehr fortgeführt wurden.

Die Ergebnisse der Messungen zeigen, dass je nach Entfernung zur landwirtschaftlichen Quelle, zur Düngerausbringung und nach Jahreszeit die Ammoniakimmissionen stark

schwanken. Daraus resultiert, dass in unmittelbarer Nähe zur Quelle erhöhte Ammoniakkonzentrationen vorliegen (Abb. 4-41), die mit zunehmender Entfernung deutlich geringer werden.

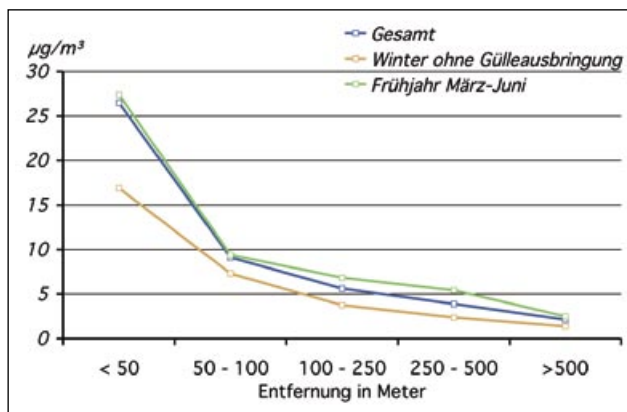


Abb. 4-41: Immission von Ammoniak (Mittelwert) in Abhängigkeit von Emissionsnähe und Jahreszeit an einer Tierintensivhaltung. Quelle: LUBW 2006

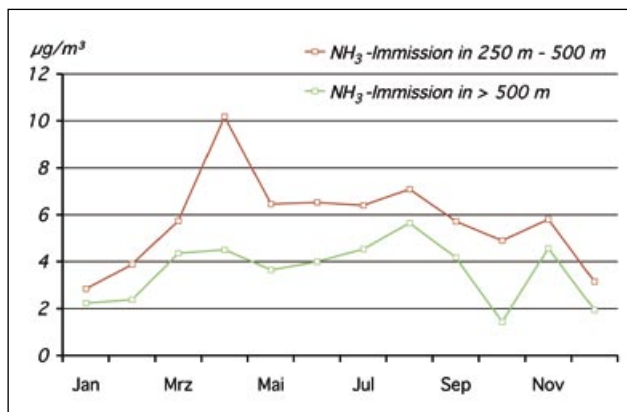


Abb. 4-42: Saisonale Ammoniak-Immissionen im landwirtschaftlichen Umfeld ermittelt für das Jahr 2004. Quelle: LUBW 2006

Bei einer saisonalen Betrachtung der Ammoniakimmissionen (Abb. 4-42) lassen sich in den Wintermonaten aufgrund der Vegetationspause die niedrigsten Ammoniakkonzentrationen finden. Mit dem Ausbringen von Wirtschaftsdüngern zu Beginn der Wachstumsperiode steigen die Ammoniakkonzentrationen im Frühjahr deutlich an und nehmen im Laufe der Vegetations- und Erntephase wieder ab.

#### 4.4.6 KOHLENMONOXID

Kohlenmonoxid (CO) entsteht bei unvollständiger Verbrennung fossiler Brennstoffe. Die höchsten Immissionen durch Kohlenmonoxid werden vom Verkehr verursacht, allerdings mit einer stetigen Abnahme in den letzten Jahren. Die Ausrüstung der Benzinfahrzeuge mit einem geregelten Katalysator führte zu einem starken Rückgang der Emissionen (vgl. Kapitel 4.2.2).

Kohlenmonoxid blockiert den Sauerstofftransport im Blut und ist deshalb in höheren Konzentrationen giftig. Da CO farblos, ohne Geruch und Geschmack ist, besitzt es keine Warnwirkung. Gefährliche Konzentrationen können vor allem in abgeschlossenen Räumen wie Garagen oder Räumen mit Feuerstätten auftreten.

Im Außenbereich gilt der Immissionsgrenzwert der 22. BImSchV (Tab. 4-12).

Tab. 4-12: Grenzwert der 22. BImSchV für Kohlenmonoxid.

Schutzgut	Mittelungs-zeitraum	Grenzwert [mg/m <sup>3</sup> ]	Gültigkeit*
Menschliche Gesundheit	Höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages	10	01.01.2005

\* Datum, ab dem der Grenzwert einzuhalten ist

Die Immissionsentwicklung bei Kohlenmonoxid seit 1990 (Abb. 4-43) zeigt sehr deutliche Rückgänge vor allem an den Stationen mit direktem Verkehrseinfluss.

Die Konzentrationen sind seit 1990 an allen Stationstypen um 75 bis 82% zurückgegangen und liegen heute auch an Hauptverkehrsstraßen (Abb. 4-44) unter 1 mg/m<sup>3</sup> im Jah-

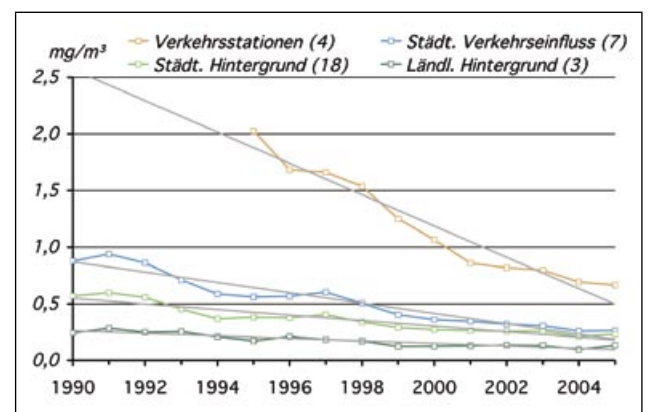


Abb. 4-43: Kohlenmonoxid-Immissionsentwicklung 1990-2005 in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW 2006

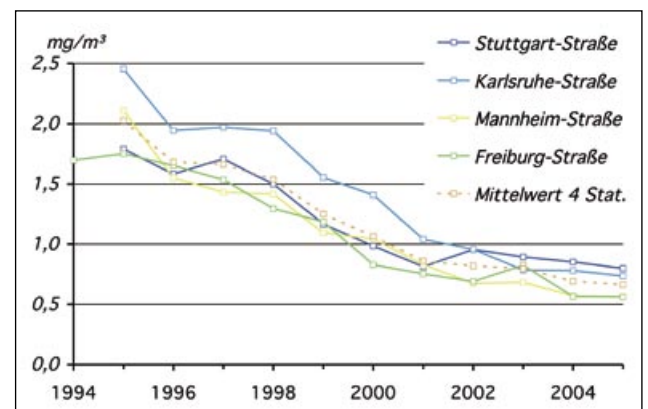


Abb. 4-44: Kohlenmonoxid-Immissionsentwicklung 1994-2005 an den vier Verkehrsmessstationen in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW 2006

resmittel mit weiter abnehmender Tendenz. Der Grenzwert der 22. BImSchV von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (gleitender 8-Stunden-Mittelwert) wird seit vielen Jahren an allen Messstellen eingehalten.

Die massive Abnahme der CO-Konzentrationen ist in erster Linie der Einführung des geregelten Katalysators (G-Kat) bei den Benzinfahrzeugen seit etwa 1985 zu verdanken. Otto-Pkw ohne G-Kat sind mittlerweile weitgehend aus der Fahrzeugflotte verschwunden. Ein weiterer, wenn auch abgeschwächter Rückgang der CO-Konzentrationen in den Städten ist in den nächsten Jahren aufgrund der Erneuerung der Kraftfahrzeugflotte mit Fahrzeugen, die die Euro 4- und 5-Norm erfüllen, zu erwarten.

#### 4.4.7 SCHWEFELDIOXID

Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) entsteht überwiegend bei Verbrennungsprozessen von fossilen Brennstoffen durch die darin enthaltenen Schwefelverbindungen. In der Atmosphäre wird Schwefeldioxid teilweise zu Schwefelsäure umgewandelt, die über den „Sauren Regen“ Schäden an Gebäuden verursacht und zur Versauerung des Bodens beiträgt. Schwefeldioxid in hohen Konzentrationen kann Pflanzen schädigen und reizt beim Menschen die Schleimhäute und Atemwege.

In Deutschland gelten für Schwefeldioxid die Immissionsgrenzwerte der 22. BImSchV (Tab. 4-13).

Tab. 4-13: Grenzwerte für Schwefeldioxid.

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Grenzwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Bemerkungen	Gültigkeit*
Menschliche Gesundheit	1 Stunde	350	bei 24 zugelassenen Überschreitungen pro Kalenderjahr	01.01.2005
Menschliche Gesundheit	24 Stunden	125	bei 3 zugelassenen Überschreitungen pro Kalenderjahr	01.01.2005
Ökosysteme	Kalenderjahr u. Winter (1. Okt. bis 31. Mrz.)	20		19.07.2001

\* Datum, ab dem der Grenzwert einzuhalten ist

Bei Schwefeldioxid, früher ein klassischer Massenschadstoff, konnten seit Mitte der 1980er Jahre durch Luftreinhaltemaßnahmen beachtliche Erfolge und eine drastische Absenkung der Konzentrationen erreicht werden (Abnahme um 80 bis 90 %, bezogen auf 1980). Auch im Zeitraum 1990 bis 2005 zeigt die Immissionsentwicklung noch sehr deutliche Rückgänge (Abb. 4-45). So liegen jetzt die Jahresmittelwerte der  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen selbst in den großen Ballungsgebieten dauerhaft unterhalb von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

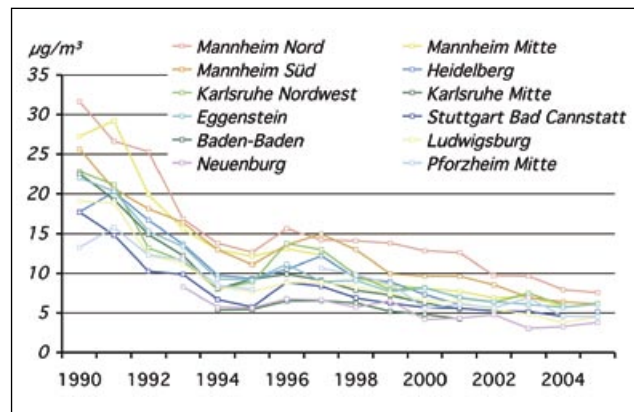


Abb. 4-45: Schwefeldioxid-Immissionsentwicklung 1990-2005 in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW 2006

Damit wird selbst dort der für den Schutz der Ökosysteme in der 22. BImSchV festgelegte Immissionsgrenzwert von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Jahresmittelwert) eingehalten.

Überschreitungen der Kurzzeitgrenzwerte im Hinblick auf die menschliche Gesundheit (Mittelungszeiträume 1 und 24 Stunden) treten nur noch ganz selten an wenigen Industriestandorten auf und erreichten in den letzten Jahren nie die zulässige Überschreitungshäufigkeit von 24 bzw. drei Ereignissen pro Jahr.

#### 4.4.8 FLÜCHTIGE ORGANISCHE VERBINDUNGEN

Organische Verbindungen gelangen in kaum zu überschauender Zahl und Zusammensetzung in die Atmosphäre. Sie umfassen eine Vielzahl von Stoffen, deren direkte Einwirkung auf die Umwelt und die Gesundheit des Menschen unterschiedlich zu beurteilen ist. Einzelne organische Stoffe haben besonders schädigende Wirkung auf Menschen, Tiere und Pflanzen. Beispiele hierfür sind Benzol, polycyclische Aromaten und Dioxine. Viele organische Verbindungen sind leicht flüchtig und gelangen deshalb rasch in die Luft, wo sie untereinander reagieren und auch in die chemischen Reaktionen anderer Luftverunreinigungen eingreifen können.

Die leicht flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) spielen eine sehr wichtige Rolle als Vorläufer sekundärer Luftverunreinigungen, insbesondere bei der Bildung von Ozon. Aus diesem Grund ist die Emissionshöchstmenge in der 33. BImSchV begrenzt.

Um die organischen Verbindungen messtechnisch in ihrer Gesamtheit zu erfassen, wird der Summenparameter „nicht

methanhaltige leicht flüchtige organische Verbindungen“ (NMVOC) ermittelt. Dabei wird die chemisch einfachste Komponente der Kohlenwasserstoffe, das reaktionsträge Methan (CH<sub>4</sub>), abgetrennt.

Wichtige Einzelkomponenten der organischen Verbindungen sind die so genannten BTX-Aromaten (Benzol, Toluol, Xylol), die an ausgesuchten Luftmessstationen zusätzlich gemessen werden. Sie werden nicht nur als Kraftstoffzusatz, sondern auch als Lösungsmittel und als Chemierohstoffe zur Herstellung von Kunststoffen verwendet. Werden sie längere Zeit in hoher, in der Außenluft normalerweise nie auftretender Konzentration, eingeatmet, erzeugen die BTX-Aromaten beim Menschen Müdigkeit und Unwohlsein. Eine kanzerogene Wirkung wurde nur für Benzol nachgewiesen.

Für den Summenparameter NMVOC gibt es wegen des völlig unterschiedlichen Wirkpotenzials der Einzelkomponenten keine vorgegebenen Grenz-, Richt- oder Leitwerte. Besonders giftige Verbindungen wie z. B. Benzol, müssen daher getrennt beurteilt werden (vgl. Kapitel 4.4.9).

Die Immissionskonzentration an NMVOC nahm im Zeitraum von 1994 bis 2004 an den Verkehrsstationen im Jahresmittel um 70 % ab (Abb. 4-46). An den städtischen, verkehrsbeeinflussten Messstationen zeigen sich die Erfolge in der Emissionsreduktion durch einen Rückgang der Konzentration von 50 %, im städtischen Hintergrund nahmen die Konzentrationen um etwa 40 % ab. Die ländlichen Hintergrundstationen werden erst ab 2001 beprobt und weisen seitdem etwa gleich bleibende Jahresmittelwerte mit sehr geringen Konzentrationen auf.

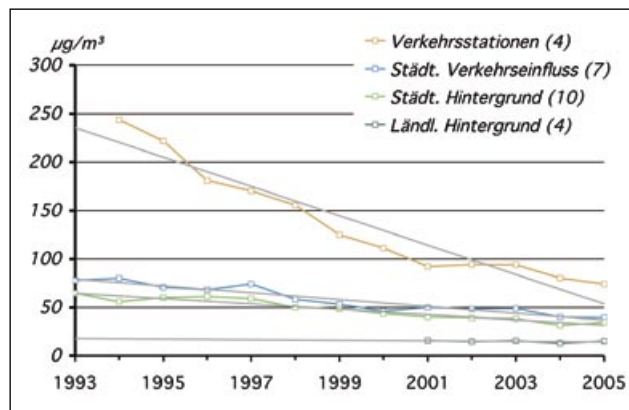


Abb. 4-46: NMVOC-Immissionsentwicklung als Jahresmittelwert von 1993-2005 in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW 2006

#### 4.4.9 KREBSERZEUGENDE LUFTSCHADSTOFFE

Für krebserzeugende Stoffe können keine Wirkungsschwellen in Form von maximal zulässigen Konzentrationswerten oder Dosen angegeben werden, ab denen eine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist. Vielmehr ist davon auszugehen, dass schon geringste Mengen der Substanzen eine Wirkung auslösen können. Dieses Risiko wächst mit der Dosis. In Folge der langen Latenzzeit sind bis zum Ausbruch bzw. zum Erkennen der Krebserkrankung die auslösenden Ursachen oft nur schwer auszumachen, was auch die Prävention (insbesondere Aufklärung und Schutzmaßnahmen) erschwert.

Das Krebsrisiko durch kanzerogene Luftschadstoffe ist als Zusatzrisiko zu verstehen, welches auf die Grundwahrscheinlichkeit, an Krebs zu erkranken, aufgeschlagen werden muss. Da insgesamt Todesfälle durch Krebserkrankungen sehr häufig sind, kann der den Luftverunreinigungen zuzuschreibende Anteil in epidemiologischen Untersuchungen nicht eindeutig verifiziert werden.

Bisher nachgewiesen ist, dass zum Krebsrisiko vor allem die Luftschadstoffe Dieselrußpartikel und Benzol beitragen sowie die auch von Holzheizungen ausgehenden polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK).

Die Bewertung kanzerogener Staubinhaltsstoffe erfolgt auf Basis des Berichts „Bewertung von Schadstoffen, für die keine Immissionswerte festgelegt sind“ vom Länderausschuss für Immissionsschutz [LAI 2004]. Die Beurteilungswerte des LAI für krebserzeugende Luftschadstoffe sind in Tabelle 4-14 dargestellt.

Tab. 4-14: Beurteilungswerte für krebserzeugende Luftschadstoffe in der Immission. Quelle: LAI 2004

Orientierungswerte / Zielwerte des LAI zur Beurteilung krebserzeugender Luftschadstoffe	
Benzol	5 µg/m <sup>3</sup>
Arsen	6 ng/m <sup>3</sup>
Cadmium	5 ng/m <sup>3</sup>
Nickel	20 ng/m <sup>3</sup>
Polycyclische aromatische Verbindungen (PAK)	
(Leitsubstanz Benzo(a)pyren)	1 ng/m <sup>3</sup>
Asbest	220 Fasern/m <sup>3</sup>
Chrom	17 ng/m <sup>3</sup>
Chrom (VI) (separat gemessen)	1,7 ng/m <sup>3</sup>
Polychlorierte Dibenzodioxine/-furan (PCDD/F), Polychlorierte Biphenyle (PCB) (Zielwerte)	150 fg WHO-TEQ/m <sup>3</sup>

Der bisherige Wert für Ruß ist entfallen, weil sich die EU bei der Begrenzung der Partikelimmissionen ausschließlich auf PM<sub>10</sub> festgelegt hat und ein Grenz- oder Zielwert für Ruß nicht eingeführt wurde.

Die Werte sind überwiegend als Orientierungswerte für die Sonderfallprüfung bei Genehmigungsverfahren und als Beurteilungsmaßstäbe für die Anlagenüberwachung vorgesehen; für die allgemeine Luftreinhaltung von Bedeutung sind hauptsächlich Benzol und PAK.

Benzol wird zum einen von Otto-Fahrzeugen aufgrund von unvollständiger Verbrennung des Kraftstoffs, aber auch durch Abdampfverluste des heißen Motors und durch Tankatmung direkt emittiert. Darüber hinaus kommt es zu einer Neubildung im Abgas, weshalb auch Dieselfahrzeuge in geringem Maß zur Benzolbelastung beitragen.

Für Benzol gilt der Immissionsgrenzwert der 22. BImSchV (Tab. 4-15).

Tab. 4-15: Grenzwert der 22. BImSchV für Benzol.

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Grenzwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Gültigkeit*
Menschliche Gesundheit	Kalenderjahr	5	01.01.2010

\* Datum, ab dem der Grenzwert einzuhalten ist

Bei den Benzolkonzentrationen werden aus dem Trendverlauf (Abb. 4-47) starke Abnahmen in den Städten und insbesondere an den Stationen mit direktem Verkehrseinfluss deutlich.

Die Abnahme der verkehrsbedingten Benzolkonzentrationen ist noch steiler verlaufen als diejenige von Kohlenmonoxid: Der Rückgang im Zeitraum seit 1995 beträgt im städtischen Bereich 68 bis 78 %, mit weiter fallender Tendenz.

Die erfolgreiche Absenkung der Benzolkonzentrationen geht einerseits auf die Einführung des geregelten Katalysators bei den Benzinfahrzeugen und andererseits auf die Absenkung des Benzolgehalts im Benzin zurück: Seit dem

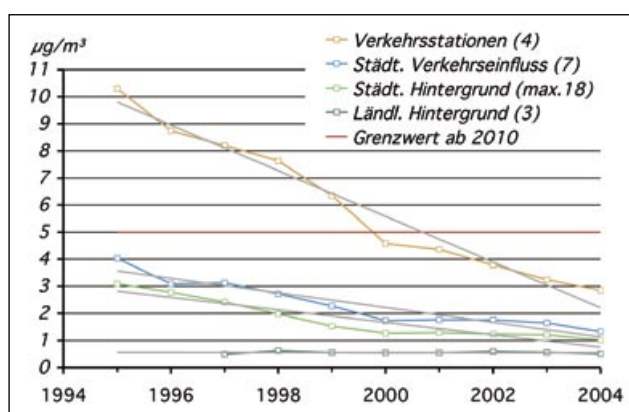


Abb. 4-47: Benzol-Immissionsentwicklung 1995-2004 in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW 2006

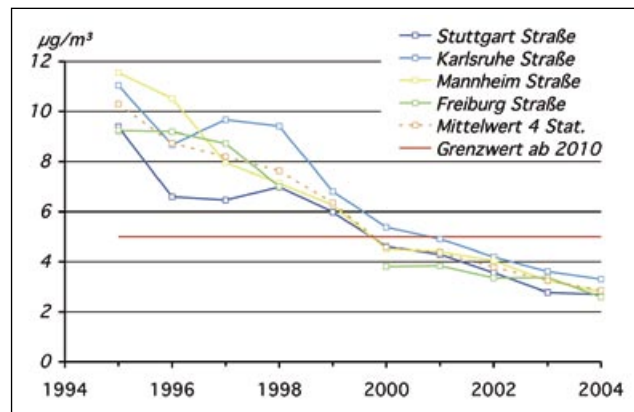


Abb. 4-48: Benzol-Immissionsentwicklung 1995-2004 an den vier Straßenstationen in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW 2006

1. Januar 2000 gilt EU-weit ein Grenzwert von max. 1 Vol-% Benzol in Ottokraftstoff.

Die Entwicklung der Jahresmittelwerte an den vier Straßenstationen (Abb. 4-48) zeigt den übereinstimmenden Rückgang der Benzolbelastung an stark befahrenen Innerortsstraßen. Der höchste Benzol-Jahreswert lag 2004 bei  $3,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an der Verkehrsstation Karlsruhe. Damit wird der ab 1. Januar 2010 gültige Grenzwert von  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bereits an allen Messstationen deutlich unterschritten.

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Aktuelle Immissionsdaten der LUBW:

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

Umweltdatenbanken und -karten online:

<http://brsweb.lubw.baden-wuerttemberg.de>

Luftqualität am Oberrhein:

<http://www.luft-am-oberrhein.net/>

Luftqualität in der Region Bodensee:

<http://www.bodenseekonferenz.org/>

#### 4.5 DEPOSITIONEN

Gas- und partikelförmige Schadstoffe werden über Sedimentation und Adsorption auf die jeweiligen Rezeptoroberflächen wie Pflanzen, Böden, Gewässer oder Gebäude (trockene Deposition) oder über die Niederschläge (nasse Deposition) in die belebte und unbeliebte Umwelt eingetragen.

Die Emissionen von Schwefeldioxid, Stickstoffdioxiden oder Ammoniak werden durch trockene Deposition vor Ort abgelagert oder nach chemischen Prozessen umgewandelt in ländliche, naturnahe Regionen transportiert. Dort tragen sie bei empfindlichen Ökosystemen zur Eutrophierung und Versauerung bei. Dadurch ergibt sich

die Notwendigkeit, auch die Umwandlungsprodukte wie Sulfat, Nitrat und Ammonium zu erfassen und zu quantifizieren. Dies ermöglicht eine Bewertung der Stickstoff- und Säureeinträge gerade im Hinblick auf ihre belastenden Wirkungen und das Erreichen der kritischen Belastungsgrenze (critical loads) für die Ökosysteme. Denn über die Stickstoffeinträge wird die Vegetation auf nährstoffarmen Standorten sukzessiv von stickstofftoleranteren Arten wie z. B. Brennnessel und Brombeere verdrängt. Ein Rückgang der Artenvielfalt (Biodiversität) kann die Folge sein. Mit dem Überangebot an eingetragenen Stickstoff und Säurebildnern wird z. B. auch die Widerstandskraft der Bäume gegenüber Schädlingen und Stürmen deutlich reduziert.

Einträge von Schwermetallen wie Blei, Cadmium, Arsen oder Nickel sowie von organischen Substanzen (PAK) führen zu Anreicherungen und Schädigungen in den Ökosystemen bzw. können die menschliche Gesundheit z. B. über die Nahrungskette beeinträchtigen. Mit der Umsetzung der vierten EU-Tochterrichtlinie vom 15. Dezember 2004 (Richtlinie 2004/107/EG) in deutsches Recht werden zukünftig Depositionsmessungen der Schwermetalle Arsen, Cadmium, Quecksilber und Nickel sowie der PAK verbindlich vorgeschrieben.

In Baden-Württemberg werden seit 1992 in einem landesweiten Depositionsmessnetz (Abb. 4-49) auf Freiflä-

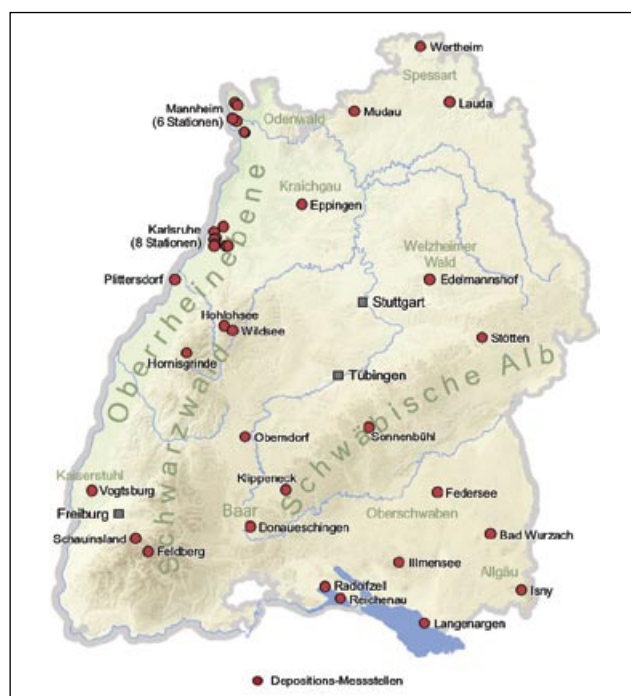


Abb. 4-49: Depositionsmessnetz Baden-Württemberg, Stand 2004. Quelle: LUBW 2006

chen die Einträge der Luftschadstoffe in den städtischen (Mannheim und Karlsruhe) und den ländlichen Räumen (24 Standorte) gesammelt. Die Standorte in den ländlich strukturierten Gebieten sind nach vegetationspezifischen Aspekten im ganzen Land verteilt und reichen von den regenreichen Hochlagen des Schwarzwaldes bis zu den trockenen Tallagen des Taubertals. Mittels Bergerhoff-Gefäßen (Bulk-Sammlern) werden monatlich die nasse und Anteile der trockenen Deposition an Stäuben, Sulfat und Nitrat gemessen und als Jahreseinträge (kg/ha-a) wiedergegeben [LFU 2003]. Zusätzlich stehen für das Jahr 2004 die Einträge der sowohl versauernden als auch eutrophierend wirkenden Komponente Ammonium zur Verfügung. Aufgrund einer Neukonzeption des Depositionsmessnetzes werden zukünftig weitere Komponenten wie Ammonium, Schwermetalle und PAK erfasst.

#### 4.5.1 GESAMTSTAUB

Seit Beginn der Depositionsuntersuchungen im Jahre 1992 ist keine eindeutige Tendenz der eingetragenen Staubmengen (Abb. 4-50) in Baden-Württemberg zu erkennen. Die Einträge schwanken in einem Bereich zwischen 100 kg/ha-a und 500 kg/ha-a. Bei den eingetragenen Staubmengen unterscheiden sich die städtischen Gebiete nicht von den ländlich geprägten. Bei den ländlichen Gebieten weist das niederschlagsarme Tauberland die geringsten Staubeinträge auf. Als Bestandteil der Stäube oder als Anlagerung gelangen Schadstoffe wie Schwermetalle, organische Verbindungen sowie Aerosole (z. B. Ammoniumnitrat, Ammoniumsulfat) in empfindliche Ökosysteme und beeinflussen diese negativ. Deshalb ist die Gesamtstaubdeposition auch ein Indikator für den Eintrag solcher Komponenten.

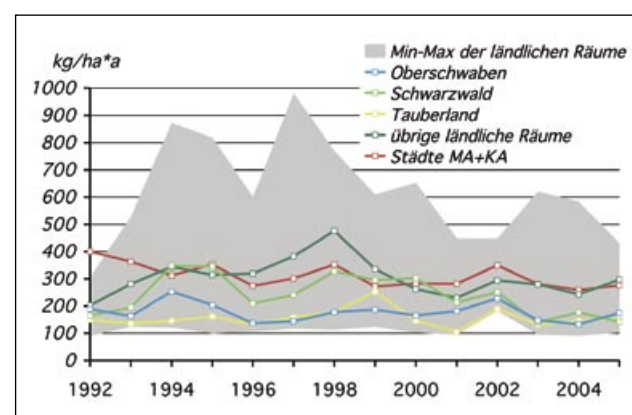


Abb. 4-50: Staubdeposition in Baden-Württemberg von 1992-2005. Quelle: LUBW 2006

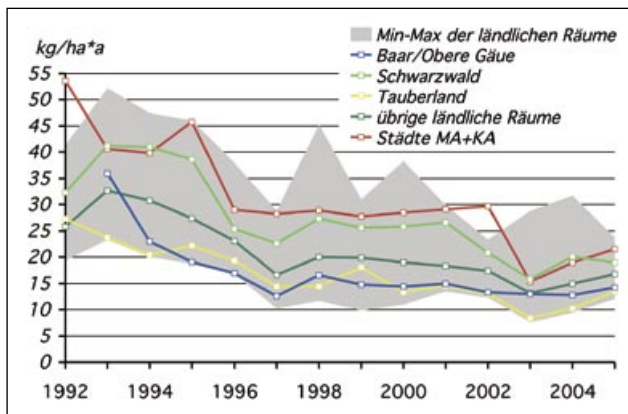


Abb. 4-51: Sulfatdeposition von 1992-2005 in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW 2006

#### 4.5.2 SULFAT

Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) entsteht durch Oxidation der gasförmigen Vorläufersubstanz Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ). Die sich bildenden Säuren (Schwefelsäure) können in emittentenerferne Gebiete transportiert und über die Niederschläge (sog. „Saurer Regen“) in Böden und Gewässer gelangen, wo sie eine Versauerung der empfindlichen Ökosysteme bewirken.

Durch den Einbau von Rauchgasentschwefelungsanlagen bei Kraftwerken und den Einsatz schwefelarmer Brennstoffe konnte die Emission von  $\text{SO}_2$  und damit auch der Eintrag von Sulfat in die Untersuchungsgebiete (Abb. 4-51) von 1992 bis 1997 besonders deutlich reduziert werden. Seit 1997 schwanken die Sulfateinträge zwischen 10 kg/ha-a und 30 kg/ha-a. In den Jahren 2003 und 2004, die durch geringe Niederschläge gekennzeichnet waren, wurden die bisher geringsten Einträge ermittelt.

Geringere Sulfatmengen gelangen in die niederschlagsärmeren Regionen wie das Tauberland, die Baar und die Obere Gäue. In die städtisch geprägten Gebiete wird im Gegensatz zu den meisten ländlichen Räumen mehr Sulfat eingetragen. Auch sind in den niederschlagsreichen Hochlagen des Schwarzwaldes hohe Einträge angezeigt, die sich negativ auf die dortigen säureempfindlichen Ökosysteme auswirken.

#### 4.5.3 NITRAT

Über die Oxidation von Stickstoffoxiden ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ), die bei industriellen und verkehrsbedingten Verbrennungsprozessen sowie bei mikrobiellen Aktivitäten der Bodenlebewesen oder durch Blitze freigesetzt werden, bildet sich Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Ausgewiesen mit einer hohen Verweildauer in der Atmosphäre, kann Nitrat auch in emittentener-

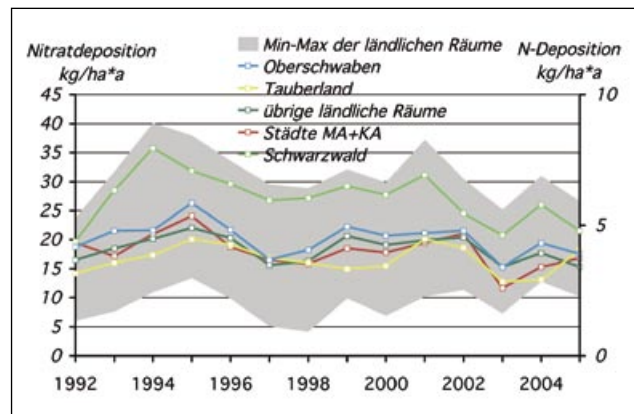


Abb. 4-52: Nitrat- bzw. Stickstoffdeposition von 1992-2005 in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW 2006

ne Gebiete über Niederschläge in Böden, Gewässer und Pflanzen gelangen. Das Nitrat weist eine eutrophierende und versauernde Wirkung auf und führt zu Veränderungen bei der Vegetation, den Böden, den Gewässern und den Grundwässern.

Die Nitratreinträge (Abb. 4-52) schwanken in den einzelnen Untersuchungsgebieten seit Beginn der Untersuchungen 1992 relativ unverändert zwischen 5 kg/ha-a und 40 kg/ha-a, d.h. eine Abnahme der Nitratreinträge ist nicht erkennbar. Auch bei dieser Komponente sind die niederschlagsreichen Hochlagen des Schwarzwaldes am stärksten belastet. Eine zukünftige Abnahme der Nitratdeposition kann nur durch eine weitere Senkung der Stickstoffoxidemissionen erreicht werden.

#### 4.5.4 AMMONIUM

Für das Jahr 2004 stehen zusätzlich Daten zu Einträgen der sowohl versauernden als auch eutrophierend wirkenden Komponente Ammonium zur Verfügung. Dies ermöglicht die Berechnung des Gesamtstickstoffeintrags mit den Komponenten Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) und Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) sowie den potenziellen Säureeintrag ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) für die Untersuchungsgebiete im Depositionsmessnetz.

Der eingetragene Gesamtstickstoff (Abb. 4-53) liegt im Mittel in den städtischen Gebieten bei 10 kg/ha-a Stickstoff und in den ländlichen Gebieten bei ca. 15 kg/ha-a. Bereits mit den Stickstoffeinträgen durch Nitrat und Ammonium, d.h. ohne Berücksichtigung der gasförmigen Stickstoffkomponenten ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), werden die kritischen Belastungsgrenzen (critical loads) im Schwarzwald für die empfindlichen Ökosysteme wie Hochmoore (5 bis 10 kg/ha-a) und Nadelbäume auf saurem Boden (10 bis 15



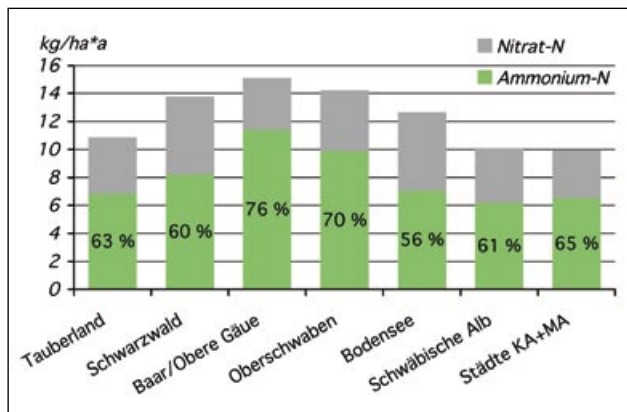


Abb. 4-53: Eutrophierung: Gesamtstickstoffeintrag (Nitrat und Ammonium) in die ländlichen und städtischen Räume Baden-Württembergs für 2004 mit prozentualem Anteil des Ammoniums. Quelle: UMEG 2005

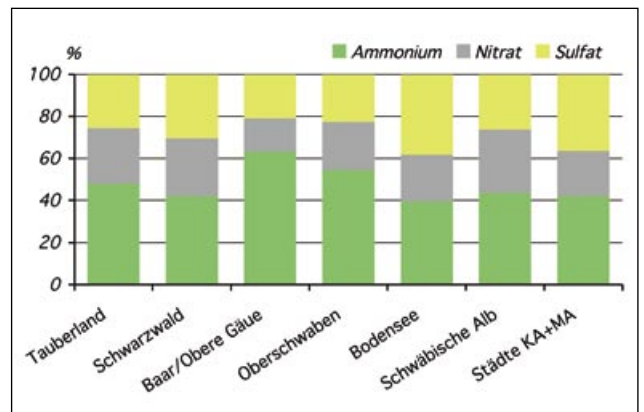


Abb. 4-54: Versauerung: Prozentualer Anteil von Ammonium, Nitrat und Sulfat am Gesamtsäureeintrag für die ländlichen und städtischen Räume Baden-Württembergs für 2004. Quelle: UMEG 2005

kg/ha·a) überschritten [NAGEL & GREGOR 1999]. Auch beim potenziellen Gesamtsäureeintrag durch Sulfat, Nitrat und Ammonium werden die kritischen Belastungsgrenzen in diesen Ökosystemen überschritten.

Durch die 2004 erstmalig verfügbaren Messungen wird deutlich (Abb. 4-53 und 4-54), dass Ammonium, ein Umwandlungsprodukt des Ammoniaks, den Hauptanteil mit

z. T. mehr als 50 % am eingetragenen Gesamtstickstoff ausmacht. Ebenso ist Ammonium mit 40 bis 60 % am Gesamtsäureantrag in den Untersuchungsgebieten beteiligt.

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Depositionsmessnetz der LUBW:

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

# 5 Lärm

## 5.1 BELÄSTIGUNG DURCH LÄRM

Lärm ist fast überall und ständig präsent. Er ist zu einem nahezu flächendeckenden Umweltproblem geworden. Die wichtigsten Lärmquellen sind Verkehrslärm, Gewerbelärm, Sport- und Freizeitlärm sowie laute Nachbarn. Hinzu kommen auch noch Lärmeinwirkungen am Arbeitsplatz, die hier jedoch nicht weiter betrachtet werden.

Häufig treffen auch mehrere Lärmquellen zusammen, so dass sich die Belastungssituation für die Betroffenen verschärft. Die ehemalige Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg führte 1999 und 2004 im Abstand von fünf Jahren zwei umfassende repräsentative Befragungen über die Belastungssituation durch Lärm in Baden-Württemberg durch. Zu beiden Zeitpunkten war Lärm nach Meinung der Bevölkerung das wichtigste Umweltproblem. Hochgerechnet fühlen sich fast 3 Mio. Einwohner des Landes, also mehr als ein Viertel der Bevölkerung, durch Lärm nicht nur geringfügig belästigt. Der Anteil hoch belästigter Personen ist jedoch von 6,6 auf 8,7 %, also um mehr als zwei Prozent angestiegen. Der Anteil der Menschen, die sich 1999 überhaupt nicht (42,9 %) oder nur geringfügig (28,4 %) durch Lärm belästigt fühlten, hat sich 2004 kaum verändert (44,5 % bzw. 28,1 %). Bei der Betrachtung der unterschiedlichen Lärmquellen ergibt sich ein differenziertes Bild. Die stärkste Belästigung geht nach wie vor vom Straßenverkehr aus. Hiervon fühlen sich 31,7 % der Befragten mittelmäßig, stark oder äußerst stark belästigt. Danach folgen der Flugverkehr (18,6 %), laute Nachbarn (14,4 %) und der Schienenverkehr (11,3 %). Von Gewerbe- und Industrieanlagen sowie Sport- und Freizeiteinrichtungen gehen hingegen vergleichsweise geringe Belästigungen aus (6,5 bzw. 3,5 %). Gegenüber der Befragung 1999 ist die Belästigung durch den Schienenverkehr von 5,9 % auf 11,3 % am stärksten angestiegen (Abb. 5-1).

Als Lärm werden generell Schalleinwirkungen bezeichnet, die vom Betroffenen als unerwünscht oder belästigend empfunden werden. Dies macht deutlich, dass die Wahrnehmung von Lärm individuell ausgeprägt ist. Dabei spielt

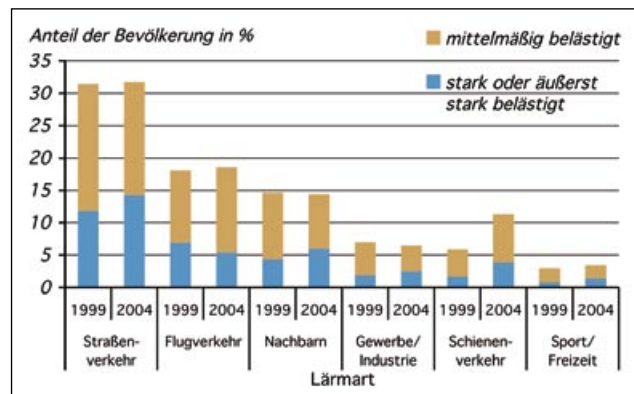


Abb. 5-1: Entwicklung der durch Lärm Belästigten in Baden-Württemberg. Quelle: LFU 2004b

es eine große Rolle, in welcher persönlichen Beziehung der Betroffene zur Schallquelle steht und mit welcher Einstellung er ihr gegenübertritt. Auch Ruhe ist nicht einfach die Abwesenheit von Schalleinwirkungen, sondern hat in der persönlichen Bewertung viele Facetten. Es wird versucht, Lärm mit Hilfe des Schallpegels physikalisch-objektiv zu

Tab. 5-1: Ruhig muss nicht leise sein - Schallpegel von typischen Geräuschen in dB(A). Quelle: LUBW 2006, FLEISCHER 2000

"LÄRM"	dB(A)	"RUHE"
Trillerpfeife in Ohrnähe - Schmerzgrenze -	120	
Presslufthammer in unmittelbarer Nähe	110	
Kreissäge; übliche Diskothek	100	
Lkw, 1m Abstand	90	
Pkw, 50km/h, 1m Abstand	80	
Staubsauger	70	am fließenden Gebirgsbach
Gespräch	60	Vogelgezwitscher; Meergeräusche
Leise Musik	50	ruhiges Wohngebiet im Grünen
Kühlschrank	40	
Flüstern	30	
Klick einer PC-Maus in 3m Entfernung	20	
	10	"Stille"
Hörschwelle	0	

erfassen und darzustellen. Hierdurch wird ein Maßstab gewonnen und verschiedene Situationen werden vergleichbar. Der Schallpegel wird in Dezibel (A) – kurz dB(A) – angegeben, diese Messgröße ist dem menschlichen Hörempfinden angepasst. Beispiele für die Höhe von Schallpegeln bekannter Geräusche gibt Tabelle 5-1 wieder. Die Spitzenpegel kurzzeitiger Geräusche, wie z.B. der Knall von Waffen (auch Spielzeugwaffen) in Ohrnähe, erreichen teilweise noch bedeutend höhere Werte als es die Skala wiedergibt. Sie gefährden daher direkt das Gehör.

Neben dem Schallpegel wirkt sich auch die Dauer der Einwirkung aus. Um Geräusche mit schwankenden Schallpegeln unterschiedlicher Dauer und Geräuschcharakteristik vergleichbar zu machen, ist die Bildung von Mittelungs- und Beurteilungspegeln notwendig. Letztere werden auch zum Vergleich einer Belastung mit Immissionsrichtwerten herangezogen.

Lärm ist nicht lediglich eine Quelle von subjektiven Belästigungen und Ärger, er kann auch negative gesundheitliche Wirkungen verursachen (Tab. 5-2). Bei sehr hohen Lautstärken kann eine direkte Schädigung des Gehörs auftreten. Solche Lautstärken werden jedoch im Bereich des Umgebungslärms nicht erreicht. Hier ist die Beziehung zwischen Ursache und Wirkung schwieriger nachzuweisen, denn sie wird durch moderierende Faktoren stark beeinflusst. Dennoch liegen inzwischen vielfältige wissenschaftliche Erkenntnisse über die gesundheitlichen Auswirkungen von Lärm vor.

Umfragen belegen bundesweit und über einen längeren Zeitraum: Lärm ist ein ernst zu nehmendes Umweltpro-

Tab. 5-2: Die wichtigsten Auswirkungen hoher Belastungen von Umgebungslärm (nach BAFU, Stand 2006).

Physiologische Auswirkungen	Psychologische Auswirkungen
Herz-Kreislauf Erkrankungen	Belästigung, Verärgerung
Erhöhtes Herzinfarktrisiko	Stress, Nervosität
Schlafstörungen	Kommunikationsstörungen
<u>Vegetative Funktionsstörungen</u>	<u>Leistungsbeeinträchtigung</u>
Blutdruckerhöhung	Niedergeschlagenheit
Kopfschmerzen	Lern- und Konzentrationsstörungen
<u>Soziale Lärmwirkungen</u>	<u>Ökonomische Lärmwirkungen</u>
Kommunikationserschwerenis	Gesundheitskosten
Aggressionen	Lärmschutz- u. raumplanerische Kosten
Soziale Entmischung	Produktionsausfälle
	Miet- und Immobilienpreise

blem. Die Hauptlärmquellen finden sich im Bereich des Verkehrslärms. Abbildung 5-2 fasst die Ergebnisse bundesweiter und baden-württembergischer Umfragen grafisch für den Anteil der „stark“ und „äußerst stark“ Belästigten zusammen. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Umfragen nicht alle mit einheitlicher Systematik durchgeführt wurden und daher ein direkter Vergleich nur mit Einschränkungen möglich ist. Dennoch spiegeln sich

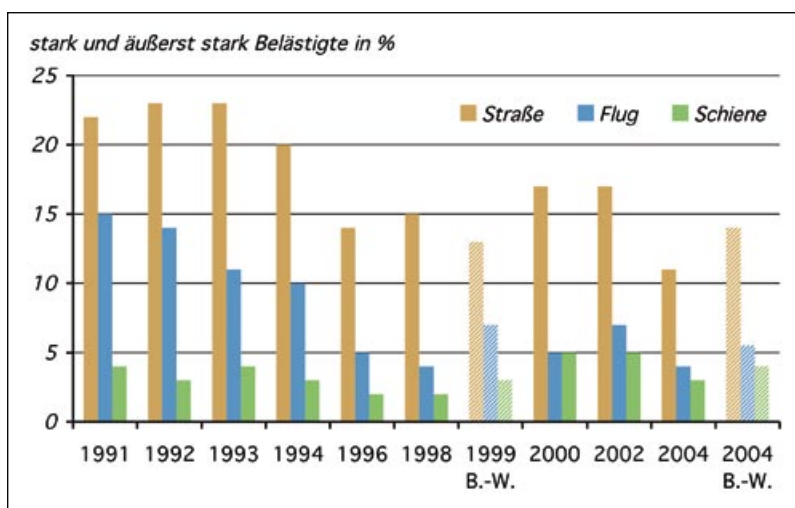


Abb. 5-2: Subjektive Belästigungssituation in Deutschland und in Baden-Württemberg im Wohnumfeld durch Verkehrslärm (nur „stark“ und „äußerst stark“ Belästigte). Quelle: SRU 2004, aktualisiert nach UBA 2005 und LFU 2004a,b

in den Zahlen auch die Wirkung vieler lokaler Maßnahmen beim Straßenverkehr (z. B. Ortsumgehungen, Schallschutzmaßnahmen) wider. Im Bereich des Flugverkehrs ist festzustellen: Der militärische Fluglärm hat seit den 1990er Jahren im Land drastisch abgenommen, im zivilen Sektor zeigt sich z. B. am Großflughafen Stuttgart trotz höherer Flugzahlen eine Abnahme der gemessenen Lärmpegel (vgl. Kapitel 5.3).

## 5.2 STRASSENVERKEHRSLÄRM

Der Straßenverkehr steht an der Spitze der Lärmverursacher, er ist nahezu allgegenwärtig, auch in Baden-Württemberg.

Über die Hälfte der Bevölkerung im Land fühlt sich durch den Straßenverkehr belästigt, über 14 % sogar stark oder äußerst stark. In den größeren Städten fühlen sich die Menschen stärker belästigt als in Städten mittlerer Größen oder in kleineren Orten. Neben dem hausgemachten Lärm durch Quell- und Zielverkehr im Land ist in Baden-Württemberg auch der Anteil am Transitverkehr von Bedeutung. Dennoch ist

zu bemerken: Bei keiner anderen Lärmart sind sich Verursacher und Betroffene näher als beim Straßenverkehrslärm, denn nahezu jeder wird durch die Nutzung seines Kfz zum Mitverursacher des Lärms.

Bundesweit sind etwa 12 bis 13 Mio. Menschen tagsüber einem Lärmpegel von über 65 dB(A) durch den Straßenverkehr ausgesetzt. Nachts sind es noch rund 6 Mio. Menschen, die von straßenverkehrsbedingten Pegeln über 60 dB(A) betroffen sind (Abb. 5-3). Der Straßenverkehrslärm hat auch großen Anteil daran, dass weite Teile der Landesfläche nicht mehr als „ruhig“ bezeichnet werden können. Als Folge sinkt der Erholungswert auf diesen Flächen merklich.

Trotz mancher Anstrengungen wie z. B. der deutlichen Reduktion von Motorengeräuschen bei Pkw und Lkw konnte die Lärmbelastung der Bevölkerung in den letzten Jahren nicht erkennbar reduziert werden. Dennoch führten lokale Maßnahmen wie z. B. Ortsumgehungen, Lärmschutzwände u. a. (Tab. 5-4) zu Erleichterungen bei den jeweils betroffenen Menschen. Ohne die Umsetzung solcher Maßnahmen würde die heutige Lärmbelastung zweifellos höher liegen. Lärmindernde Maßnahmen wurden unter anderem durch kontinuierlich steigende Verkehrszahlen und steigende real gefahrene Geschwindigkeiten kompensiert. Da auch in Zukunft mit zum Teil erheblichen Steigerungen des Verkehrs zu rechnen ist, wird sich das Problem weiter verschärfen, wenn keine wirksamen Lärm mindernden Maßnahmen ergriffen werden.

Pkw und Lkw müssen die in der StVZO festgelegten Grenzwerte für Geräuschemissionen einhalten, wenn sie zum Betrieb auf öffentlichen Straßen zugelassen werden sollen. Die Fahrgeräusche werden im Rahmen dieser Typprüfung nach einem speziellen Messverfahren des Kraftfahrt-Bundesamts (KBA) bestimmt. Das Fahrgeräusch wird in der Mitte einer 20 m langen Messstrecke im Abstand von 7,5 m von der Fahrspurmitte des Fahrzeuges ermittelt, das aus einer gleichförmigen Geschwindigkeit am Anfang der Messstrecke voll beschleunigt wird. Derzeit wird dieses Messverfahren überarbeitet, um eine bessere Anpassung der im festgelegten Fahrzyklen und Betriebszustände an die realen Verhältnisse zu gewährleisten.

Beim Straßenverkehr verringerten sich die tatsächlichen Vorbeifahrtpegel von Pkw und Lieferwagen in den letzten Jahrzehnten so gut wie nicht. Lediglich bei den Lkw sind

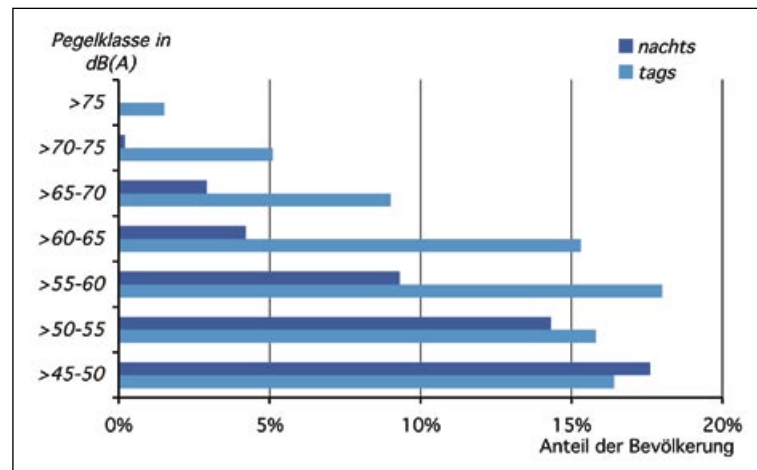


Abb. 5-3: Geräuschbelastung der Bevölkerung durch Straßenverkehrslärm in Deutschland. Quelle: UBA 2005

Verbesserungen feststellbar. Bei der Lärminderung an der Quelle, also bei der Summe aus Reifen-Fahrbahn-Geräusch und Antriebsgeräusch, wurde effektiv nur wenig erreicht. Das liegt daran, dass das Reifen-Fahrbahngeräusch beim Pkw bereits ab 40 km/h zum dominierenden Geräuschanteil wird. Daher kommen die Verbesserungen beim Motorengeräusch insgesamt nur wenig zur Geltung.

In der Vergangenheit war das Reifen-Fahrbahngeräusch im Gegensatz zum Motorengeräusch nicht im Blickwinkel gesetzlicher Regelungen zur Verbesserung der Schallemission. Dies änderte sich mit der EU-Reifenrichtlinie aus dem Jahr 2001 (Richtlinie 2001/43/EG). Diese regelt zwar inzwischen die zulässige Schallemission von Pkw- und Lkw-Reifen, leider jedoch in einer Weise, die keinerlei Minderung an der Quelle mit sich bringt, da selbst die lautesten Reifen die dort angesetzten Grenzwerte noch problemlos unterschreiten (Abb. 5-4). Zukünftige Entwicklungen müssen hier ansetzen, um flächendeckend Reduzierungen beim Reifen-Fahrbahngeräusch erzielen und damit dem Straßenverkehrslärm wirksam und nachhaltig reduzieren zu können.

Bei diesen Ergebnissen ist auch zu beachten, dass die Schallemissionen im alltäglichen, praktischen Fahrbetrieb auch noch stark von der jeweiligen Fahrweise, also vom Fahrer selbst, abhängen. Das Fahrverhalten (niedrig- oder hochtouriges Fahren) kann Unterschiede in der Emission von 10 dB(A) mit sich bringen, so dass ein rasant und hochtourig gefahrener Pkw acht normal gefahrenen Pkw entspricht (Abb. 5-5). Das bedeutet eine Verdoppelung oder Halbierung des subjektiv empfundenen Lärms. Gegenseitige Rücksichtnahme ist daher auch bei der Lärminderung ein wichtiger Einflussfaktor.

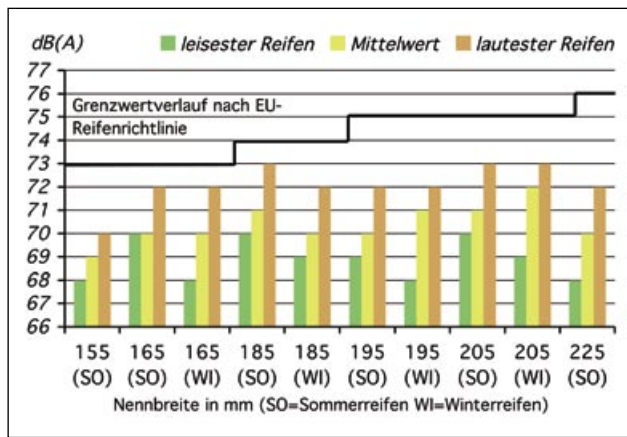


Abb. 5-4: Vergleich der Emissionsgrenzwerte für Reifen nach der EU-Reifenrichtlinie (schwarze Linie) aus dem Jahr 2001 mit Emissionswerten auf dem Markt befindlicher Reifen. Quelle: UBA 2003, LFU 2004c

Die 16. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (16. BImSchV - Verkehrslärmschutzverordnung) aus dem Jahr 1990 legt für den Neubau von Straßen oder deren wesentliche Änderung verbindliche Immissionsgrenzwerte fest, die an den Wohnungen der Anwohner einzuhalten sind (Tab. 5-3, linker Teil). Demnach ist durch planerische oder technische Maßnahmen am Verkehrsweg sicherzustellen, dass diese 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). Allerdings gilt diese Verordnung nicht für bereits bestehende Straßen, so dass es hier bei Überschreitungen keine Rechtsgrundlage gibt, die eine Lärmsanierung für solche Verkehrswege vorschreibt. An bestehenden Bundesfernstraßen ist nunmehr seit fast 30 Jahren eine Lärmsanierung möglich, mit der Einschränkung, dass dafür Haushaltsmittel zur Verfügung stehen. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass der durch die Straße verursachte Beurteilungspegel bestimmte, von der Gebietsnutzungs abhängige, Sanierungspegel überschreitet (Tab. 5-3, rechter Teil).

Zum Schutz vor Straßenverkehrslärm wird zwischen aktiven und passiven Maßnahmen unterschieden. Aktive Maßnahmen setzen an der Quelle an und beeinflussen deren Schallabstrahlung, passive setzen am Immissionsort an. Obwohl z. B. Lärmschutzwände nicht direkt an der Schallentstehung ansetzen, sondern erst im Verlauf der Schallausbreitung, werden sie zu den aktiven Elementen der Lärminderung gezählt. Letztlich vermindern sie die Schallabstrahlung der Straße, wenn man dies als Linienschallquelle auffasst. Eine Übersicht über aktive und passive Minderungsmaßnahmen gibt Tabelle 5-4.

In Baden-Württemberg wurden bis zum Jahr 2004 fast 45 km Lärmschutzwälle, über 13 km Steilwälle und 131 km

Tab. 5-3: Immissionsgrenzwerte für den Neubau und die wesentliche Änderung von Straßen- und Schienenwegen (links) sowie Sanierungspegel für bestehende Bundesfernstraßen (rechts). Quelle: 16. BIMSCHV, VLÄRMSCHR 97

	Immissionsgrenzwerte nach 16. BImSchV in dB(A)		Sanierungspegel für bestehende Bundesfernstraßen in dB(A)	
	tags	nachts	tags	nachts
Krankenhäuser, Schulen, Heime	57	47	70	60
Reine u. allgemeine Wohngebiete	59	49	70	60
Kern-, Dorf- u. Mischgebiete	64	54	72	62
Gewerbegebiete	69	59	75	65

Lärmschutzwände an Bundesfernstraßen errichtet (Abb. 5-6). Damit sind im Land etwa 3,5 % des Gesamtnetzes von Bundesfernstraßen (etwa 5 500 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 bei Bundesfernstraßen ebenfalls statistisch erfasst. Hier wurden bis 2004 ca. 149 000 m<sup>2</sup> Lärmschutzfenster eingesetzt (Abb. 5-7). Ein Vergleich mit anderen Bundesländern beim Lärmschutz an Bundesfernstraßen macht deutlich, dass in Baden-Württemberg mehr passiver Lärmschutz zum Einsatz kommt: Das Land besitzt bezogen auf die Straßenlänge fast doppelt so viele Lärmschutzfenster an Bundesfernstraßen wie die anderen Länder (Abb. 5-8).

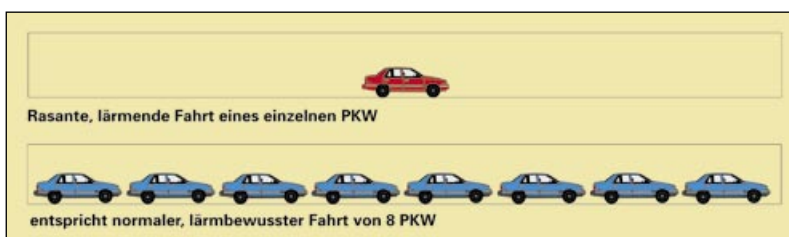


Abb. 5-5: Der Unterschied zwischen einer lärmbewussten und einer lärmenden Fahrweise. Quelle: LUBW 2006

### 5.3 FLUGLÄRM

Der Flugbetrieb und der damit zusammenhängende Fluglärm wird in Baden-Württemberg insbesondere durch den Großflughafen Stuttgart, die überregionalen Flughäfen Karlsruhe/Baden-Baden

Tab. 5-4: Minderungsmaßnahmen zum Schutz vor Straßenverkehrslärm. Quelle: LUBW, Stand 2006

Maßnahme	aktiv	passiv
Lärminderung an den Fahrzeugen (Motor, Auspuff, Reifen etc.)	x	
Lärminderung durch Straßenbelag (z. B. offener Asphalt oder Beton)	x	
Lärmschutzwände, Lärmschutzwälle	x	
Geschwindigkeitsbeschränkungen	x	
Ortsumgehungen, Umleitungen	x	
Lärmschutzfenster		x
weitere Lärmschutzmaßnahmen am Immissionsort wie z. B. Verstärkungen von Haustüren und Dächern		x
Fahrverbote (zeitliche oder für bestimmte Fahrzeugtypen)	x	
Lärminderung durch Straßenführung (Einschnitt- oder Troglage, Trassenführung)	x	
Straßenteil- oder Straßenvollabdeckungen	x	

(Baden Airpark) und Friedrichshafen sowie in Südbaden durch den Flughafen Zürich-Kloten geprägt. Daneben gibt es im Land aber noch über 160 zivil genutzte Flugplätze, die relativ gleichmäßig über die Landesfläche verteilt sind. Den zahlenmäßig größten Anteil darunter bilden Segelflugplätze, gefolgt von Hubschrauberlandeplätzen bei Krankenhäusern und Industrie-unternehmen.

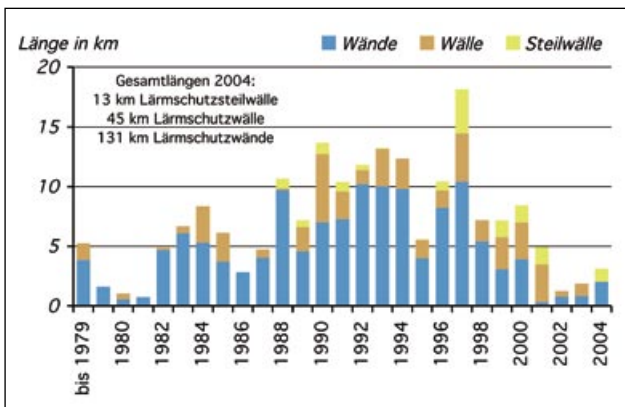


Abb. 5-6: Im jeweiligen Jahr neu errichtete Lärmschutzwände und -wälle an Bundesfernstraßen in Baden-Württemberg. Quelle: BMVBW 2005

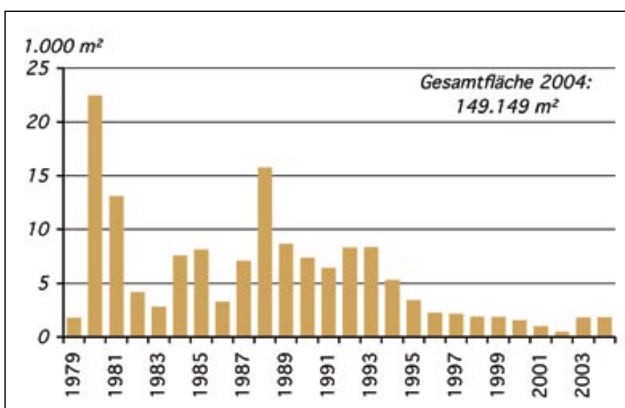


Abb. 5-7: Im jeweiligen Jahr neu eingebaute Lärmschutzfenster an Bundesfernstraßen in Baden-Württemberg. Quelle: BMVBW 2005

Ob der von Flugzeugen ausgehende Lärm von den Anwohnern als belästigend empfunden wird, hängt von den Emissionen der einzelnen Flugzeuge, deren Anzahl, dem Abstand zur Flugroute bzw. zum Flugplatz sowie von den Betriebszeiten ab. Der Flugverkehr zählt im zweiten „Rang“ nach dem Straßenverkehr zu den am meisten belästigenden Quellen im Land. Im Jahr 2004 fühlten sich fast 19% der Bevölkerung durch Fluglärm „mittelmäßig“, „stark“ oder sogar „äußerst stark“ belästigt (Abb. 5-1).

Im Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (Fluglärmschutzgesetz) aus dem Jahre 1971 sind für den Lärmschutz in der Umgebung der größeren Flughäfen Grenzwerte für die Festsetzung eines Lärmschutzbereiches und von Schutzzonen festgelegt. Im Lärmschutzbereich herrscht ein durch den Fluglärm hervorgerufener äquivalenter Dauerschallpegel von mehr als 67 dB(A). Dieser Bereich wird in zwei Schutzzonen unterteilt: Schutzzone 1 umfasst das Gebiet, in welchem der äquivalente Dauerschallpegel mehr als 75 dB(A) beträgt, Schutzzone 2 das übrige Gebiet. In den Schutzzonen bestehen Ansprüche auf baulichen Schallschutz und es gelten differenzierte Baubeschränkungen sowie Bauverbote. Eine notwendige Novellierung des nunmehr 35 Jahre alten Fluglärmschutzgesetzes ist in Planung. Ein Entwurf liegt seit dem Jahr 2005 vor, welcher den gesetzlichen Schutz der Anwohner vor Fluglärm deutlich verbessern soll.

Unter Fluglärmschutzgesichtspunkten ist der Verkehr mit strahlgetriebenen Flugzeugen von besonderer Bedeutung. Die Zahl der Flugbewegungen hat sich in diesem Bereich in den letzten Jahrzehnten stark erhöht und wird voraussichtlich weiter ansteigen. Die Internationale Zivilluftfahrtorganisation (ICAO – International Civil Aviation Organisation) hatte im Jahr 2001 die Lärmgrenzwerte für neue

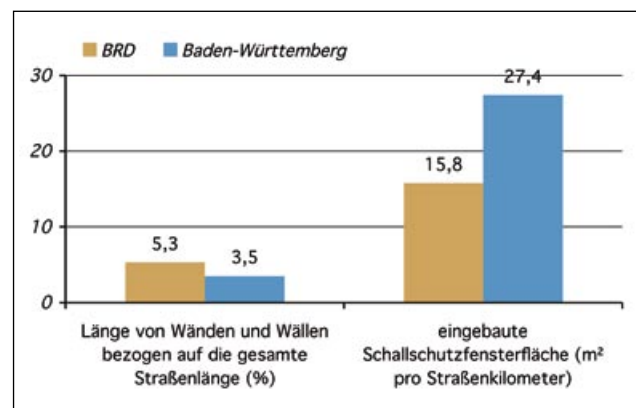


Abb. 5-8: Lärmschutzmaßnahmen an Bundesfernstraßen in Deutschland und Baden-Württemberg im Vergleich. Quelle: BMVBW 2005

Verkehrsflugzeuge um 10 Dezibel abgesenkt. Allerdings erfordert die Entwicklung des Standes der Technik hier auch zukünftig eine weitere Fortschreibung und damit Absenkung der Grenzwerte. Die EU-Richtlinie „Regeln und Verfahren für lärmbedingte Betriebsbeschränkungen auf Flughäfen“ (2002/30/EG) führte einen gemeinschaftlichen Rahmen im Hinblick auf lärmbedingte Betriebsbeschränkungen ein.

Im Einwirkungsbereich des Flughafens Stuttgart ist es gelungen, trotz steigender Flugzahlen sinkende Dauerschallpegel zu erreichen (Abb. 5-9). Dies ist nur möglich, wenn das einzelne Fluglärmereignis geringere Maximalschallpegel aufweist, wenn also leisere Flugzeuge verkehren. Gründe für diesen Erfolg sind u. a. auch die lärmbezogenen Start- und Landgebühren: laute Flugzeuge zahlen deutlich mehr als leisere. Am Flughafen Stuttgart stiegen die Flugzahlen seit den 1970er Jahren kontinuierlich an (Abb. 5-10). Während der gewerbliche Verkehr stark zunahm und sich nahezu verdreifachte, nahm der nichtgewerbliche Verkehr ab. Der militärische Anteil verringerte sich in diesem Zeitraum sehr stark.

Trotz allem wird der Flugverkehr im Einwirkungsbereich des Flughafens Stuttgart weiterhin Lärm für die Anwohner verursachen, und man kam und kommt nicht umhin, passive Schallschutzmaßnahmen bei den besonders betroffenen Anwohnern zu finanzieren bzw. zu fördern, um die Belästigung innerhalb der Wohnungen zu begrenzen. Dabei handelt es sich um Schallschutzfenster, in Schlafzimmern zu-

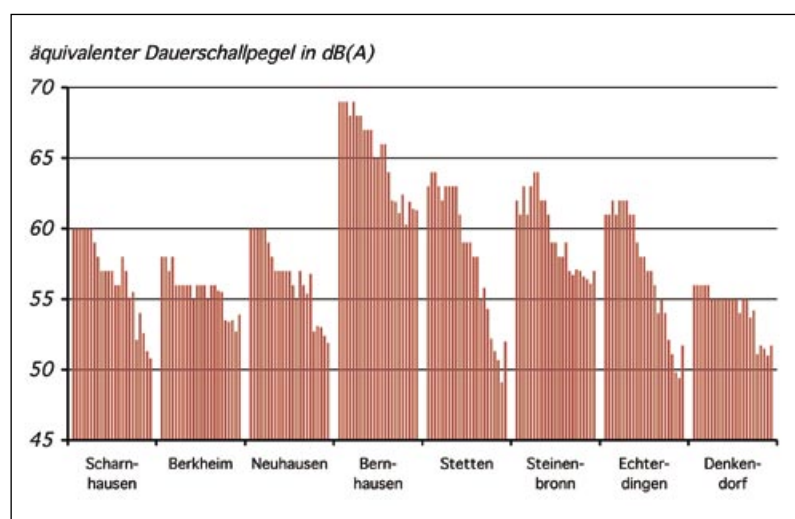


Abb. 5-9: Äquivalenter Dauerschallpegel an den Fluglärmmessstationen im Einwirkungsbereich des Flughafens Stuttgart 1982-2004. Quelle: FLUGLÄRMSCHUTZBEAUFTRAGTER 2004

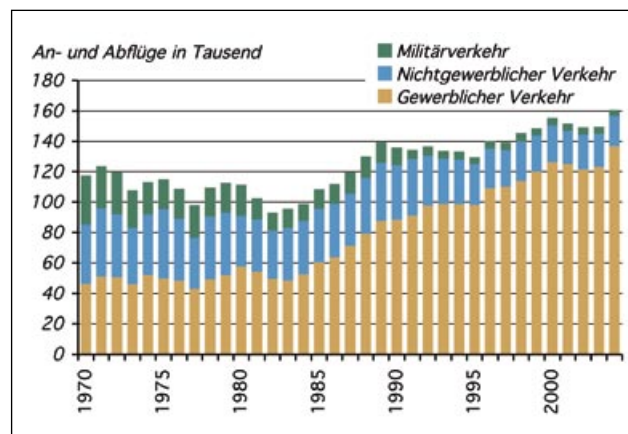


Abb. 5-10: Flugbewegungen (An- und Abflüge) am Flughafen Stuttgart 1970 bis 2004. Quelle: FLUGLÄRMSCHUTZBEAUFTRAGTER 2004

sätzlich mit Schalldämmlüftern. Mit solchen Maßnahmen kann zumindest für einen auch unter gesundheitlichen Gesichtspunkten wichtigen erholsamen Schlaf gesorgt werden. In der Umsetzung der Lärminderungsplanung Fildern wurden dazu Fördermittel zur Verfügung gestellt.

Beim Regionalflughafen Friedrichshafen halten sich die Flugzahlen alljährlich auf einem ähnlichen Niveau von rund 20 000 Starts (Stand 2005), wobei die nicht gewerblichen Motorflüge dominieren. Der Baden Airpark, der 1997 seine ersten Charterflüge aufnahm, entwickelte steigende Flugzahlen. Jährlich werden etwa 25 000 Starts verzeichnet, 15 000 davon im gewerblichen Bereich (Stand 2005). Darunter befinden sich aber auch kleinere Flugzeuge, Rundflüge und Hubschrauber. Auch der Flugplatz Mannheim (Neustheim) ist mit rund 25 000 Flügen (im Jahr 2004) hier zu nennen. Etwa die Hälfte davon ist dem nicht gewerblichen Bereich zuzuordnen, beim gewerblichen Bereich überwiegen die Schulungsflüge mit über 6 000 Starts.

Auch die kleineren Flugplätze können Anlass von Belästigungen sein. Oftmals sind die Lärmprobleme zum Teil auch Folge von zu geringen Abständen zwischen Wohnbebauung und Flugplatz. Nach der Landeplatz-Lärmschutzverordnung aus dem Jahr 1999 gelten an Landeplätzen mit über 15 000 Flugbewegungen pro Jahr zeitliche Betriebsbeschränkungen für propellergetriebene Flugzeuge und Motorsegler. Danach sind An- und Abflüge wie folgt untersagt: Montag bis Freitag vor 7.00 Uhr, zwischen 13.00 und 15.00 Uhr und nach

Sonnenuntergang; Samstag, Sonntag und an Feiertagen vor 9.00 Uhr und nach 13.00 Uhr. Ausgenommen hiervon sind u. a. Motorflugzeuge und Motorsegler mit erhöhtem Schallschutz. Was die Flugzahlen der übrigen zivilen Flugplätze in Baden-Württemberg angeht, so ist bei diesen insgesamt gesehen eine sinkende Zahl von Starts und Landungen zu verzeichnen (Abb. 5-11).

Der Schweizerische Flughafen Zürich-Kloten beeinträchtigt durch seine zum Teil über deutschem Hoheitsgebiet im südlichen Baden-Württemberg verlaufenden An- und Abflüge auch Teile der in diesem Bereich wohnenden Bevölkerung mit Fluglärm. Im Auftrag des Landes Baden-Württemberg werden daher in der etwa 15 km vom Flughafen entfernten Gemeinde Hohentengen (Landkreis Waldshut) und in Hohentengen-Herdern zwei Fluglärm-messstationen betrieben. In Hohentengen ist festzustellen, dass die nächtliche Belastung gegenüber früher deutlich zurückging, während die Tagwerte stagnieren. In Herdern zeigen auch die Tagwerte ab Anfang 2001 einen leichten Rückgang (Abb. 5-12).

Der militärische Fluglärm hat in Baden-Württemberg nicht mehr die Bedeutung wie früher. Bis Ende der 1980er Jahre fühlten sich Teile der Bevölkerung durch militärische Flüge belästigt. Seit 1990 hat der militärische Flugbetrieb in Deutschland stark abgenommen. Die Zahl der absolvierten Flugstunden der Bundeswehr und alliierter Verbündeter sank zwischen 1990 und 2004 um über 80 % (von etwa 42 000 auf unter 7 000 Stunden). Gleichzeitig ging die Beeinträchtigung der Bevölkerung durch Tieffluglärm spürbar zurück. Nach der Schließung der militärischen Jet-Flugplätze Hardthheim-Bremgarten, Lahr und Söllingen sind im Land nur noch militärische Hubschrauber der Bundeswehr und der US-Armee stationiert.

#### 5.4 SCHIENENVERKEHRSLÄRM

Schienerkehrslärm wird von Fahrzeugen auf Schienenwegen erzeugt. Hierzu zählen Eisenbahnen vom ICE bis zum Güterzug und Straßenbahnen, inkl. S-Bahnen, U-Bahnen etc. Hauptursache des Schienenverkehrslärms ist das Abrollen der Räder auf den Gleisen, das so genannte „Rad-Schiene-Geräusch“. Bei sehr hohen Geschwindigkeiten, z.B. bei ICE-Zügen mit weit über 200 km/h kommen auch aerodynamische Geräusche hinzu. Diese werden u. a. von den hoch liegenden Stromabnehmern der Züge verursacht und daher von üblichen Schallschutzwänden entlang der

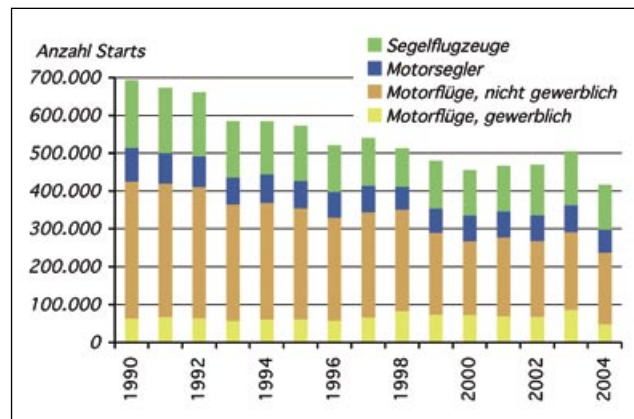


Abb. 5-11: Flugverkehr (Starts) auf zivilen Flugplätzen in Baden-Württemberg (ohne Flughäfen Stuttgart, Karlsruhe, Friedrichshafen). Die Motorflüge beinhalten auch Hubschrauber. Quelle: Statistisches Bundesamt 2005

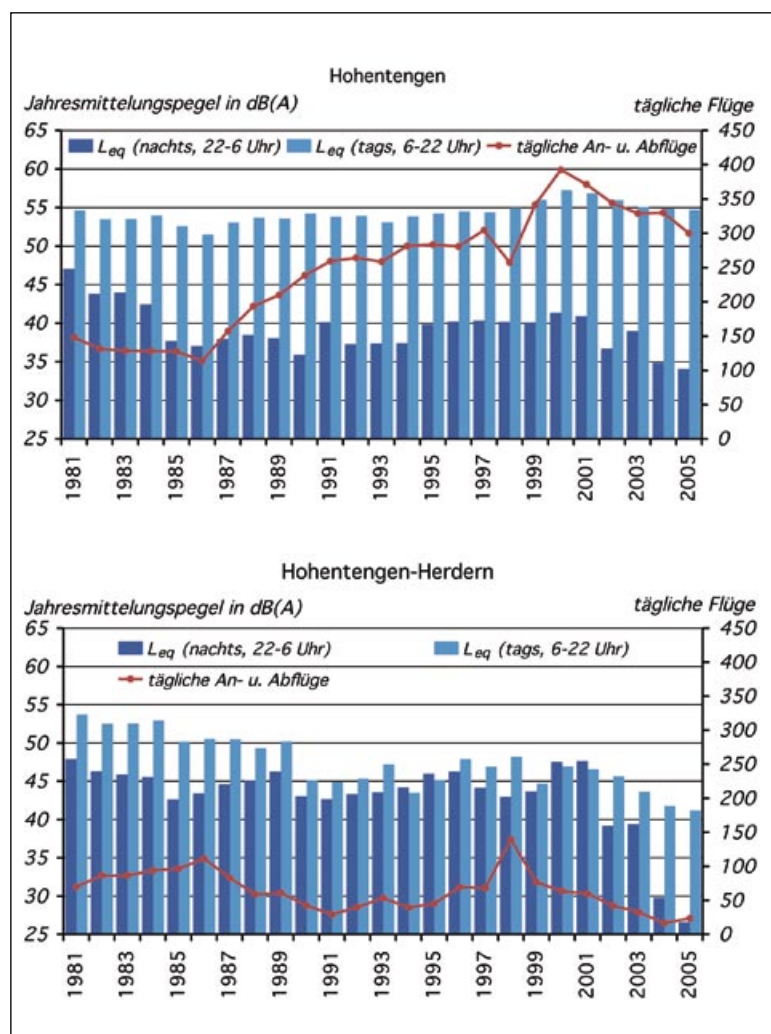


Abb. 5-12a: Jahresmittlungspegel ( $L_{eq}$  = energieäquivalenter Mittlungspegel) und Mittelwert der täglichen Flugzahlen an der Fluglärm-messstation Hohentengen (Die Daten 2005 beziehen sich auf das 4. Quartal). Quelle: LUBW, FLUGHAFEN ZÜRICH, Stand 2005

Abb. 5-12b: Jahresmittlungspegel ( $L_{eq}$  = energieäquivalenter Mittlungspegel) und Mittelwert der täglichen Flugzahlen an der Fluglärm-messstation Hohentengen-Herdern. (Die Daten 2005 beziehen sich auf das 4. Quartal). Quelle: LUBW, FLUGHAFEN ZÜRICH, Stand 2005



Strecke nur ungenügend oder überhaupt nicht mehr abgeschirmt. Im niedrigen Geschwindigkeitsbereich kommen auch noch Antriebs-, Rangier- und Bremsgeräusche hinzu, die sich störend auswirken können. Der Lärm, welcher von Schienenfahrzeugen auf Betriebsgeländen hervorgehoben wird, zählt nicht zum Schienenverkehrslärm, er ist Bestandteil des Industrie- und Gewerbelärms (vgl. Kapitel 5.5). Hierzu zählen auch Umschlagbahnhöfe.

Im Gegensatz zum nahezu flächendeckend vorhandenen Straßenverkehr ist der Eisenbahnverkehr stark gebündelt und deshalb hinsichtlich seiner Auswirkungen begrenzt. Dennoch ist in Baden Württemberg laut einer repräsentativen Umfrage die Belästigung durch Schienenverkehrslärm signifikant angestiegen (Abb. 5-1). Gaben 1999 noch 1,7 % der Bürgerinnen und Bürger an, „stark“ oder „äußerst stark“ belästigt zu sein, waren es 2004 bereits 3,9 %. Auch die „mittelmäßig stark“ Belästigten nahmen zu, von 4,2 % auf 7,4 %. Die Belästigungszeiten konzentrieren sich beim Schienenverkehrslärm meist auf die Nachtzeiten. Hier ist es dann in erster Linie der Güterverkehr, der sich besonders störend auswirkt. Güterzüge gehören zu den lautesten Zügen (Abb. 5-13) auf dem Netz der Deutschen Bahn AG. Gerade auf den überregionalen Strecken werden nachts sehr hohe Güterverkehrsströme abgewickelt. Dies kann dann sogar dazu führen, dass die Nachtpegel über denen des Tages liegen. Gerade in der Nacht erreicht der Schienenverkehr ähnlich hohe Betroffenzahlen wie der Straßenverkehr. Tabelle 5-5 gibt die hoch belasteten Abschnitte nach Emissionsklassen des Streckennetzes der Deutschen Bahn AG für Baden-Württemberg wieder. Auch in den kommenden Jahren ist hier insgesamt mit weiteren Steige-

rungen im Verkehrsaufkommen zu rechnen. Andererseits bestehen beim Schienenverkehrslärm noch erhebliche Minderungspotenziale durch Maßnahmen an den Quellen. Die Umrüstung besonders lauter Güterwagen auf leisere Komponenten (z. B. Bremsen mit K-Sohle) wird hierzu einen Beitrag leisten.

Allgemein verbindliche Emissionsgrenzwerte für Schienenfahrzeuge oder Immissionsgrenzwerte für Lärmbelastungen durch den Schienenverkehr gibt es derzeit nicht. Für Neu- und Ausbaustrecken gilt jedoch als Grundlage für den Lärmschutz, wie für den Straßenverkehr, die Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV). Demnach sind beim Bau oder bei der wesentlichen Änderung von Schienenwegen die Immissionsgrenzwerte dieser Verordnung maßgebend (Tab. 5-3, linker Teil). Bei der Ermittlung des Beurteilungspegels ist jedoch ein Abschlag in Höhe von 5 dB(A) gegenüber dem Straßenverkehrslärm vorgesehen.

Tab. 5-5: In Baden-Württemberg hoch belastete Eisenbahnstrecken – Emissionen nachts in dB(A).  
Quelle: BMVBW 2005

Hauptklasse (nachts)	Hauptsächlich betroffene Strecken in Baden-Württemberg
über 75 dB(A)	Mannheim-Basel (Teilabschnitte bei Mannheim und südl. Karlsruhe)
70 bis 75 dB(A)	Mannheim-Basel; Mannheim-Stuttgart-Ulm; Stuttgart-Würzburg
65 bis 70 dB(A)	Karlsruhe-Stuttgart; Stuttgart-Horb; Stuttgart-Würzburg (Teilabschnitt nördl. Heilbronn); Offenburg-Kehl
60 bis 65 dB(A)	Stuttgart-Tübingen; Horb-Singen; Ulm-Friedrichshafen; Stuttgart-Aalen; Stuttgart-Crailsheim; Offenburg-Villingen-Schwenningen (Teilabschnitte)

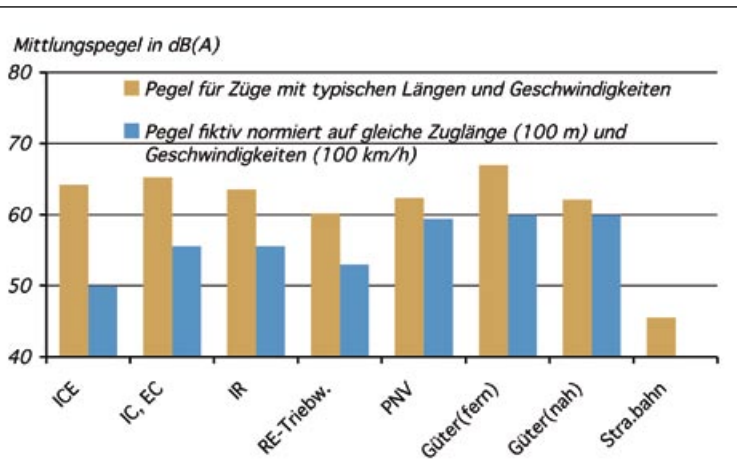


Abb. 5-13: Mittelungspegel für verschiedene Zugarten der Deutschen Bahn AG im Vergleich (25 m Abstand, 1 Zug pro Stunde).  
Quelle: DEUTSCHE BAHN AG, LUBW, Stand 2005

Die Berechtigung dieses so genannten „Schienenbonus“ wird derzeit wieder intensiv diskutiert. Er wurde damit begründet, dass der Schienenverkehrslärm 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 bei neuen oder wesentlich geänderten Abschnitten trotzdem die Grenzwerte der 16. BImSchV, sind zu deren Einhaltung aktive Lärmschutzmaßnahmen und – soweit dies nicht möglich bzw. nicht verhältnismäßig ist – passive Lärmschutzmaßnahmen vorzusehen. Dabei ist die Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung (24. BImSchV) aus dem Jahr 1997 anzuwenden. Wenn danach die Schalldämmung z. B. durch den Einbau von Schall-

schutzfenstern verbessert werden muss, übernimmt die Deutsche Bahn AG als Verursacher die Kosten für diese Maßnahmen.

Wie auch beim Straßenverkehr dürfen bestehende Streckenabschnitte weiter betrieben werden, Anwohner haben keinen Rechtsanspruch auf Schallschutz. Aber auch hier werden alljährlich begrenzte Mittel eingesetzt, um zumindest Stück für Stück die besonders betroffenen Teile einer Lärmsanierung zu unterziehen. Voraussetzung ist, dass die Sanierungsgrenzwerte (siehe Tab. 5-3, rechter Teil) überschritten werden.

Das derzeitige Streckennetz der Deutschen Bahn AG umfasst eine Gesamtlänge von rund 36 000 km. Lärmbelastungen mit einem mittleren nächtlichen Emissionspegel von mehr als 60 dB(A) treten an ca. 15 000 Streckenkilometern auf. Von diesen verlaufen ca. 3 700 km durch oder peripher zu Bereichen mit Wohnbebauung. Hiervon sind bundesweit fast 1 400 Städte und Gemeinden betroffen. Weil es somit eine Vielzahl von Ortslagen gibt, die diese Voraussetzungen erfüllen, wurde eine Dringlichkeitsliste erstellt. Die Deutsche Bahn AG identifizierte insgesamt über 3 000 Sanierungsbereiche mit einer Gesamtlänge von 3 500 km. Für die Priorisierung sind neben den Lärmpegeln auch die Zahlen der betroffenen Anwohner von Bedeutung. Auch in Baden-Württemberg wurden und werden Sanierungen durchgeführt und damit für Entlastungen gesorgt. Nach der Förderrichtlinie des Bundes aus dem Jahr 2005 steht die Gewährung der Zuwendung jedoch immer „unter dem Vorbehalt der Verfügbarkeit der veranschlagten Haushaltsmittel“.

Typische Lärmemissionswerte für derzeit von der Deutschen Bahn AG eingesetzte Zugarten sind in Abbildung 5-13 dargestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit werden für einige Zugarten auch die auf eine einheitliche Zuglänge und Fahrgeschwindigkeit normierten Werte angegeben. Die jeweiligen Geräuschemissionen hängen unter realen Bedingungen aber noch von verschiedenen weiteren Faktoren ab. So ist etwa der Zustand des Gleises und hier insbesondere der Grad der Verriffelung der Schienenlaufflächen von besonderer Bedeutung. Das Schleifen stark verriffelter Gleise kann daher die Geräuschpegel scheibengebremster Personenzüge absenken, teilweise um bis zu 10 dB(A). Selbst bei den geräuschvollen klotzgebremsten Güterzügen können auf diese Weise Verbesserungen um mehr als 5 dB(A) erzielt werden.

Vom Umweltbundesamt in Kooperation mit der LUBW durchgeführte Untersuchungen haben gezeigt, dass sich an Hauptfahrstrecken durch zunehmende Schienenverriffelung die mittleren Geräuscheinwirkungen einer Zugvorbeifahrt bei scheibengebremsten Personenzügen um durchschnittlich 0,7 dB(A) pro Jahr, bei Güterzügen um jährlich etwa 0,3 dB(A) erhöhen (gemessen jeweils in 25 m Entfernung und 3,5 m über Schienenoberkante). Daher wird der Deutsche Bahn AG im Rahmen der Planung von Aus- und Neubaustrecken auch der Einsatz des so genannten „besonders überwachten Gleises“ (BüG) als Lärminderungsmaßnahme zugestanden. Dabei kann die Bahn beim Einsatz des BüG im Genehmigungsverfahren einen Pegelabschlag von 3 dB (A) in Anspruch nehmen, wenn sie sich im Gegenzug zur besonderen Überwachung der Geräuschemissionen und der besonderen Gleispflege verpflichtet.

## 5.5 INDUSTRIE- UND GEWERBELÄRM

Gewerbliche Betriebe und Anlagen - hierzu zählen der Handwerksbetrieb ebenso wie große Industrieanlagen - können Ausgangspunkte störender Lärmemissionen sein. Das Spektrum ist äußerst vielfältig: Es reicht vom Lüftergeräusch der Klimaanlage einer Bank über das Hämmern und Sägen in einer Schreinerei bis zu den Knallgeräuschen einer Schießanlage, um nur einige Beispiele aus der Praxis zu nennen.

In dem Zusammenspiel von industrieller bzw. gewerblicher Nutzung mit Wohnnutzungen kommt es daher immer wieder zu Konfliktsituationen, die lokal erhebliche Ausmaße annehmen können. Dabei stehen häufig Lärmeinwirkungen, zum Teil als tieffrequenter Schall und in Verbindung mit Erschütterungen, im Vordergrund. Ein Rückgang von Beschwerdesituationen ist bei den zuständigen Behörden nicht festzustellen. Hier gilt es zum einen, wenn nötig, durch eine konsequente Umsetzung der in diesem Sektor vorhandenen gesetzlichen Regelungen - einschließlich des Standes der Lärminderungstechnik - zu einer raschen Entschärfung der Situation zu gelangen. Auf der anderen Seite gilt es, solche Konflikte bereits im Vorfeld durch planerische Voraussicht gar nicht erst entstehen zu lassen. Dies gelingt jedoch nur, wenn dem Bereich Lärmschutz bereits bei der Planung ein hoher Stellenwert zukommt. Dennoch ist insgesamt festzustellen, dass die Belästigungssituation der Bevölkerung im Bereich Industrie und Gewerbe gleich bleibt. Über einen längeren Zeitraum hinweg fühlten sich

2 bis 4 % der Bevölkerung durch industrielle Lärmquellen „stark“ oder „äußerst stark“ belästigt (Abb. 5-14). Die lokal zwar immer wieder vorhandenen Konflikte zwischen Gewerbebetrieben und der Nachbarschaft sind daher im Unterschied zu anderen Lärmarten weder ein generelles noch ein flächenhaftes Problem. Dies ist sicherlich auch ein Erfolg verstärkter Anstrengungen und Bemühungen sowohl von planerischer als auch technischer Seite.

Gewerbliche Anlagen müssen die Anforderungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) und der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) erfüllen. Anlagen, die besonders geeignet sind, Immissionen in der Nachbarschaft zu verursachen, müssen vor ihrer Errichtung ein Genehmigungsverfahren nach dem BImSchG durchlaufen. Dabei wird auch die von der Anlage ausgehende Lärmemission im Vorfeld geprüft und bewertet. Eine Liste dieser Anlagen findet sich in der 4. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV). Aber auch gewerbliche Anlagen, die z. B. lediglich einer Baugenehmigung bedürfen, müssen die in der TA Lärm festgelegten Immissionsrichtwerte in ihrer Nachbarschaft einhalten (Tab. 5-6). Für Tageszeiten mit erhöhter Empfindlichkeit sind in der TA Lärm Zuschläge festgelegt. Für besonders kritische Geräuschspitzen gibt es Obergrenzen. Geneh-

igungsbedürftige und nicht genehmigungsbedürftige Industrie- und Gewerbeanlagen werden in der TA Lärm weitgehend gleich behandelt. Für Notsituationen, seltene

Tab. 5-6: Immissionsrichtwerte nach der TA Lärm (Stand 2006).

Einwirkungsbereich	Immissionsrichtwert	
	Tags	Nachts
	6.00-22.00 Uhr	22.00-6.00 Uhr
<b>1. Immissionsorte außerhalb von Gebäuden:</b>		
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 in reinen Wohngebieten	55 dB(A)	40 dB(A)
in Kurgebieten, für Krankenhäuser und für einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen: maximal zulässige Überschreitung des Immissionsrichtwertes um	45 dB(A)	35 dB(A)
	30 dB(A)	20 dB(A)
Zuschläge für Tageszeiten mit erhöhter Empfindlichkeit: An Werktagen von 6.00-7.00 und 20.00-22.00 Uhr sowie an Sonn- und Feiertagen von 6.00-9.00, 13.00-15.00 und 20.00-22.00 Uhr wird bei der Ermittlung des Beurteilungspegels ein Zuschlag von 6 dB notwendig. (Dies gilt nicht in Industrie- und Gewerbegebieten).		
<b>2. Immissionsorte innerhalb von Gebäuden:</b>		
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)
für einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen: maximal zulässige Überschreitung des Immissionsrichtwertes um	10 dB(A)	10 dB(A)

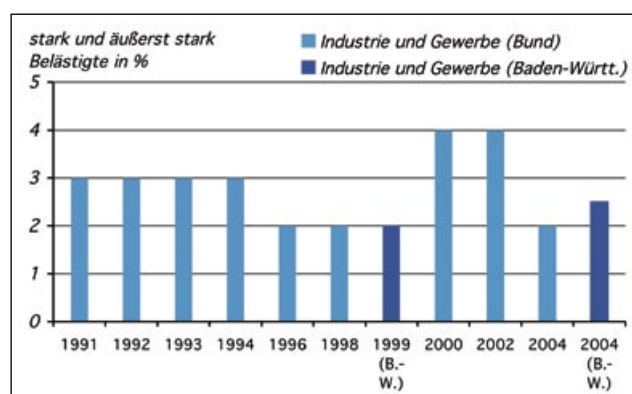


Abb. 5-14: Subjektive Belästigung der Bevölkerung (in %) durch Industrie- bzw. Gewerbelärm in Deutschland und Baden-Württemberg im jeweiligen Wohnumfeld (nur „stark“ und „äußerst stark“ Belästigte). Quelle: SRU 2004, aktualisiert nach UBA 2005 und LFU 2004

Ereignisse, tieffrequente Geräusche und Verkehrsgeräusche auf dem Betriebsgelände bestehen besondere Regelungen.

Der Stand der Lärminderungstechnik hat bei stationären Anlagen in Gewerbe und Industrie im Allgemeinen ein hohes Niveau erreicht. Nur dadurch konnte bei einer stetigen Zunahme der Produktivität und hoher Siedlungsdichte, wodurch oftmals geringe Abstände zwischen Wohn- und Gewerbenutzungen auftreten, ein moderates Belästigungsniveau gehalten werden. Auch Innovationen in der technischen Arbeitswelt sowie teilweise das bewusste Bemühen von Industrie und Gewerbe treiben den Stand der Schallschutztechnik voran; er ist für eine große Anzahl von Maschinentypen und Anlagen mittlerweile detailliert beschrieben.

## 5.6 LÄRM IM WOHNUMFELD - NACHBARSCHAFT, FREIZEIT, SPORT UND SCHULE

Laute Nachbarn sind auch in der Umfrage aus dem Jahr 2004 für die Baden-Württemberger immer wieder ein Störfaktor. Sie zählen zu den bedeutenden Lärmbelästigungsur-sachen. Immerhin 6 % fühlten sich durch Nachbarn „stark“ oder „äußerst stark“ belästigt gegenüber 4,4 % im Jahr 1999.

Weitere 8,4 % waren „mittelmäßig“ belastigt (10,3 % im Jahr 1999). Somit blieb die Summe der nicht nur geringfügig Belastigten mit 14,4 % im Jahr 2004 gegenüber 14,7 % im Jahr 1999 nahezu gleich (Abb. 5-1). Lärmende Nachbarn liegen in der Skala der lästigsten Lärmquellen an dritter Stelle, noch vor dem Schienenverkehrslärm und dem Lärm durch Industrie und Gewerbe.

Gerade hier ist oftmals ohne fehlende gegenseitige Rücksichtnahme und ohne einen respektvollen Umgang miteinander wenig zu erreichen. Weitere Ursachen sind aber auch die Geräuschübertragung innerhalb von Wohnhäusern und die Tatsache, dass immer mehr Menschen Lärm in Zeiten verursachen, in denen andere Ruhe und Erholung suchen.

Der Lärm durch Sport- und Freizeitanlagen liegt, was das Belästigungspotenzial angeht, in Baden-Württemberg an letzter Stelle. Nur 1,4 % der Bevölkerung fühlten sich 2004 „stark“ oder „äußerst stark“, weitere 2,1 % mittelmäßig belastigt. Sportanlagen fallen unter die Regelungen der 18. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Sportanlagenlärmschutzverordnung – 18. BImSchV). Darin sind Immissionsrichtwerte enthalten, die durch den Trainings- und Spielbetrieb von Sportanlagen nicht überschritten werden dürfen.

Der Betrieb von lärmintensiven Maschinen und Geräten im Freien ist immer wieder Anlass von Belästigungen und Beschwerden. Mit der 32. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, der Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung (32. BImSchV) werden unter anderem örtliche und zeitliche Betriebsbeschränkungen für insgesamt 57 besonders lärmintensive Maschinen und Geräte im Freien festgelegt (Tab. 5-7). Darunter fallen z.B. Laubbläser, Rasenmäher, Glassammelbehälter und eine Reihe von Baumaschinen. Für das Inverkehrbringen bestimmter Geräte bzw. Maschinen werden in der Verordnung maximal zulässige Schalleistungspegel vorgeschrieben, die in einer zweiten Stufe (ab 2006) verschärft werden (EU-Richtlinie 2000/14/EG). Die hier niedergelegten Schalleistungspegel liegen in der Regel um 2 bis 6 dB über den strengeren Anforderungen an lärmarme Maschinen nach dem Umweltzeichen „Blauer Engel“.

Der Mensch ist in seinem Lebens- und Wohnumfeld ständig Geräuschen ausgesetzt, die vielfach als Lärm empfunden werden. Neben den hier näher behandelten Lärmarten

bzw. Lärmquellen kommen im Bereich des Arbeitsplatzes oftmals weitere hinzu. Auch in Schulen und Kindergärten treten hohe Geräuschpegel auf, denen die Kinder selbst und natürlich auch die Erzieherinnen und Erzieher bzw. Lehrerinnen und Lehrer viele Stunden ausgesetzt sind. Während des Unterrichts liegen die durchschnittlichen Schallpegel in Klassenräumen oftmals zwischen 60 und 75 dB(A). Im Sportunterricht und in Pausenbereichen werden Pegel von 80 bis 90 dB(A) erreicht (Abb. 5-15). Bei solchen Pegeln kommt es zu Problemen mit der Sprachverständlichkeit und zu Konzentrationsschwierigkeiten. Jeder einzelne muss dann noch lauter sprechen, was die Situation weiter verschärft. Ein guter Teil des Problems lässt sich dabei auf eine schlechte Raumakustik zurückführen. Es fehlt oftmals an Schall absorbierenden Flächen, so dass der Schall mehrfach reflektiert wird und der Raum „nachhallt“. Die DIN 18 041 aus dem Jahr 2004 (Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen) gibt so genannte Sollwerte für die Nachhallzeit in Räumen unterschiedlicher Nutzung (Unterricht, Sprache, Musik, Sport) an. Diese Sollwerte hängen vom Raumvolumen ab. Für die Nutzungsart Unterricht z. B. liegen die Sollwerte der Nachhallzeit für Räu-

Tab. 5-7: Betriebsbeschränkungen für lärmintensive Geräte und Maschinen in Wohngebieten nach der 32. BImSchV (Stand 2005).

<b>Betriebsbeschränkungen für lärmintensive Geräte und Maschinen in Wohngebieten im Freien (nach 32.BImSchV)</b>	
Generelles Betriebsverbot	- an Sonn- und Feiertagen - an Werktagen von 20.00-7.00 Uhr.
Betriebsverbot für Freischneider, Grastrimmer, Laubbläser und -sammler	- an Werktagen von 7.00-9.00 Uhr, 13.00-15.00 Uhr und von 17.00-20.00 Uhr, sofern die Geräte nicht die Anforderungen für das gemeinschaftliche Umweltzeichen erfüllen und entsprechend gekennzeichnet sind.

me mit Raumvolumina im Bereich von 60 m<sup>3</sup> bis 1 000 m<sup>3</sup> bei 0,4 bis 0,8 Sekunden. Für einen Unterrichtsraum (Klassenzimmer) mit 200 m<sup>3</sup> Volumen beträgt der Sollwert 0,6 Sekunden. Diese Werte beziehen sich jedoch auf belegte bzw. besetzte Räume. Im unbesetzten Zustand darf die Nachhallzeit bis zu 0,2 Sekunden höher liegen. In diesem Zustand finden i.d.R. auch die Messungen der Nachhallzeit statt. Messungen der LUBW in Klassenzimmern ergaben teilweise deutlich höhere Werte. Durch Schall absorbierende Decken und Wandteile und Verbesserungen beim Inventar und Bodenbelag kann die Raumakustik - unter Beachtung von Brandschutzaspekten - wesentlich verbes-

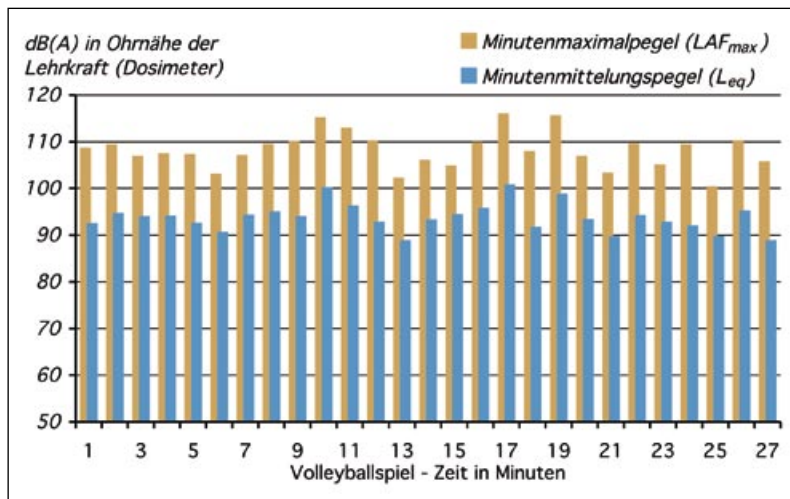


Abb. 5-15: Lärmpegel (Minutenpegel und Maximalpegel) am Ohr der Lehrkraft während des Sportunterrichts (hier: Volleyballspiel) in einer Sporthalle, die hohen Werte werden insbesondere auch durch den Gebrauch der Trillerpfeife erreicht. Quelle: LFU 2005

sert werden. Neben den technischen Maßnahmen sind es aber auch pädagogische und organisatorische Maßnahmen, welche dann letztlich in der Summe den Lärmpegel im Unterricht deutlich absenken können.

Ein weiterer Problembereich sind die z. T. direkt das Gehör schädigenden Pegel, wie sie teilweise in Diskotheken oder bei Rockkonzerten auftreten oder wie sie in Form von lauter Musik über Kopfhörer direkt in die Ohren (meist junger Menschen) eingespielt werden. Untersuchungen ergaben, dass durch intensiven und regelmäßigen Diskothekenbesuch und durch das Hören sehr laute Musik das Hörvermögen dauerhaft Schaden erleidet. Entsprechende Schädigungen sind schon bei einem nicht unerheblichen Prozentsatz der Jugendlichen nachweisbar. Gerade auf diesem Gebiet ist daher Aufklärung, Sensibilisierung und Diskussion besonders wichtig. Neuere kognitionspsychologische Untersuchungen im Rahmen eines BWPlus-Forschungsprojektes zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen den akustischen Bedingungen in Klassenräumen und dem Befinden sowie der mentalen Leistungsfähigkeit von Schülern.

## 5.7 DIE EU-UMGEBUNGSLÄRMRICHTLINIE

Die EU-Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm (EU-Umgebungslärmrichtlinie) aus dem Jahr 2002 legt erstmals europaweit einen einheitlichen Bewertungsmodus für Umgebungslärm fest. Zugleich werden starke Impulse für die Lärmbekämpfung gesetzt. Hauptquelle des Umgebungslärms ist der Verkehr (Straßen-, Eisenbahn- und Flugverkehr), hinzu kommt noch der Lärm

durch industrielle Anlagen. Diese wesentlichen Lärmquellen werden durch die Richtlinie erfasst. Für Ballungsräume, Hauptverkehrsstraßen, Haupt Eisenbahnstrecken und Großflughäfen wird neben einer umfassenden „strategischen Lärmkartierung“, welche die Lärmsituation in Korrelation mit den betroffenen Bevölkerungsanteilen dokumentiert, auch die Aufstellung von „Aktionsplänen“ (Maßnahmenplänen) unter Beteiligung der Öffentlichkeit gefordert. Die EU-Richtlinie wurde mit dem „Gesetz zur Umsetzung der EG-Richtlinie über die

Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm“ vom 24.06.2005 in nationales Recht umgesetzt (BImSchG, Teil sechs „Lärminderungsplanung“, §§ 47 a-f). Sie löst die bisherige freiwillige Lärminderungsplanung nach § 47 a BImSchG ab. In der Verordnung über die strategische Lärmkartierung aus dem Jahr 2006 werden überwiegend technische Details geregelt.

Durch die Umsetzung werden in Baden-Württemberg im Rahmen einer Lärmkartierung Lärmbelastungsdaten der Bevölkerung in einem Umfang gewonnen, wie sie nie zuvor zur Verfügung standen. Die Umsetzung erfolgt dabei in zwei Stufen. Eine Aktualisierung nach wesentlichen Veränderungen ist alle fünf Jahre vorgesehen. Dabei werden die Hauptverkehrsstraßen und Haupt Eisenbahnlinien mit ihren Anrainergemeinden, die Umgebung von Großflughäfen und die Ballungsräume selbst im Hinblick auf die dort herrschende Lärmsituation kartiert (Tab. 5-8). Anschließend erfolgt eine Aktions- bzw. Maßnahmenplanung. Auf dieser Grundlage können vorhandene Mittel für die technische Lärminderung sehr effizient eingesetzt werden und hohe Belastungssituationen gezielt entschärft werden.

In Baden-Württemberg sind als Ballungsräume der ersten Stufe (> 250 000 Einwohner) die Städte Stuttgart, Mannheim und Karlsruhe betroffen. In der zweiten Stufe (> 100 000 Einwohner) kommen Freiburg, Heidelberg, Heilbronn, Ulm, Pforzheim und Reutlingen hinzu. Ferner sind alle Autobahnen und Bundesstraßen im Land betroffen. Hinzu kommen noch etwa 16 % der Landesstraßen. Der erste anstehende Schritt, die Erarbeitung der Lärmkarten, erfordert einen hohen Erhebungsaufwand. Für den Bereich der Hauptverkehrsstraßen und die nicht bundeseigenen Eisenbahnlinien wird dies die LUBW durchführen. Die

Tab. 5-8: Umgebungslärmrichtlinie – Fristen und Betroffenheiten in Baden-Württemberg (Stand 2006).

Lärmquellen nach EU-Umgebungslärmrichtlinie	In Baden-Württemberg betroffen	Fristen zur Umsetzung der strategischen Lärmkartierung	Fristen zur Aufstellung der Aktionspläne
<b>Ballungsräume</b>			
> 250.000 Einwohner	Stuttgart, Mannheim, Karlsruhe	30.06.2007	18.07.2008
> 100.000 Einwohner	Freiburg, Heidelberg, Ulm, Heilbronn, Pforzheim, Reutlingen	30.06.2012	18.07.2013
<b>Hauptverkehrsstraßen</b>			
> 6 Mio Kfz/a = 16.400 Kfz/d	91% der Bundesautobahnen (= 1000 km) 20% der Bundesstraßen (= 900 km) 2% der Landesstraßen (= 220 km)	30.06.2007	18.07.2008
> 3 Mio Kfz/a = 8.200 Kfz/d	9% der Bundesautobahnen (= 100 km) 80% der Bundesstraßen (= 3500 km) 14% der Landesstraßen (= 1300 km)	30.06.2012	18.07.2013
<b>Haupteisenbahnstrecken</b>			
> 60.000 Züge/a = 164 Züge/d	Hauptverkehrsstrecken des Eisenbahnnetzes der Deutschen Bahn AG sowie wenige nicht der DB AG zugehörige Strecken	30.06.2007	18.07.2008
> 30.000 Züge/a = 82 Züge/d		30.06.2012	18.07.2013
<b>Großflughäfen</b>			
> 50.000 Bewegungen/a	Flughafen Stuttgart	30.06.2007	18.07.2008

LUBW wird außerdem die Berichtspflichten des Landes an den Bund übernehmen. Dazu ist die Einrichtung einer „Lärmdatenbank Baden-Württemberg“ notwendig.

Die Umgebungslärmrichtlinie beinhaltet keine Maßstäbe zur Lärmbewertung, legt also keine eigenen Richt- oder Grenzwerte für den Lärm fest. Es sind Aktionspläne auszuarbeiten, mit denen „Lärmprobleme und Lärmauswirkungen, erforderlichenfalls einschließlich der Lärminderung, geregelt werden“. Kriterien für die Umsetzung dieser Maßnahmenplanungen sind noch zu entwickeln. Letztendlich ist aber auch der Einsatz beschränkter finanzieller Mittel zu berücksichtigen. Dabei kann auf ein Bündel konkreter Maßnahmen zurückgegriffen werden, wie beispielsweise Förderung von Schallschutzfenstern, Lärmschutzwände und -wälle, Verkehrslenkung, Geschwindigkeitsbeschränkungen, lärmarme Fahrbahnbeläge u.a. Auch übergeordnete Initiativen zur Lärmbekämpfung an der Quelle wie z. B. die Verschärfung der EU-Reifenrichtlinie zur flächendeckenden Einführung lärmarter Reifen zählen hierzu.

Mittel- und längerfristiges Ziel ist es, die Lärmbelastung der Bevölkerung durch Umgebungslärm zu senken und ruhige Gebiete vor einer zukünftigen Verlärmung zu schützen. Die Ziele des Umweltplans Baden-Württemberg werden dadurch unterstützt. Erreicht wird dies durch Identifizierung der Lärmschwerpunkte und Entwicklung von Handlungsszenarien im Rahmen der Aktionspläne. Die Umsetzung der EU-Umgebungslärmrichtlinie wird erstmals in großem Umfang belastbare Daten über die Lärmsituation der Bevölkerung liefern und diese können auch als Grund-

lage für eine stärkere Berücksichtigung von Lärm bei der Raum- und Bauleitplanung dienen. Lärmbekämpfung und Schutz vor Lärm werden somit zu einer öffentlichen Daueraufgabe und der Erfolg von Maßnahmen zu einer messbaren Größe.

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Informationen der LUBW zum Thema Lärm:

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/1198/>

Informationen des Umweltministeriums Baden-Württemberg zum Thema Lärm:

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

Themenheft Lärm – „65 dB(A) lärmschutz“:

[http://www.schullaerm.baden-wuerttemberg.de/pdf/The-menheft\\_Lärm.pdf](http://www.schullaerm.baden-wuerttemberg.de/pdf/The-menheft_Lärm.pdf)

Lärmsanierungsprogramm des Bundes:

<http://www.bmvbs.de/Verkehr/Schiene-,1460/Laermschutz.htm>

Lärm in der schulischen Umwelt und kognitive Leistungen bei Grundschulkindern. BWplus-Zwischenbericht:

<http://bwplus.fzk.de/berichte/ZBer/2005/ZBerzo3w23005.pdf>

# 6 Wasser

## 6.1 GRUNDWASSER

### 6.1.1 GRUNDWASSERBESCHAFFENHEITSMESSNETZ

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

- 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.

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

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

### 6.1.2 GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT – ANTHROPOGENE BEEINFLUSSUNGEN

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 unterschiedlich durch den Menschen beeinflusst.

Abbildung 6-1 gibt einen Überblick über die Beprobungs-

ergebnisse der Jahre 2001 bis 2004. Da für Grundwasser keine gesetzlich geregelten Grenzwerte oder ähnliche Vorgaben existieren, werden als Orientierungshilfen für die Beurteilung der Konzentrationen die Grenzwerte (GW) der Trinkwasserverordnung vom 5. Dezember 1990 (TrinkwV 1990, gültig bis 31.12.2002), der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001 (TrinkwV 2001, gültig ab 01.01.2003) und die durch das Grundwasserüberwachungsprogramm eingeführten Warnwerte (WW) herangezogen.

Folgende Problemfelder sind ersichtlich: Versauerung durch sauren Regen (pH-Wert), landwirtschaftliche, wein- und gartenbauliche Belastungen aus der Stickstoffdüngung (Nitrat, Nitrit, Ammonium) und aus Pflanzenschutzmittelanwendungen - letztere teilweise auch bei anderen Flächen wie z. B. Verkehrsflächen (z. B. Atrazin, Desethylatrazin, Bromacil, Hexazinon, Diuron, Bentazon, 2,6-Dichlorbenzamid), Belastungen mit Kohlenwasserstoffen aus Industrie, Gewerbe und Verkehr (LHKW, PAK) und anderen synthetischen Stoffen (EDTA, NTA).

### 6.1.2.1 NITRAT

In Baden-Württemberg wird fast die Hälfte der Landesfläche landwirtschaftlich genutzt. Der damit verbundene Einsatz an Pflanzenschutzmitteln (PSM) und stickstoffhaltigen Düngemitteln führt zu einem flächenhaften Eintrag dieser Agrochemikalien in das Grundwasser. Deshalb wird zumindest Nitrat jedes Jahr landesweit an bis zu 2700 Messstellen untersucht. Die aktuell verfügbaren Daten stammen aus dem Jahr 2004.

Die „natürliche“ Nitratkonzentration liegt unter 10 bis 15 mg/l. Mindestens 50 bis 60 % der 2083 Landesmessstellen liegen darüber. Der Warnwert von 40 mg/l wird an nahezu jeder sechsten Messstelle überschritten, der Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 50 mg/l an jeder zehnten Messstelle (Abb. 6-1). Bei den Landesmessstellen mit für die öffentliche Wasserversorgung genutztem Rohwasser liegt der Nitratwert 2004 an jeder 14. bis 17. Messstelle über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung, an Messstellen im landwirtschaftlichen Einflussbereich jedoch an jeder fünften. Die in Abbildung 6-2 dargestellten Belastungsschwerpunkte sind insbesondere Bereiche mit Maisanbau und Sonderkulturen.

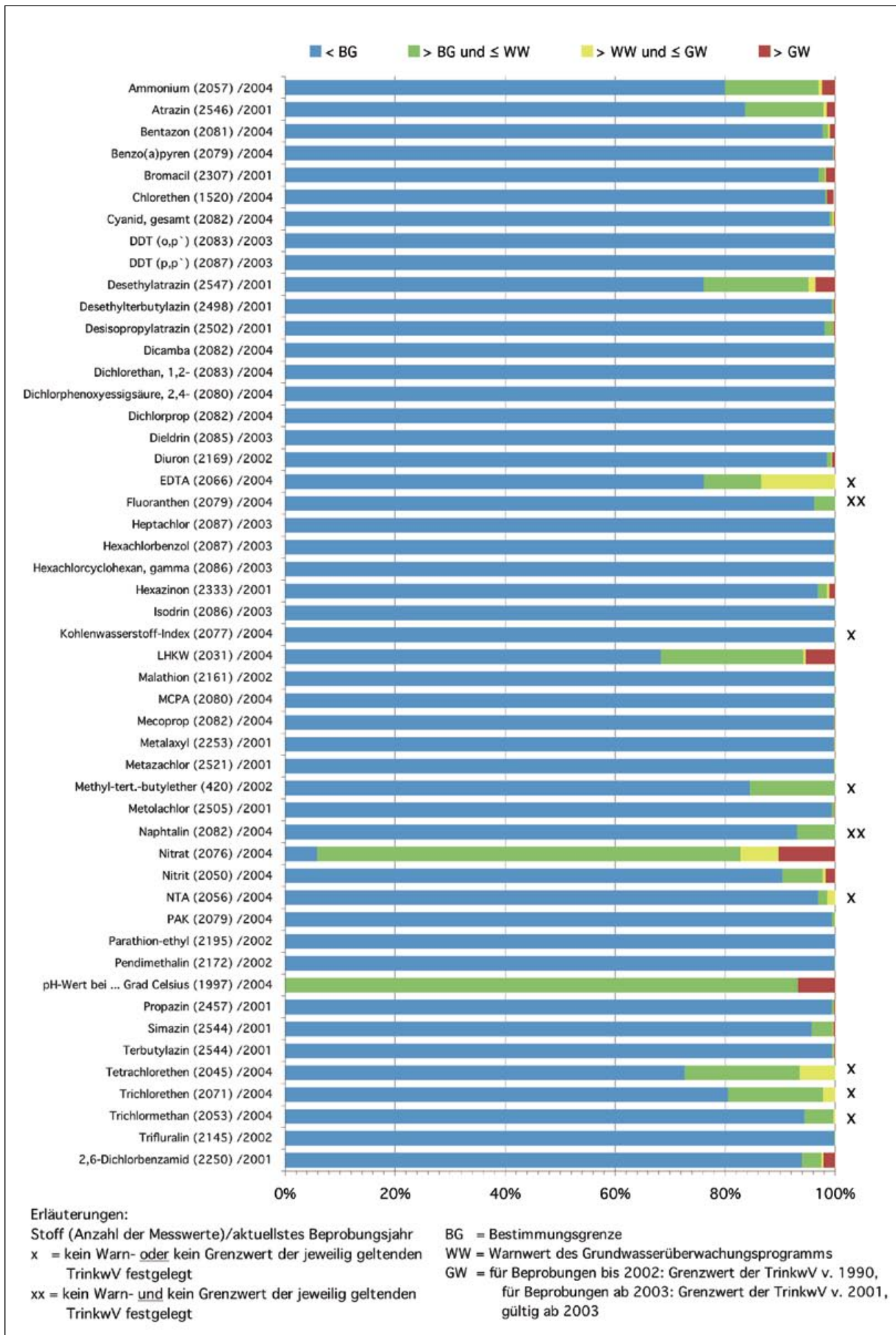


Abb. 6-1: Ergebnisse der Beprobungen 2001 - 2004: Prozentuale Verteilung der Messwerte. Quelle: LUBW 2006



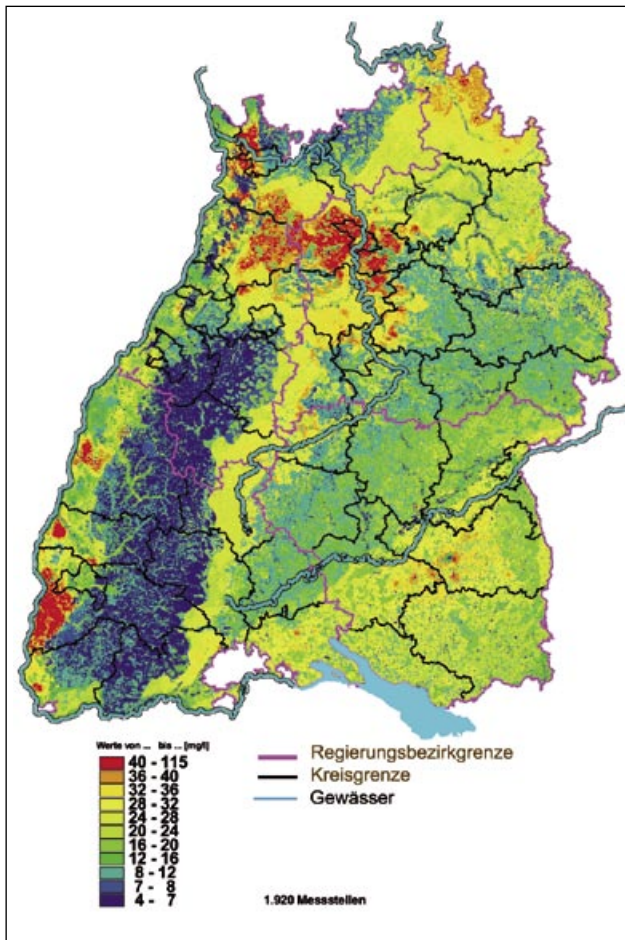


Abb. 6-2: Konzentrationsverteilung Nitrat 2004 im oberflächennahen Grundwasser - regionalisierte Darstellung. Quelle: LFU 2005

Die mittelfristige Änderung der Nitratkonzentration und des Prozentsatzes der Grenzwertüberschreitungen wird anhand von Landesmessstellen ausgewertet, von denen durchgehend von 1994 bis 2004 Messwerte vorliegen (Abb. 6-3). Diese 1.704 „konsistenten“ Landesmessstellen („Alle“) repräsentieren rund 82 % des Gesamtmessnetzes. Im Rahmen des fallenden Gesamttrends sinkt der Mittelwert von 27,8 mg/l 1994 auf den niedrigsten Wert von 23,3 mg/l in 2004. Dies entspricht einer Abnahme um 16 %. Erfreulicherweise stellt sich das Trendverhalten für das Grundwasser im landwirtschaftlichen Einflussbereich (EL) und auch in Wasserschutzgebieten beim Rohwasser (RW) für die öffentliche Wasserversorgung ähnlich dar.

Ebenfalls diesem Trend folgt die Entwicklung der Anzahl der Grenzwertüberschreitungen im Gesamtmessnetz der konsistenten Landesmessstellen. Nach dem Maximum der Grenzwertüberschreitungen 1994 an etwa 14 % aller konsistenten Messstellen wurden von 2003 bis 2004 mit 10,9 bis 9,8 % die niedrigsten Werte erreicht. Die Belastung im Jahr 2004 liegt nun auch eindeutig unter dem Niveau von 1992.

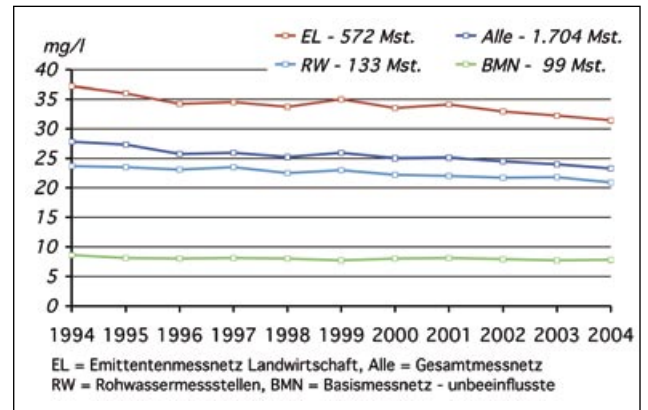


Abb. 6-3: Entwicklung der Mittelwerte für Nitrat für durchgehend jährlich beprobte Messstellengruppen. Beprobungszeitraum jeweils September bis Oktober. Quelle: nach LFU 2005

Die jährlichen Veränderungen dürfen nicht überinterpretiert werden, da auch die hydrologischen Verhältnisse in trockenen und nassen Jahren hierzu beitragen. Trotz der Erfolge muss insgesamt die flächenhafte Situation weiterhin als „Stagnation auf einem hohen Niveau“ bewertet werden. Bedenklich ist die in 2004 festgestellte Entwicklung von starken Belastungszunahmen in schon sehr stark belasteten Gebieten mit Nitratausgangsgeländen von über 80 mg/l. Dies unterstreicht die Richtigkeit der ergriffenen umweltpolitischen Lenkungsmaßnahmen durch die Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO), besonders in den hoch belasteten Problem- und Sanierungsgebieten.

Die Trendbeobachtungen zur *Nitratbelastung in Wasserschutzgebieten* zeigen im Vergleich zu 2001 in allen drei Belastungsklassen der SchALVO Abnahmen. Nach der SchALVO werden die Wasserschutzgebiete entsprechend ihrer Belastungssituation in Sanierungsgebiete, Problem-

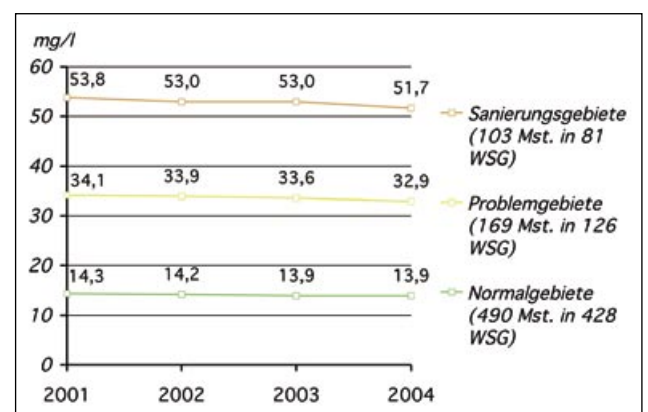


Abb. 6-4: Trends der mittleren Jahres-Nitratkonzentrationen für durchgehend jährlich beobachtete Messstellen (Mst.) in Wasserschutzgebieten (WSG), eingeteilt in die Nitratbelastungsklassen der SchALVO. Quelle: LFU 2005

gebiete oder Normalgebiete eingeteilt. Die durchgängig vorhandenen Belastungsreduzierungen betragen im Mittel 0,4 mg/l in den Normalgebieten und bis zu 2,1 mg/l in den Sanierungsgebieten (Abb. 6-4 und 6-5).

### 6.1.2.2 PFLANZENSCHUTZMITTEL UND ABBAUPRODUKTE

Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe werden seit 1992 regelmäßig an den Landesmessstellen untersucht. Wegen der Vielzahl der zu analysierenden Wirkstoffe können nicht alle Pflanzenschutzmittel (PSM) und ihre Abbauprodukte in einem einzigen Jahr gemeinsam gemessen werden, so dass die landesweit repräsentativen Befunde aus verschiedenen Jahren stammen (Abb. 6-1).

Die langjährigen Ergebnisse der Untersuchungen auf verschiedene PSM-Wirkstoffe und deren Abbauprodukte sind in Abbildung 6-1 dargestellt. Zugrunde liegen die jüngsten Befunde für jeden Stoff aus dem Zeitraum 2001 bis 2004, differenziert nach Nachweisbarkeit mit Angabe der Häufigkeiten der Befunde größer dem Warnwert des Grundwasserüberwachungsprogramms und größer den Grenzwerten der TrinkwV von 1990 und 2001. Die deutschen Grenzwerte entsprechen dem Grenzwert der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL).

Mit der größten Nachweisbarkeitsquote und den höchsten Konzentrationen über dem Grenzwert ist immer noch das langlebige Atrazin-Abbauprodukt Desethylatrazin (DEA) zu finden. Atrazin wurde früher als Totalherbizid hauptsächlich im Maisanbau eingesetzt. Jedoch ist die Belastung mit diesen beiden Stoffen, wie auch bei Simazin, stark rückläufig. Seit 2000/2001 ist erfreulicherweise ein Wendepunkt eingetreten. Nach den Belastungsspitzen Anfang bis Mitte der 1990er Jahre haben die DEA-Konzentrationen in den Jahren 2000 und 2001 erstmals wieder das Niveau von 1992 erreicht bzw. erstmals unterschritten. Dies ist als umweltpolitischer Erfolg des baden-württembergischen Atrazin-Anwendungsverbot in Wasserschutzgebieten (1988) und des bundesweiten Atrazin-Verbots (1991) zu werten. Trotzdem war DEA 2001 landesweit immer noch an jeder vierten Messstelle nachweisbar, worin sich die umweltrelevante Langlebigkeit der Agrochemikalie Atrazin widerspiegelt.

Zu den Hauptbelastungswirkstoffen zählen weiterhin die auch langlebigen Totalherbizide Bromacil, Hexazinon (Abb. 6-5) und Diuron. Diese sind hauptsächlich im Einzugsgebiet nichtlandwirtschaftlicher Flächen wie Gleisanlagen, Betriebsflächen und Parkplätzen zu finden. Ihre

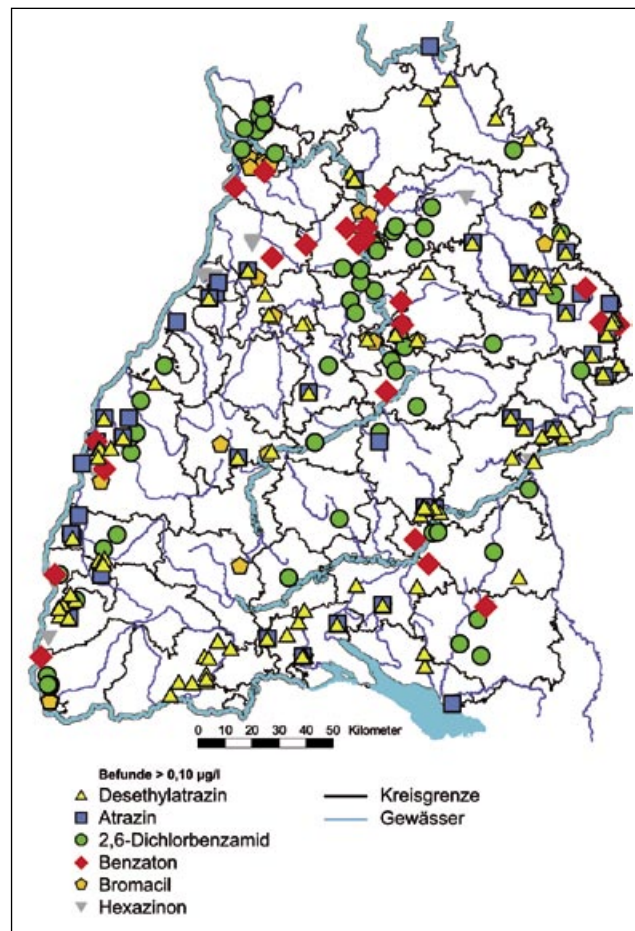


Abb. 6-5: PSM-Hauptbelastungsparameter: Überschreitungen des Grenzwertes ( $> 0,10 \mu\text{g/l}$ ) (Daten jeweils aktueller Messwert aus 2001 - 2004). Quelle: LFU 2005

Anwendung ist inzwischen allgemein oder teilweise nicht mehr zugelassen, beispielsweise auf Gleisanlagen. Bei den letzten landesweiten Beprobungsrunden in den Jahren 2001 und 2002 bewegen sich die Nachweisquoten im Gesamtmessnetz zwischen 1,5 und 3,2 %.

Bei den landesweiten PSM-Untersuchungen der letzten Jahre standen die seit 2000 bzw. 1996 mit zunehmender Sorge beobachteten Wirkstoffe Bentazon und Diclobenil und sein Abbauprodukt 2,6-Dichlorbenzamid im Vordergrund. Die beiden damals noch nicht verbotenen bzw. in ihrer Anwendung nicht eingeschränkten Wirkstoffe wurden im Mais-, Gemüse-, Kartoffel- und Getreideanbau bzw. Weinanbau angewandt. Bentazon und 2,6-Dichlorbenzamid zählen zu den PSM-Hauptbelastungen der letzten Jahre (Abb. 6-5), weshalb in mehreren Berichten der ehemaligen Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg die Prüfung eines generellen Anwendungsverbots gefordert wurde.

2,6-Dichlorbenzamid ist seit 1997 das PSM-Abbauprodukt mit der landesweit zweithöchsten Grenzwertüberschrei-

tungsquote. 2,6-Dichlorbenzamid findet sich in der letzten Beprobungsrunde von 2001 an jeder 17. Messstelle. 2,6-Dichlorbenzamid-Befunde werden dabei nicht nur in den für die Diclobenil-Verwendung typischen Weinanbaugebieten festgestellt, sondern auch im Siedlungs- und Rohwasserbereich, da es früher auch zur Anwendung auf anderen Kulturfleichen und auch auf Nichtkulturland, wie z. B. Brachfläichen und Verkehrsfläichen, zugelassen war. Auch aufgrund der Untersuchungen aus Baden-Württemberg ruhte die Zulassung des 2,6-Dichlorbenzamid-Ausgangswirkstoffes Diclobenil von 2001 bis 2004, bis die Zulassung in 2004 endgültig widerrufen wurde. Seitdem ist jeglicher Einsatz diclobenilhaltiger Handelsprodukte sowie das Aufbrauchen von Restbeständen verboten, da mit der widerrufenen Zulassung ein vollständiges Anwendungsverbot verbunden ist.

Bentazonhaltige Pflanzenschutzmittel waren von 1975 bis Anfang 1997 mit einer W-Auflage gekennzeichnet, was bedeutet, dass sie nicht in Wasserschutzgebieten angewandt werden durften. 1997 wurde u. a. aufgrund der Herabsetzung der einzusetzenden Aufwandsmenge die Anwendung bentazonhaltiger Handelsprodukte in Wasserschutzgebieten wieder zugelassen. Trotz der reduzierten Bentazonaufwandsmengen wurde der Wirkstoff seit 1996 mit steigenden Nachweisquoten und zugleich hohen Konzentrationen über dem Grenzwert der TrinkwV und der WRRL von 0,10 µg/l nachgewiesen. Bentazon war von allen in den Jahren 2001 und 2002 landesweit untersuchten PSM die Substanz mit der dritthöchsten Grenzwertüberschreitungsquote. Studien der baden-württembergischen Landesanstalt für Pflanzenschutz (LfP) zeigen die hohe Mobilität und die damit verbundene Gefahr der Verlagerung bentazonhaltiger Mittel ins Grundwasser.

Das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit hat im April 2005 vor allem aufgrund der Ergebnisse aus Baden-Württemberg Einschränkungen für die Bentazonanwendung erlassen. Die zahlreichen Bentazonbefunde in bundesdeutschen Grundwässern führten Anfang April 2005 zu einigen Konkretisierungen der Anwendungsbestimmungen, die für bentazonhaltige Handelsprodukte gelten. Neben dem Verbot von Bentazon auf besonders durchlässigen Böden wie reinem, schwach schluffigem und schwach tonigem Sand, ist seitdem die Anwendung in Kartoffelkulturen und der generelle Einsatz vor dem 15. April eines Kalenderjahres untersagt.

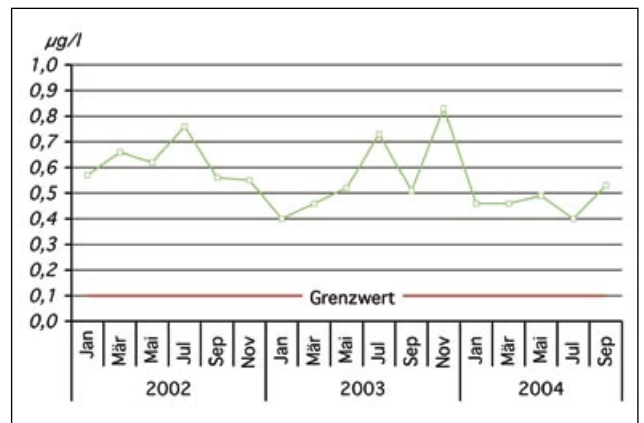


Abb. 6-6: Bentazon - Sonderprogramm von 16 zweimonatig untersuchten Messstellen: Entwicklung der mittleren Konzentrationen 2002 – 2004. Quelle: LFU 2005

Bentazon wurde im Jahr 2004 mit einer Nachweishäufigkeit von 2,3 % an 48 baden-württembergischen Landesmessstellen nachgewiesen. Der Warnwert von 0,08 µg/l wird an 1,2 % der Messstellen überschritten, der Grenzwert an 0,9 % (Abb. 6-1). Seit drei Jahren werden 16 mit Bentazon belastete Messstellen in einem Sonderprogramm untersucht. Die mittleren Konzentrationen sind auch 2004 immer noch hoch und liegen weit über dem Grenzwert der TrinkwV bzw. WRRL (Abb. 6-6). Dies zeigt, wie nachhaltig die Grundwasserverunreinigung mit dem Herbizid Bentazon ist.

Einige andere Insektizide und Herbizide, u. a. aus der Gruppe der Phenylharnstoffe, wurden im Jahr 2002 landesweit untersucht. Erfreulicherweise ist hier die Anzahl der positiven Befunde sehr gering. Die Herbizide Isoproturon, Chlortoluron, Linuron, Methabenzthiazuron, Sebutylazin, Trifluralin und Pendimethalin werden je an einer bis neun Messstellen mit nur zwei Grenzwertüberschreitungen gefunden. Die Insektizide Diazinon, Fenitrothion, Malathion, Disulfoton und Chlorpyrifos sind landesweit je an nur maximal drei Messstellen nachweisbar, ohne dass der Grenzwert überschritten wird. Dimethoat und Parathionethyl (E 605) werden an keiner Messstelle gefunden.

2003 wurden erstmals landesweite Untersuchungen zu „sehr alten“ - schon in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts eingesetzten - Organochlorpestiziden durchgeführt. Dabei handelt es sich meist um Insektizide, wie Lindan, Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) und Hexachlorbenzol. Für diese Wirkstoffe gilt in Deutschland ein vollständiges Anwendungsverbot, da sie im Verdacht stehen, Krebs auszulösen. Auch sind viele dieser Organochlorverbindun-

gen schon sehr lange verboten, wie beispielsweise DDT (o,p- bzw. p,p-DDT) seit 1972.

Diese Substanzen wurden nicht nur in der Landwirtschaft eingesetzt, sondern auch in der Nahrungsmittelindustrie, in Gärtnereien und im Privathaushalt zur Schädlingsbekämpfung und bei der Lebensmittelbevorratung. Lindan (gamma-Hexachlorcyclohexan) kam in der Vergangenheit auch beim Holzschutz von Rohhölzern und Möbeln zum Einsatz. Hexachlorbenzol (HCB) wurde auch in der Industrie eingesetzt, beispielsweise als Zwischenprodukt für andere chemische Produkte.

Erfreulicherweise werden nur an 15 von 2 087 untersuchten Messstellen positive Befunde festgestellt (0,7 %). Von 19 untersuchten Organochlorpestiziden werden neun Stoffe gefunden. Neben den o.g. Stoffen zählen z. B. auch Isodrin, Dieldrin und Heptachlor mit je einem positiven Befund dazu. Aldrin, Endrin, Heptachlorepoxyd und Quinocen wurden an keiner Messstelle gefunden. Im Teilmessnetz Landwirtschaft gibt es keinerlei positive Befunde, die meisten der insgesamt wenigen Befunde mit insgesamt nur einer Grenzwertüberschreitung bei HCB werden in den Teilmessnetzen Siedlungen und Industrie festgestellt. Das Auftreten auf Arealen ehemaliger und heutiger Chemiebetriebe mit bekannten Altlasten beruht offenbar weniger auf ehemaligen Anwendungen in der umgebenden Landwirtschaft, Garten und Haushalt, sondern auf Emissionen der Altlasten. So sind drei der vier Hexachlorbenzolfunde auf eine schon lange bekannte industrielle Hexachlorbenzol-Altlast zurückzuführen, die im Zusammenhang mit der Produktion von Chlorsilanen an diesem Standort steht.

2004 wurden fünf PSM-Wirkstoffe aus der Gruppe der Phenoxyalkancarbonsäuren landesweit untersucht. Die Wirkstoffe 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure (2,4-D), Dichlorprop (2,4-DP), Mecoprop (MCP), 4-Chlor-2-methylphenoxyessigsäure (MCPA) und Dicamba sind landesweit an je nur maximal fünf Messstellen nachweisbar (Abb. 6-1), an vier Messstellen aber in Konzentrationen über dem Grenzwert der TrinkwV.

Die langjährigen PSM-Auswertungen der LUBW zeigen die Langlebigkeit der PSM-Wirkstoffe und ihrer Abbauprodukte. Nur bei mit Anwendungsbeschränkungen oder Verboten versehenen PSM-Wirkstoffen ist mit der Zeit eine abnehmende Belastung feststellbar.

### 6.1.2.3 LEICHTFLÜCHTIGE HALOGENKOHLENWASSERSTOFFE, CHLOROFORM UND VINYLCHLORID

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 langlebigen, diffusen und lokalen Grundwasserbelastungen geführt. So wurde in der letzten landesweiten LHKW-Beprobungsrunde 2004 nach wie vor an etwa einem Drittel aller Landesmessstellen mindestens einer der beiden Stoffe Trichlorethen (TRI) und Tetrachlorethen (PER) gefunden, welche beide in die Summe LHKW nach TrinkwV 2001 eingehen (Abb. 6-7). An Messstellen im Bereich der Industrie werden sie an etwa zwei Dritteln aller Landesmessstellen gefunden, an den Landesmessstellen im Rohwassermessnetz der öffentlichen Wasserversorgung an etwa einem Viertel.

Als Einzelstoff wird am häufigsten Tetrachlorethen gefunden. Die Nachweishäufigkeit im Jahr 2004 beträgt 27 %.

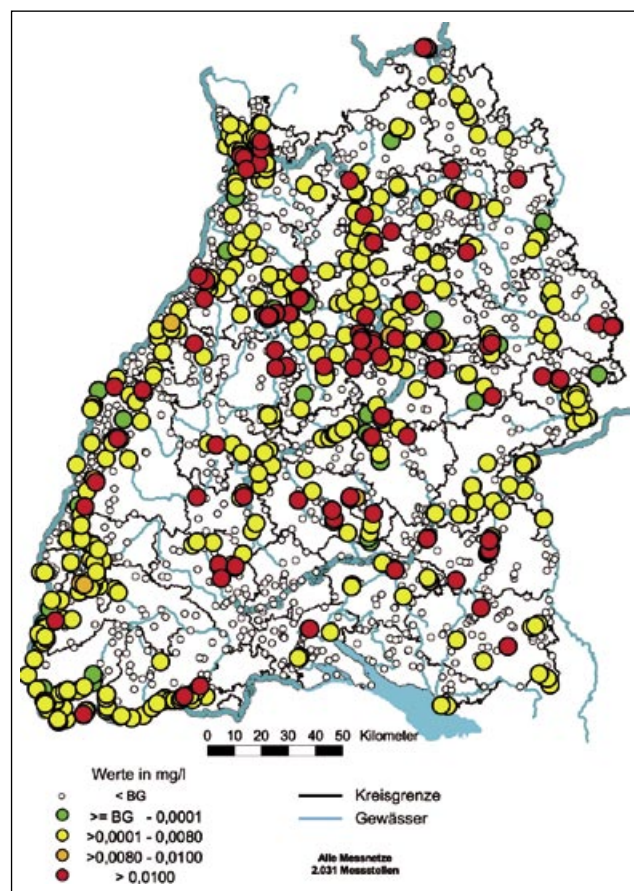


Abb. 6-7: Summe LHKW n. TrinkwV 2001 (TRI + PER): Verteilung der Konzentrationen 2004. Anm.: Orange bzw. rote Punkte sind Überschreitungen des Warnwerts bzw. des Grenzwerts. BG = Bestimmungsgrenze. Quelle: LFU 2005

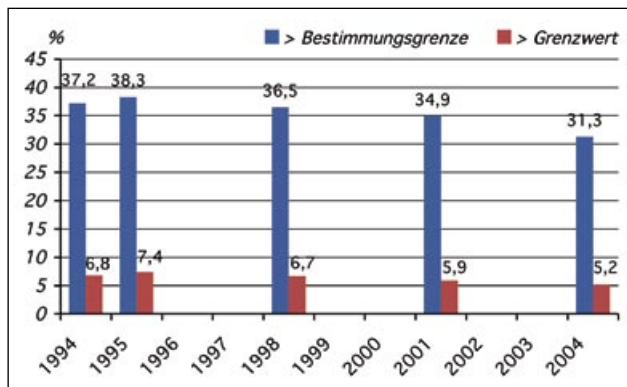


Abb. 6-8: Summe LHKW nach TrinkwV 2001: Entwicklung der positiven Befunde und Grenzwertüberschreitungen an 1 846 Landesmessstellen des Gesamtnetz, Beprobungszeitraum jeweils September bis Oktober. Quelle: LFU 2005

Die landesweite Grundwasserbelastung mit LHKW-Einzelstoffen - wie z. B. mit PER - ist seit 2001/2004 erstmals wieder höher als die Belastung mit anderen synthetischen Stoffen wie Atrazin oder EDTA.

Der Warnwert des Grundwasserüberwachungsprogrammes von 0,005 mg/l wurde 2004 bei Tetrachlorethen an 1,8 % der Landesmessstellen im Rohwassermessnetz der öffent-

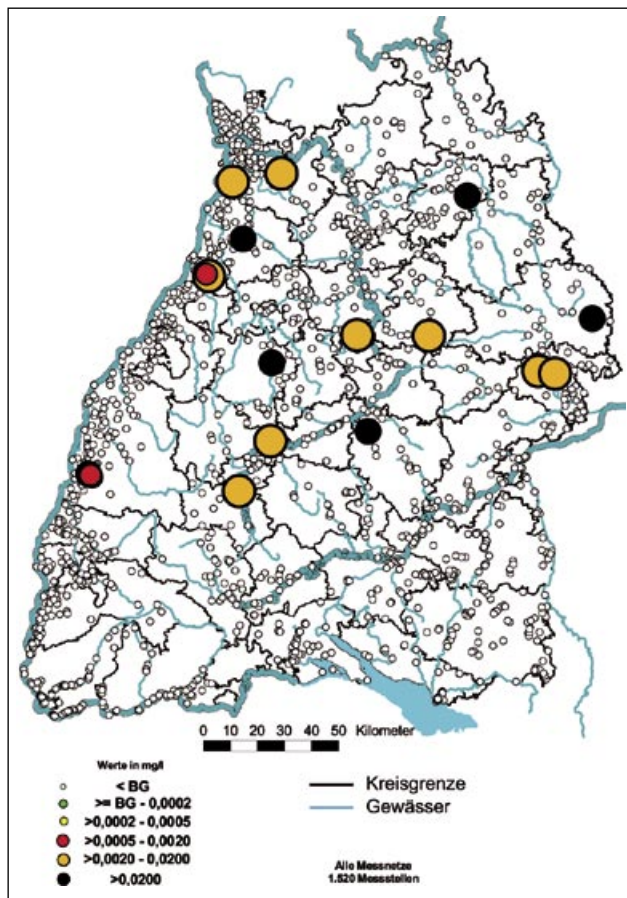


Abb. 6-9: Konzentrationsverteilung Chlorethen/Vinylchlorid (VC) 2004 Anm.: Rote, orange und schwarze Punkte sind Überschreitungen des Einzelstoff-Grenzwertes der TrinkwV 2001. BG = Bestimmungsgrenze. Quelle: LFU 2005

lichen Wasserversorgung und an 16,5 % der Messstellen in Industriebereichen überschritten.

Bei allen Landesmessstellen im Gesamtnetz lagen die Warn- und Grenzwertüberschreitungen bei der „Summe LHKW“ 2004 zwischen 6 und 5 %, bei Messstellen im Industriebereich zwischen 15 und 14 %. Jedoch ist die Anzahl der Grenzwertüberschreitungen bei den Landesmessstellen im Rohwassermessnetz der öffentlichen Wasserversorgung mit 0,5 % sehr gering.

Die zeitliche Entwicklung der LHKW-Belastung zeigt die Abbildung 6-8. Da bei Spurenstoffen die Betrachtung eines mittleren Wertes keine Aussagekraft hat, wurden jahresweise die Überschreitungshäufigkeiten des Grenzwertes von 0,01 mg/l sowie der Bestimmungsgrenzen berechnet. Es wurden nur die „konsistenten“ 1 846 Messstellen verwendet, von denen durchgängig Daten aus den Jahren 1994, 1995, 1998, 2001 und 2004 vorliegen. Bei den Konzentrationswerten über der Bestimmungsgrenze liegt der Anteil aller Messstellen 1994 und 1995 noch auf einem gleichen Niveau von 37 bis 38 %. 2001 nimmt er leicht auf etwa 35 % ab, um 2004 signifikant auf 31 % zu fallen. Gründe für die Konzentrationsabnahmen liegen in der Verdünnung durch neugebildetes Grundwasser und auch in mittlerweile greifenden Sanierungsmaßnahmen. Bei den konsistenten Messstellen mit Konzentrationswerten über dem Grenzwert von 0,01 mg/l sinkt das Belastungsniveau aus den Vorjahren in 2004 ebenfalls eindeutig. In 2004 weisen etwa 5 % aller konsistenten Messstellen Grenzwertüberschreitungen auf.

Diese erfreuliche Trendentwicklung im Gesamtnetz wird auch bei den Landesmessstellen im Rohwassermessnetz für die öffentliche Wasserversorgung und an Messstellen im Bereich der Industrie beobachtet.

Deutlich geringer als bei der Summe der LHKW ist die landesweite Belastung mit Chloroform (Trichlormethan) und 1,1,1-Trichlorethan mit nur einstelligen Nachweisquoten von je etwa 6 %. Nur an maximal sieben Messstellen wird der Warnwert überschritten.

Auch bei den neu in die TrinkwV 2001 aufgenommenen LHKW-Einzelstoffen 1,2-Dichlorethan und Chlorethen/Vinylchlorid (VC) gab es bei der Beprobung 2004 erfreuliche Ergebnisse. 1,2-Dichlorethan wird landesweit an keiner Messstelle nachgewiesen. Bei VC bestätigte sich die in der pilotmäßigen Sonderuntersuchung an ausgewählten 500 Messstellen im Jahr 2001 gefundene Nachweisquote von 3,5 % nicht. Bei der 2004 erstmals nahezu landesweit

durchgeführten Untersuchung an 1 520 Messstellen wird VC nur an 1,2 % aller Messstellen gefunden (Abb. 6-9). Die Fundorte sind identisch mit den Belastungsschwerpunkten der anderen LHKW. VC wird hier als Abbauprodukt der anderen LHKW unterhalb von bekannten Altblagerungen, Deponien, Industrieanlagen und Schadensfällen nachgewiesen, immer in hohen Konzentrationen über dem Grenzwert der TrinkwV 2001. Die früher befürchtete ubiquitäre Belastung der Umwelt bis ins Grundwasser hinein über die diffuse VC-Verbreitung über die Luft kann damit nicht bestätigt werden.

#### 6.1.2.4 MINERALÖLKOHLENWASSERSTOFFE UND POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOHLENWASSERSTOFFE

Zum zweiten Mal nach 2001 wurden 2004 alle Landesmessstellen auf Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) untersucht.

Die flächenhafte Belastung mit MKW - gemessen als Kohlenwasserstoff-Index - ist mit zwei Positiv-Befunden und einer Nachweisquote von 0,1 % sehr gering (Abb. 6-1: Kohlenwasserstoff-Index).

Von den 16 PAK-Einzelstoffen nach dem Untersuchungsprogramm der amerikanischen Umweltbehörde EPA wird an 238 Messstellen mindestens einer der Stoffe nachgewiesen. Dies entspricht einer hohen Nachweisquote von etwa 11 %. An 100 bzw. 79 Messstellen (7 % bzw. 4 %) wird Naphthalin bzw. Fluoranthen gefunden. Dabei wird der Wert der Geringfügigkeitsschwelle der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für Naphthalin nie überschritten.

Auch bei den anderen PAK liegen nur sehr wenige hohe Befunde vor, welche meist auf Emissionen aus Industrie, Siedlung und ehemaligen Deponien zurückzuführen sind. Für die Summe der vier in der TrinkwV 2001 festgelegten PAK-Einzelstoffe, treten keine Grenzwertüberschreitungen auf (Abb. 6-1). Beim Benzo(a)pyren wird der Grenzwert der TrinkwV an vier Messstellen überschritten. Bei Anwendung der ökotoxikologisch begründeten LAWA-Geringfügigkeitsschwellenwerte (LAWA-GFS) von 0,200 µg/l für die Summe PAK werden die Schwellenwerte an insgesamt 21 Messstellen überschritten (Abb. 6-10). Von den 16 PAK nach EPA gehen - außer Naphthalin - alle in diese Summe ein.

Das Gesamtbild der sehr vielen positiven Nachweise mit geringen Konzentrationen und den gleichzeitig wenigen Warn- und sehr wenigen Grenzwertüberschreitungen verweist auf ubiquitäre, diffuse PAK-Quellen.

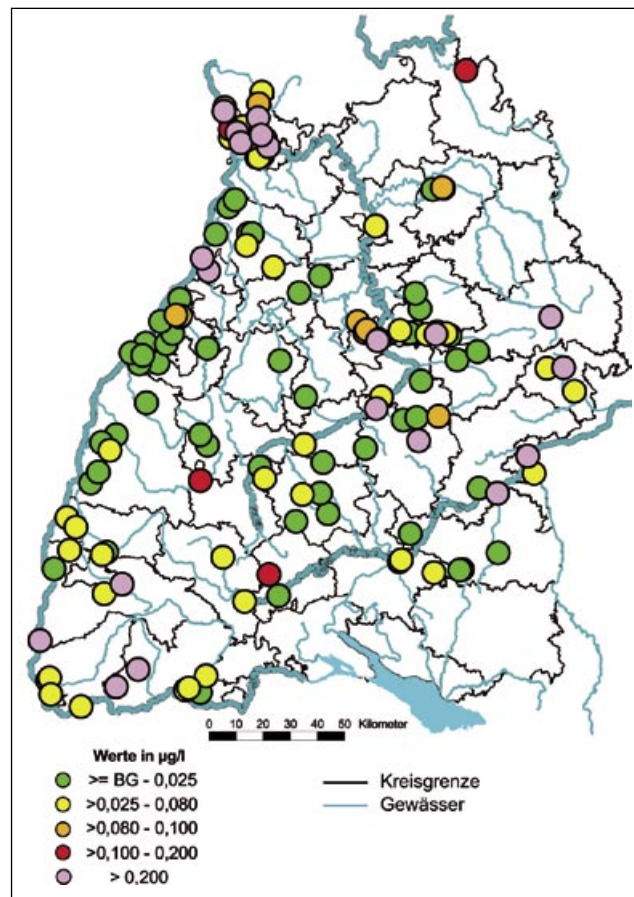


Abb. 6-10: Konzentrationsverteilung 2004 an Messstellen mit positiven Befunden bei der Summe von 15 PAK. Violett gekennzeichnete Messstellen kennzeichnen Überschreitungen des LAWA-Summen-Geringfügigkeitsschwellenwertes. Quelle: LFU 2005

Auch wenn Fluoranthen und die anderen nicht in der TrinkwV berücksichtigten PAK nach EPA oftmals als geringer toxisch eingestuft werden und teilweise natürlich vorkommen können, so sind doch viele der hier positiven und auch hohen Befunde auf anthropogene Verunreinigungen im Umkreis der Messstellen zurückzuführen.

#### 6.1.2.5 CYANIDE

Die landesweite Belastung mit Cyaniden ist gering. Nur an 20 Messstellen wird Cyanid gefunden, d.h. an 1 % aller Messstellen (Abb. 6-1). Zehnmal wird der Warnwert und viermal der Grenzwert überschritten. Die Fundorte sind als Schadensfälle bekannt.

#### 6.1.2.6 KOMPLEXBILDNER EDTA, DTPA UND NTA

Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA), Diethylenetriamin-pentaessigsäure (DTPA) und Nitrilotriessigsäure (NTA) sind organische Komplexbildner, die mit mehrwertigen Metall-Ionen Chelatkomplexe bilden. Diese Komplexe sind sehr stabil und gut wasserlöslich. Sie werden synthetisch hergestellt und kommen nicht in der Natur vor.

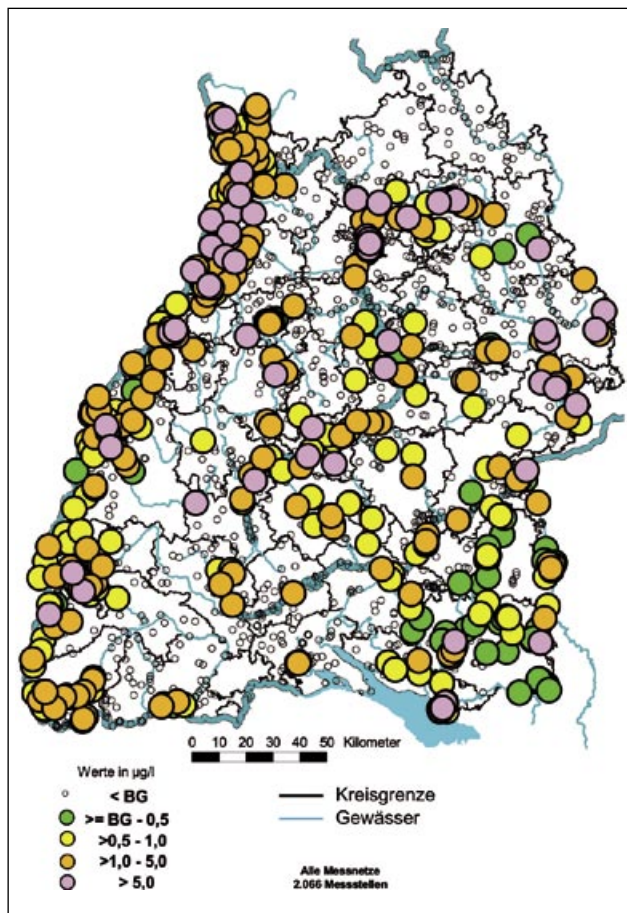


Abb. 6-11: EDTA: Konzentrationsverteilung 2004, Anm.: Orange und violette Punkte stellen Warnwertüberschreitungen dar. BG = Bestimmungsgrenze. Quelle: LFU 2005

Aufgrund ihrer Eigenschaften werden Komplexbildner in zahlreichen Branchen und Produkten eingesetzt, u. a. in der Metallverarbeitung, Papierindustrie, Lebensmittelindustrie (Zusatzstoff E 385), in Wasch- und Reinigungsmitteln, Kosmetika, Medizin sowie in pflanzenwachstumsfördernden und -schützenden Präparaten.

Die Komplexbildner werden zumeist mit dem gereinigten Abwasser aus Industrie und Privathaushalt an die Umwelt abgegeben, insbesondere an die für das geklärte Abwasser als Vorfluter fungierenden Oberflächengewässer. Über die Uferfiltration gelangen die Komplexbildner auch ins Grundwasser. Aufgrund ihres großen Einsatzspektrums und ihrer chemischen Stabilität kann man diese Stoffe heute in fast allen Umweltbereichen nachweisen.

Bei der zweiten flächendeckenden Untersuchung auf die industrie- und abwasserbürtigen synthetischen Komplexbildner EDTA, DTPA und NTA im Grundwasser wurde 2004 ein nach der letzten Beprobungskampagne 1998 nicht mehr überraschend hoher Anteil an positiven Befunden, insbesondere bei EDTA, festgestellt. Für diese Stoffe gibt es keine Grenzwerte in der Trinkwasserverordnung, jedoch

ist im Grundwasserüberwachungsprogramm jeweils ein Warnwert von 1,0 µg/l ausgewiesen.

Sowohl die Anzahl der Nachweise und der Warnwertüberschreitungen (Abb. 6-11) wie auch die maximalen Konzentrationen zeigen für EDTA ein sehr hohes Belastungsniveau und belegen einerseits die flächenhafte Verbreitung von EDTA wie auch die Existenz von lokal sehr hohen Konzentrationen in Belastungszentren.

EDTA findet sich 2004 mit einer sehr hohen Nachweisquote an nahezu jeder vierten Messstelle (23,8 %), mit Warnwertüberschreitungen an jeder achten Messstelle (13,4 %) (Abb. 6-1 und 6-11).

Jedoch liegt die Belastung mit Komplexbildnern 2004 weit unterhalb des Niveaus der letzten Bestandsaufnahme im Jahr 1998. Das derzeitige EDTA-Belastungsniveau ist gegenüber 1998 mit einer damaligen Nachweisquote von 38 % und einer Warnwertüberschreitungsquote von 23 % erheblich gesunken. Damit belegt EDTA 2004 nicht mehr den Spitzenplatz bei den Grundwasserbelastungen mit synthetischen grundwasserfremden Stoffen.

Entsprechend den vielseitigen Anwendungen in Industrie und Haushalt kommen als Ursachen sowohl direkte Emissionen von Industrie- und Gewerbebetrieben, als auch indirekte Emissionen über den Belastungspfad Industrie-/Haushalt - Abwasseranlagen - Kläranlagen - Flussuferfiltrat - Grundwasser in Frage.

Bei NTA ist die Situation 2004 vergleichsweise entspannter. NTA findet sich an 3,1 % aller Messstellen, mit Warnwertüberschreitungen an 1,4 % der Messstellen (Abb. 6-1 und 6-12). Gegenüber 1998 hat sich das Belastungsniveau etwa halbiert.

DTPA findet sich mit einer sehr geringen Nachweisquote von 0,4 % nur als lokales Problem an neun Messstellen zum Teil im Bereich der Zellstoff verarbeitenden Industrie. DTPA-Warnwertüberschreitungen liegen nur an zwei Messstellen vor.

Trotz der gegenüber 1998 gesunkenen Belastung mit Komplexbildnern, geben die nach wie vor hohen Konzentrationen von EDTA in der Fläche Anlass zur Sorge. Da es sich bei den Komplexbildnern um grundwasserfremde Stoffe handelt, ist auf jeden Fall weiterhin anzustreben, diese vom Grundwasser fernzuhalten. Die Situation ist langfristig nur zu verbessern, wenn der Verbrauch an EDTA durch abbaubare Ersatzstoffe verringert und die Sanierung defekter Kanalnetze weiterbetrieben wird.

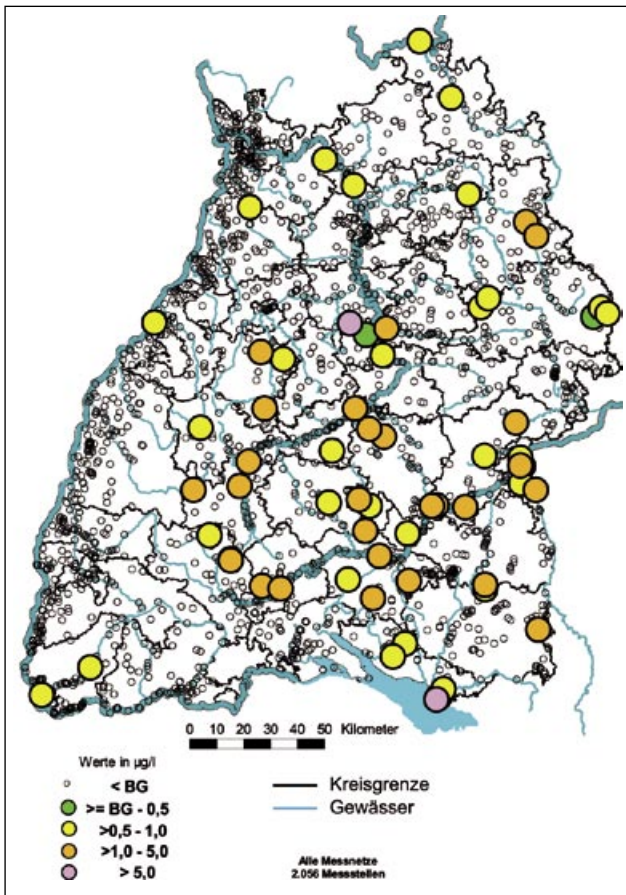


Abb. 6-12: NTA: Konzentrationsverteilung 2004. Anm.: Orange und violette Punkte stellen Warnwertüberschreitungen dar. BG = Bestimmungsgrenze. Quelle: LFU 2005

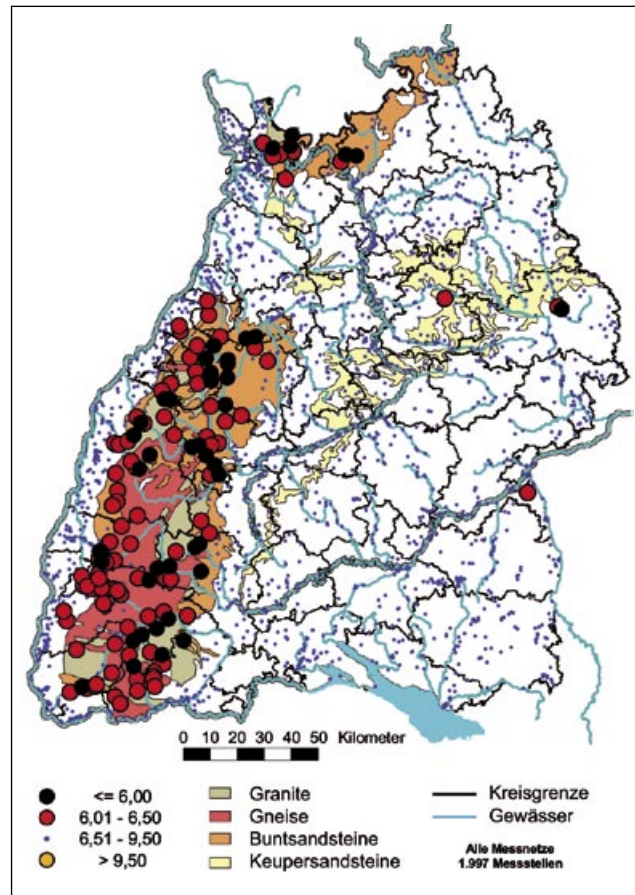


Abb. 6-13: Verteilung pH-Wert 2004 mit Verbreitung versauerungsgefährdeter Gesteinsregionen. Quelle: LUBW 2006

Ansatzpunkte und Vorschläge zu Emissionsvermeidungsmaßnahmen gibt die aktuelle baden-württembergische Komplexbildner-Stoffbilanzstudie aus dem Jahr 2003 [LFU & UVM 2003].

### 6.1.2.7 VERSAUERUNG

Bei der letzten Beprobung 2004 wurde der pH-Wert von 6,5 (unterer Grenzwert der Trinkwasserverordnung) an 6,8 % aller Landesmessstellen unterschritten (Abb. 6-1: pH-Wert). 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. 6-13). Das Minimum von pH 4,63 wurde an einer Quelle im mittleren Schwarzwald gemessen.

Insbesondere die gering mineralisierten Grundwässer sind natürlicherweise und durch den sauren Regen gefährdet. Die zeitliche Entwicklung von 72 durchgehend beprobten Messstellen mit niedrig mineralisierten Grundwässern im

Schwarzwald und Odenwald zeigt zwischen 2001 und 2004 eine Stagnation der Versauerungstendenz kurz über dem Grenzwert von 6,50 pH (Abb. 6-14).

Trotz rückläufiger Säuredepositionen aus Luft und Niederschlag sind weitere Maßnahmen zur Vermeidung von Luftbelastungen notwendig, insbesondere bei den Stickstoffoxidemissionen aus dem Kraftfahrzeugverkehr.

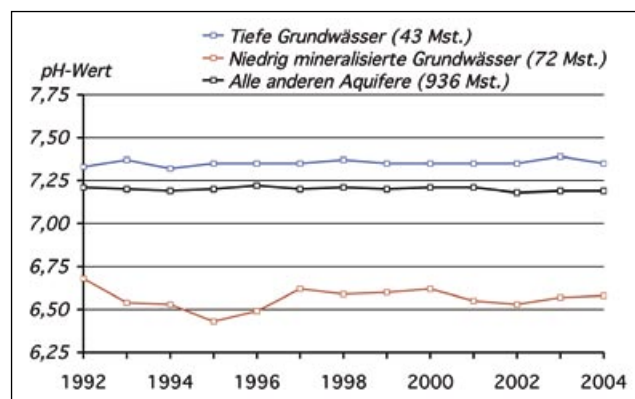


Abb. 6-14: Entwicklung der Mittelwerte für den pH-Wert für durchgehend jährlich beprobte Messstellengruppen, Beprobungszeitraum jeweils September bis Oktober/November. Quelle: LUBW 2006



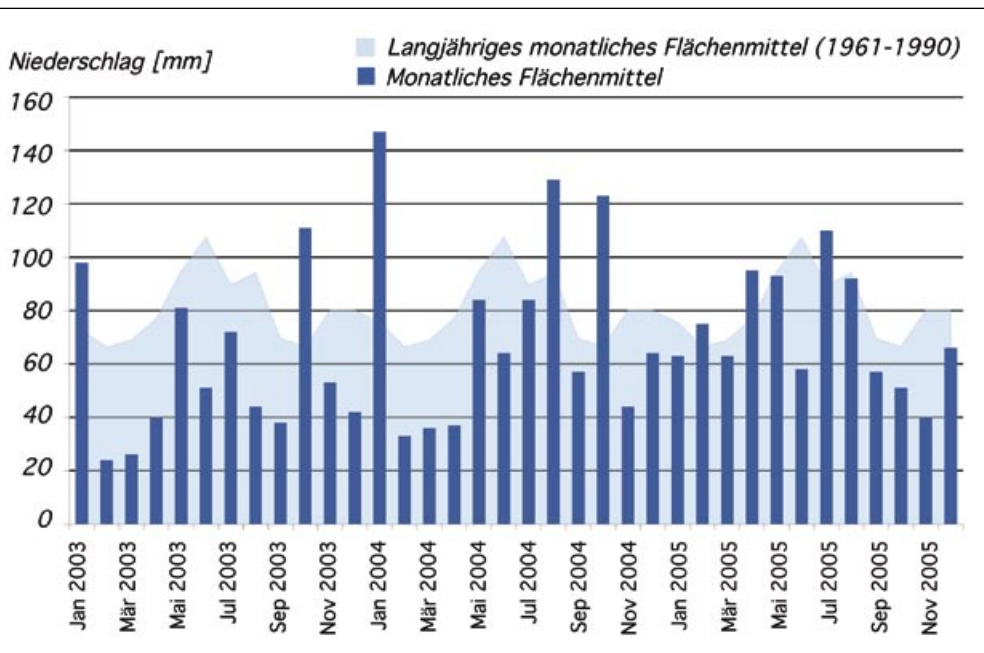


Abb. 6-15: Flächenmittel des Niederschlags für Baden-Württemberg. Quelle: Deutscher Wetterdienst, Stand: 2005

### 6.1.3 GRUNDWASSERVORRÄTE

Das quantitative Grundwassermessnetz von Baden und Württemberg, das seit 1913 betrieben wird, umfasst rund 2 500 Messstellen (Stand Januar 2006) und ist für die regionale Beobachtung der Grundwasserverhältnisse ausgelegt. Der landesweite Überblick über den Zustand und die aktuelle Entwicklung der quantitativen Grundwasserverhältnisse wird mit Hilfe von rund 200 Trendmessstellen sowie rund 20 ausgewählten Quellen gewährleistet. Diese für die Gesamtheit repräsentativen Messstellen wurden vor dem Hintergrund historischer Beobachtungsreihen nach

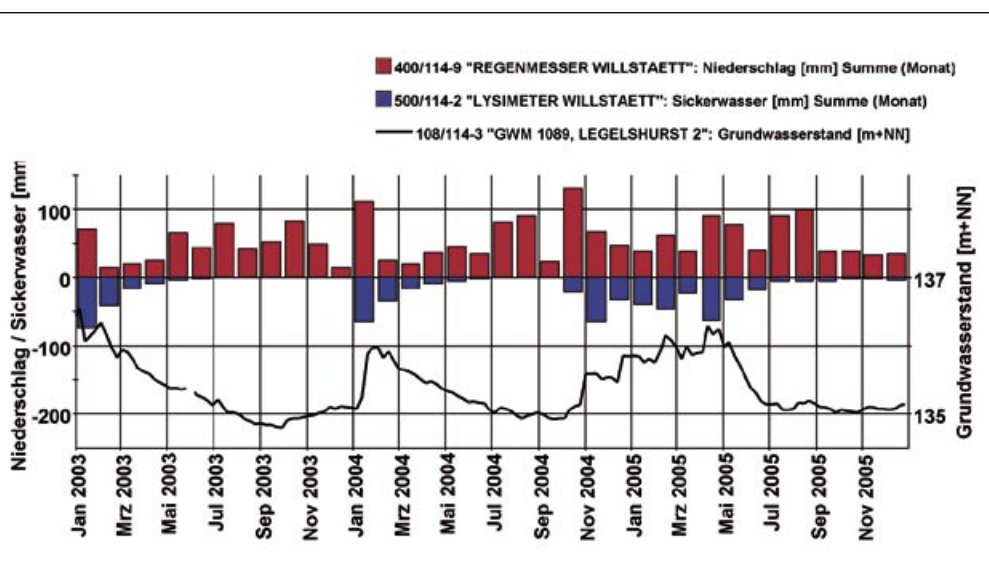


Abb. 6-16: Niederschlag, Versickerung und Grundwasserstand am Lysimeter Willstätt (mittlerer Oberrheingraben). Quelle: LfU, Stand 2005

mathematischen und hydrogeologischen Gesichtspunkten bestimmt. Grundwasserstandsmessstellen werden normalerweise einmal wöchentlich, Quellen in wöchentlichem bis monatlichem Turnus und Lysimetermessstellen mehrmals wöchentlich beobachtet.

#### 6.1.3.1 GRUNDWASSERNEUBILDUNG AUS NIEDERSCHLAG

Die Grundwasserneubildung aus Niederschlag ist eine der wichtigsten Komponenten des Grundwasserhaushalts. Sie hängt von der jahreszeitlichen, längerfristigen und auch räumlichen Schwankungsbreite der

Niederschlagsereignisse ab.

In den Jahren 2003 bis 2005 waren die landesweit mittleren Jahresniederschläge unterdurchschnittlich. Verglichen mit dem Referenzzeitraum 1961-1990 wurden im Jahr 2003 rund 70 % (deutlich unterdurchschnittlich), im Jahr 2004 jedoch 94 % (leicht unterdurchschnittlich) und im Jahr 2005 wiederum 90 % (unterdurchschnittlich) des langjährig mittleren Wertes erreicht (Abb. 6-15). Diese Flächenmittelwerte verbergen starke monatliche Kontraste, beispielsweise außergewöhnlich hohe Niederschläge im Januar und Oktober 2003 oder im Januar, August und Oktober 2004. Die geringen Niederschläge im Frühjahr 2003 führten zu einem frühen und nachhaltigen Nachlassen der Versickerung bis zum Jahresende 2003. Die

starke Versickerung im Januar 2004 füllte die Grundwasservorräte wieder sichtbar auf. Die starken Herbstniederschläge von 2004 konnten den nach der mehrmonatigen Trockenzeit leer gelaufenen Bodenwasserspeicher wieder auffüllen, wodurch die anschließenden Niederschläge meist signifikante Zunahmen der Sickerarten bewirkten. Das Jahresende 2005 zeichnete sich wiederum durch geringe Niederschläge und untypisch geringe Versickerungen aus. Diese Entwicklung wird am Lysimeter

Willstätt im Oberrheingraben deutlich (Abb. 6-16).

Die Niederschläge beeinflussen die Grundwasservorräte

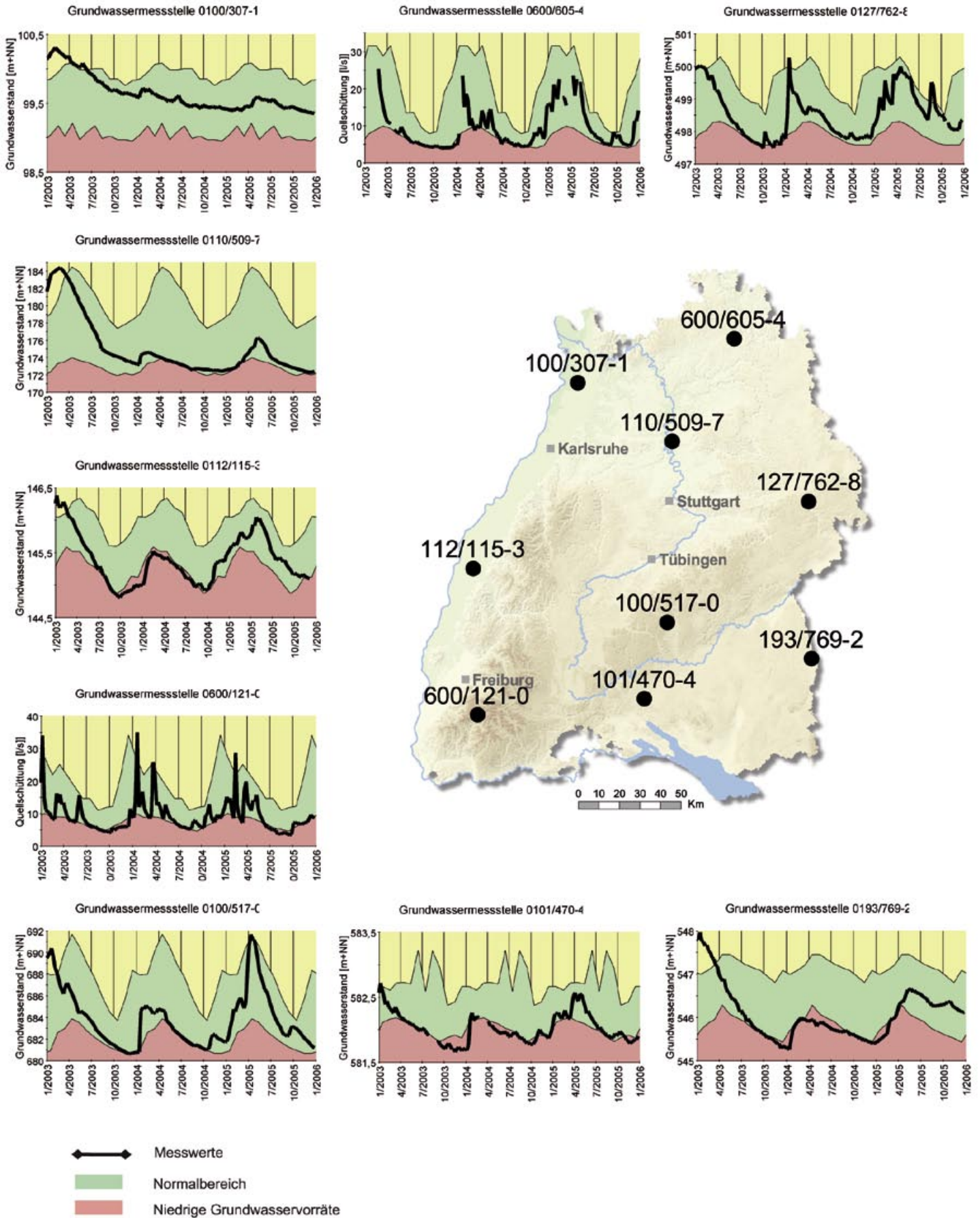


Abb. 6-17: Grundwasserstand/Quellschüttung und zugehörige Normalbereiche ausgewählter Grundwassermessstellen.  
Quelle: LfU, Stand 2005

wegen der Sickerzeiten durch die Deckschichten meist zeitverzögert. Die sogenannten Winterniederschläge in den Monaten Oktober bis April führen zu wesentlich größeren Grundwasserneubildungsraten als die Niederschläge der sechs Sommermonate. Im Sommer werden normalerweise eher zurückgehende Grundwasserstände beobachtet. Die Schüttung der Quellen mit hohen Anteilen an jungem Grundwasser nimmt besonders stark ab.

Eine weitere wichtige Komponente des Grundwasserhaushalts ist die Neubildung durch Gewässerinfiltration. Umgekehrt sind die oberirdischen Gewässer in Niederungsbereichen und Tälern im Allgemeinen Vorfluter für das Grundwasser. Im Oberrheingebiet infiltrieren die oberirdischen Gewässer außerhalb der Rheinniederung und innerhalb derselben fließt Grundwasser in die Gewässer hinein.

### 6.1.3.2 GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE

Die kurz- und langfristige Entwicklung der Grundwasservorräte wird an repräsentativen Messstellen (Trendmessstellen) beobachtet. Abbildung 6-17 stellt Ganglinien ausgewählter Messstellen dar. Der Normalbereich repräsentiert den statistisch zu erwartenden Schwankungsbereich von Grundwasserstand und Quellschüttung in einem Monat. Dieser Bereich wird durch das 90. Perzentil der Monatsmessungen aus 20 Beobachtungsjahren als Obergrenze und das 10. Perzentil als Untergrenze definiert. Diese Graphiken zeigen die jüngsten Beobachtungen des Grundwassergangs von 2003 bis 2005 im Vergleich zum Normalbereich und zu niedrigen Grundwasservorräten.

Die Grundwasserstände und Quellschüttungen waren im Jahr 2003 stark rückläufig, bewegten sich jedoch aufgrund des zu Jahresbeginn hohen Zustands auf noch leicht unterdurchschnittlichem Niveau. In den südöstlichen Landesteilen wurden bereichsweise langjährige Niedrigwasserstände erreicht.

Die quantitativen Grundwasserverhältnisse im Jahr 2004 waren im langjährigen Vergleich unterdurchschnittlich, wobei die Grundwasserstände ein noch niedrigeres Niveau als im Vorjahr erreichten. Starke Niederschläge im Januar und Oktober 2004 konnten keinen signifikanten Anstieg bewirken. Insbesondere im Illertal und in Teilen des mittleren Oberrheingrabens wurden dabei sehr niedrige Grundwasserstände beobachtet.

Die Grundwasserstände und Quellschüttungen konnten sich in der ersten Jahreshälfte von 2005 deutlich erholen und

bewegten sich im Mai auf langjährig mittlerem Niveau. Der darauf folgende naturgemäße Rückgang setzte sich wegen der ungünstigen Niederschlagsmengen allerdings bis zum Jahresende 2005 fort. Zum Jahresende 2005 wurden daher in einigen Landesteilen – insbesondere im Oberrheingrabens – niedrige Grundwasserverhältnisse beobachtet. Die mittleren Jahreswerte der Quellschüttungen spiegeln die unterdurchschnittliche Niederschlagsmenge wider.

Die kurzfristige Entwicklung (10 Jahre) ist landesweit stark differenziert aber insgesamt ausgeglichen, die mittelfristige (20 Jahre) ist überwiegend steigend und die langfristige (50 Jahre) ist ausgeglichen. Quellen weisen eine kurzfristig (10 Jahre) fallende Tendenz auf, bewegen sich mittel- und langfristig auf nahezu gleich bleibendem Niveau.

### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Berichte zum Grundwasserüberwachungsprogramm:

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/2695/>

Aktueller Entwicklungsstand der Grundwasserstände und Quellschüttungen:

<http://www2.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt4/guq/>

## 6.2 HYDROLOGIE DER OBERFLÄCHENGEWÄSSER

### 6.2.1 HYDROLOGISCHE KENNGRÖSSEN

Für die Planung und Bewertung von flussbaulichen Maßnahmen, Abflussregelungen, wasserwirtschaftlichen Nutzungen oder Renaturierungen sind sowohl die Kenntnisse über Hochwasser (MHQ, HQT), als auch über Mittlere Abflüsse (MQ) und Mittlere Niedrigwasserabflüsse (MNQ, NQT) wichtig. Letztere werden zum Beispiel zur Ermittlung von Mindestabflüssen bei Ausleitungen gemäß der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) herangezogen. Hochwasserabflüsse werden für die aktuelle Bearbeitung der Hochwassergefahrenkarten Baden-Württemberg oder zur Bemessung von Hochwasserschutzanlagen wie z. B. Hochwasserrückhaltebecken dringend benötigt. Wichtig ist es also, landesweite Abflusskennwerte bereitzustellen. Dies sollte sowohl für die Pegel-Einzugsgebiete als auch für die Basis- und Sammelgebiete des gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses Baden-Württemberg, die nicht durch Messstellen repräsentiert sind, erfolgen.

Grundlage für die Einzugsgebiete der Pegel und anderen Gewässermessstellen ist das digitale gewässerkundliche Flä-

chenverzeichnis Baden-Württemberg mit rund 6 000 Basis- und Sammelgebietsflächen. An 421 Pegeln der Wasserwirtschaftsverwaltung Baden-Württembergs, der Wasser- und Schifffahrtsdirektionen von Rhein, Neckar und Main sowie grenznaher bayerischer und schweizerischer Pegel wurden die HQ-, MQ- und NQ-Kennwerte analysiert. Die Zeitreihen dieser Pegel weisen eine ausreichende Länge auf und wurden – soweit möglich – von anthropogenen Beeinflussungen und u. a. von Karsteinflüssen bereinigt.

Auf der Grundlage der Pegel-Einzugsgebiete wurden Regionalisierungsmodelle für die jeweiligen Abfluss-Kennwerte entwickelt. Sie lassen sich aus Gebietskenngrößen wie Einzugsgebietsfläche, Bebauungs- und Waldanteil, mittlerem jährlichem Niederschlag sowie regionalisiertem Landschaftsfaktor ableiten. Die Regionalisierungsmodelle können auf die Basis- und Sammelgebiete des o. g. gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses Baden-Württemberg angewendet werden. Somit können da, wo Messstellen fehlen, entsprechende Abflussdaten bereitgestellt werden. Zusätzlich wurden für 190 Flüsse HQ-, MQ- und MNQ-Abfluss-Längsschnitte bearbeitet.

2005 wurden die „Abflusskennwerte in Baden-Württemberg“ auf CD-ROM in der LfU-Reihe „Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie Nr. 94“ veröffentlicht. Die CD-ROM beruht auf dem digitalen gewässerkundlichen Flächenverzeichnis Baden-Württemberg (Stand Januar 2005). Dieses wurde bis Oktober 2005 erheblich verdichtet. Die Ende 2006 erscheinende Neubearbeitung der Hoch- und Niedrigwasserregionalisierungen beruht auf dem ergänzten Flächenverzeichnis und enthält zusätzlich die überarbeiteten Niedrigwasserabfluss-Wahrscheinlichkeiten sowie die Niedrigwasser-Dauern in Baden-Württemberg.

### 6.2.2 NIEDRIGWASSEREREIGNISSE

Außergewöhnliche Witterungsverhältnisse waren im Sommer 2003 Ursache für extreme Niedrigwasserabflüsse. Geringe Niederschläge von April bis September und gleichzeitig überdurchschnittlich hohe Lufttemperaturen führten zu extremer Trockenheit. Die Ergebnisse der Wasserhaushaltsmodelle (vgl. Kap. 6.2.3) ermöglichen während Niedrigwasserphasen auch präzise und verlässliche Niedrigwasservorhersagen und können als

Entscheidungshilfe für das Niedrigwassermanagement von Behörden, Industrie, Gewerbe, Energieversorgung sowie Landwirtschaft genutzt werden.

Dazu sind die bei geringen Abflüssen relevanten hydrologischen Besonderheiten des jeweiligen Einzugsgebiets in die Modelle integriert. Wasserüberleitungen aus benachbarten Einzugsgebieten (z. B. Bodensee-Fernwasserversorgung) sowie Wasserüberleitungen zwischen einzelnen Teilgebieten werden in vereinfachter Form berücksichtigt. Die Stauhaltungen des Neckars beispielsweise sind über gesonderte Berechnungsmodule im Modell eingearbeitet, um deren hydraulischen Eigenschaften sowohl bei Wellenlaufzeiten als auch bei Laufzeiten aufgrund mittlerer Fließgeschwindigkeiten zu erfassen. Die zum Teil sehr kurzfristigen Abflussschwankungen aufgrund von Schleusungsvorgängen bzw. der Regelung von Wasserkraftwerken können im Modell jedoch nicht erfasst werden.

Abbildung 6-18 zeigt eine Vorhersage vom August 2003 für ausgewählte Neckarpegel. Für die fünf dargestellten Neckarpegel wurden plausible Vorhersagen für die ersten vier Tage berechnet. Die durch Niederschlag hervorgerufene Abflusserhöhung zum Ende des Vorhersagezeitraums wird rechtzeitig durch das Modell angekündigt, wobei das Ereignis quantitativ aber nicht präzise erfasst wird. Ursache dafür ist maßgeblich die Ungenauigkeit der verwendeten mittelfristigen Niederschlagsvorhersage.

Im Herbst 2005 zeichnete sich ein unterdurchschnittlicher Seewasserstand am Bodensee ab. Um die Bodenseeanlieger rechtzeitig auf einen möglichen historischen Tiefstand im Winter 2005/2006 einzustellen, berechnet die Hoch-

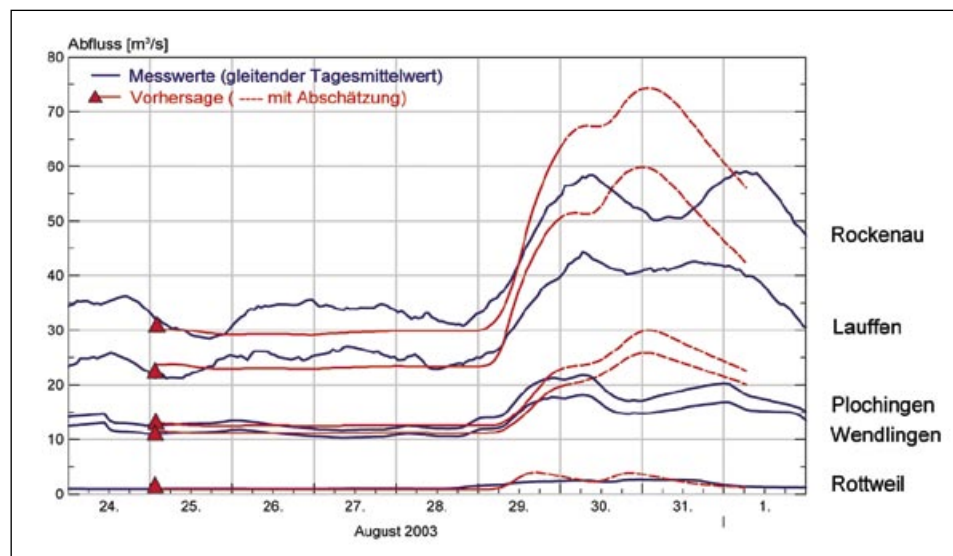


Abb. 6-18: Niedrigwasservorhersagen für ausgewählte Neckarpegel, Beispiel August 2003. Quelle: LUBW 2006

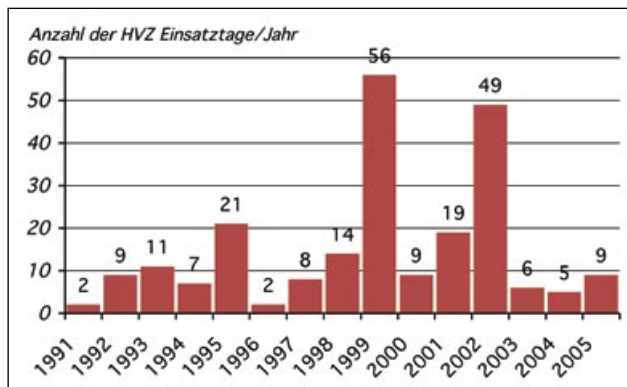


Abb. 6-19: Statistik über die HVZ Einsatztage pro Jahr.  
Quelle: LUBW 2006

#### Informationswege der HVZ

##### Internet:

[www.hvz.baden-wuerttemberg.de](http://www.hvz.baden-wuerttemberg.de)  
[www.bodensee-hochwasser.info](http://www.bodensee-hochwasser.info)

**Videotext:** SW3, Tafel 800 bis 809

##### Automatische Telefonansage:

mit stündlich aktualisierten Wasserständen von ausgewählten Pegeln:

- 0721-9804-61 (Oberrhein)
- 0721-9804-62 (Unterer Neckar)
- 0721-9804-63 (Oberer Neckar)
- 0721-9804-64 (Donau)
- 0721-9804-65 (Main und Tauber)

##### Mobilfunk-WAP (Handy):

[wap.hvz.baden-wuerttemberg.de](http://wap.hvz.baden-wuerttemberg.de)

**Rundfunk:** SWR 1, SWR 4

**Telefon HVZ:** 0721-9804-0

Abb. 6-20: Informationswege der HVZ.

wasser-Vorhersage-Zentrale Baden-Württemberg (HVZ) seither gemeinsam mit den Hochwasserzentralen des österreichischen Bundeslands Vorarlberg und der Schweiz verschiedene Szenarien zur weiteren Entwicklung der Wasserstands und veröffentlicht diese auf der gemeinsamen Bodenseeseite im Internet (Abb. 6-20).

Während des Hitzesommers 2003 wurde erkannt, dass neben der Vorhersage des Abflusses auch Vorhersagen der Wassertemperatur ein nützliches Werkzeug wären, um z. B. Wasserentnahmen zu reglementieren oder ökologische Fragestellungen zu beantworten. Deshalb wurde das Wasserhaushaltsmodell Neckar um die Vorhersage der Wassertemperatur erweitert. Seit 2004 werden damit bei der HVZ im Testbetrieb täglich sieben Tage umfassende Vorhersagen der Wassertemperatur im Neckar berechnet.

### 6.2.3 HOCHWASSERVORHERSAGE

Die Hochwasser-Vorhersage-Zentrale Baden-Württemberg (HVZ) wurde als Konsequenz des Donauhochwassers im Februar 1990 in der damaligen Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg im Jahre 1991 eingerichtet. Sie war seither bei 51 Hochwasserereignissen insgesamt rund 230 Tage im Hochwassereinsatz (Abb. 6-19).

Aufgabe der HVZ ist es, aktuelle Hochwasserinformationen für Baden-Württemberg zu bündeln und den zuständigen Verwaltungsstellen, der betroffenen Bevölkerung sowie den Medien zugänglich zu machen. Die Hochwasserdaten werden im Bedarfsfall stündlich aktualisiert und graphisch aufbereitet auf zahlreichen Informationswegen veröffentlicht (Abb. 6-20).

Um dieser Aufgabe gerecht zu werden, wurde die HVZ im Hinblick auf die operationell verfügbaren Messdaten, die hydrologischen Vorhersagemodelle, Rechneraufrüstungen, Datenabrufsystemen, Software zur Datenverwaltung, graphischen Darstellung und Bestückung unterschiedlichster Informationswege kontinuierlich ausgebaut.

Während die HVZ im ersten Jahr ihres Bestehens nur für den Pegel Heidelberg/Neckar sowie die beiden Rheinpegel Maxau und Worms Vorhersagen berechnen konnte, liegt die Anzahl der Vorhersagepegel im Jahr 2006 bereits bei 50 Pegeln.

Entsprechend der gestiegenen Anzahl von Vorhersagepegeln hat auch die Anzahl online-abrufbarer Messstationen zugenommen, die als Eingangsdaten für die hydrologischen Vorhersagemodelle genutzt werden:

- Im Jahre 1991 konnte die HVZ rund 30 Wasserstandspegel in Baden-Württemberg stündlich abrufen.
- Im Jahre 1994 erfasste die HVZ bereits über 70 online abrufbare Wasserstandspegel.
- Im Jahre 2006 werden bei Hochwasser rund 210 Wasserstandspegel stündlich oder bei Bedarf sogar halbstündlich abgerufen.

Doch Wasserstands- und Abflussdaten allein reichen für eine zuverlässige Hochwasservorhersage nicht aus. Insbesondere in Flussgebieten mit raschen Hochwasseranstiegen sind aktuelle Niederschlagsdaten eine wesentliche Voraussetzung für die Hochwasservorhersage. Daher wurde im Jahr 1996 in Baden-Württemberg das bundesweit erste flächendeckende Messnetz mit online-abrufbaren Niederschlagsstationen in Betrieb genommen. In diesem

vom Deutschen Wetterdienst (DWD) und dem Land gemeinsam betriebenen Ombrometermessnetz werden an rund 190 Stationen elektronische Niederschlagsmessungen vorgenommen und im Falle eines Hochwassers stündlich aktuell an die HVZ übermittelt. Hinzu kommen rund 50 weitere Ombrometer aus dem Luftmessnetz des Landes sowie rund 160 Stationen der Firma Meteomedia. Diese Niederschlagsmessungen sowie die numerischen Niederschlagsvorhersagen des DWD und seit 2004 auch Vorhersagen der Firma Meteomedia bilden die meteorologischen Eingangsdaten der HVZ-Vorhersagemodelle.

Zusätzlich zu den Niederschlagsvorhersagen werden in den Wintermonaten DWD-Vorhersagen für die Schneeschmelze (aus dem Modell SNOW3) als Input für die Hochwasservorhersagemodelle genutzt, da Winterhochwasser oft wesentlich von der Schneeschmelze beeinflusst sind.

Einen Meilenstein beim Ausbau des Informationsangebots der HVZ stellt die Verwendung von Wasserhaushaltsmodellen (WHM), flächendeckend für Baden-Württemberg im operationellen Betrieb dar. In Wasserhaushaltsmodellen werden alle Komponenten des Wasserkreislaufs berücksichtigt, so werden z. B. auch die Verdunstung, die Schneeschmelze, die Bodenwasserspeicherung und der Grundwasserabfluss täglich aktuell mitgerechnet. Beispielhaft ist in Abbildung 6-21 eine mit dem Wasserhaushaltsmodell flächendeckend für Baden-Württemberg berechnete Schneedecke dargestellt.

Die Vorhersagen der Wasserhaushaltsmodelle, die in Niedrig- und Mittelwassersituationen verwendet werden, umfassen einen Zeitraum von sieben Tagen und werden täglich für rund 90 Pegel bereitgestellt. Eingangsdaten für die Berechnungen sind aktuelle Messdaten für Wasserstand, Abfluss, Niederschlag, Lufttemperatur, Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit, Luftfeuchte und Luftdruck. Alle verwendeten Messdaten sind ungeprüfte Rohdaten aus dem Pegelmessnetz, dem Luftmessnetz und dem Ombrometernetz der LUBW und des DWD sowie aus dem Messnetz von Meteomedia. Als meteorologische Eingangsdaten nach dem Vorhersagezeitpunkt werden die numerischen Kurz- und Mittelfristvorhersagen des DWD (aus dem Lokal-Modell für die ersten 72 Stunden und aus dem Global-Modell für den vierten bis siebten Tag) sowie alternativ Vorhersagen von

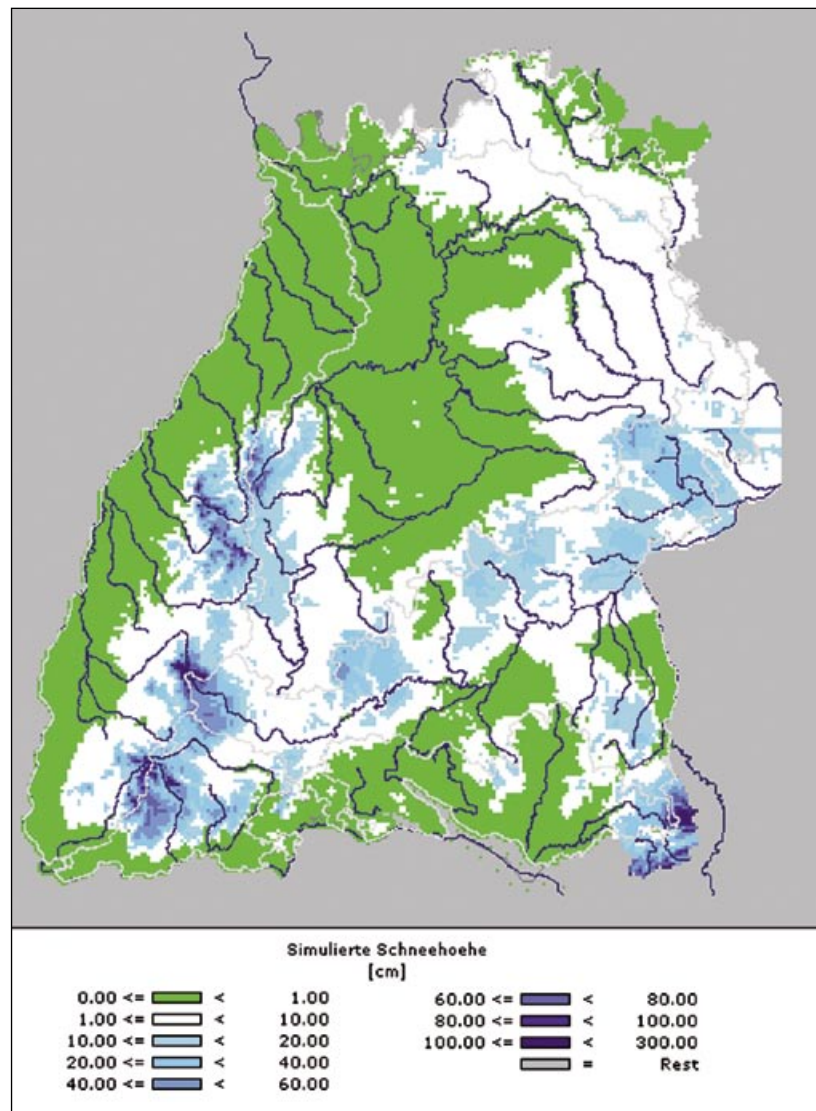


Abb. 6-21: Mit dem Wasserhaushaltsmodell simulierte Schneehöhe. Quelle: LUBW 2006

Meteomedia verwendet.

Die mit dem WHM berechneten Wasserstandsanstiege geben bereits mehrere Tage im Voraus Hinweise auf die

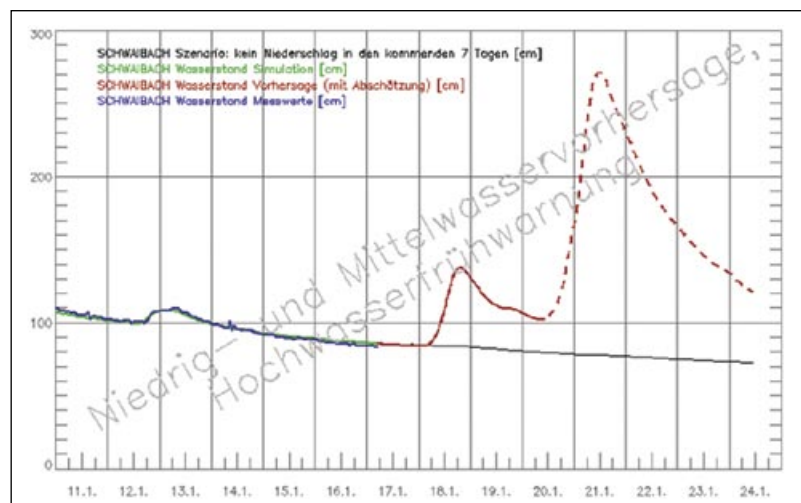


Abb. 6-22: Beispiel für eine pegelbezogene Hochwasserfrühwarnung. Quelle: LUBW 2006

Ausbildung möglicher Hochwasser und dienen somit einer pegelbezogenen Hochwasserfrühwarnung. Abbildung 6-22 zeigt beispielhaft, wie im Januar 2005 mittels der WHM Berechnungen am Pegel Schwaibach/Kinzig frühzeitig vor einem Hochwasserereignis gewarnt werden konnte.

Derzeit wird bei der HVZ ein Hochwasserfrühwarnsystem entwickelt, in dem die Ergebnisse der pegelbezogenen Hochwasserfrühwarnung unter Nutzung radargemessener Niederschläge mit der Hochwasserregionalisierung kombiniert werden. Ergebnis sind Hochwasserfrühwarnkarten für kleine Einzugsgebiete unter 500 km<sup>2</sup> Flächengröße, die voraussichtlich ab 2007 täglich aktuell im Internet bereitgestellt werden.

#### 6.2.4 PEGELMESSNETZ

Das vom Land Baden-Württemberg betriebene Pegelmessnetz umfasst 300 Messstellen an Fließgewässern und Seen. An den Pegeln werden kontinuierlich Wasserstandsdaten über automatisierte Mess- und Erfassungsgeräte erhoben, die in Abflusswerte umgerechnet werden. Wasserstands- und Abflussdaten werden unter anderem als Grunddaten für wasserwirtschaftliche Planungen und hydrologische Untersuchungen verwendet. Im operationellen Einsatz dienen die stündlich abgerufenen Pegeldaten der Hochwasserwarnung sowie der Niedrig- und Hochwasservorhersage. Der Betrieb der Pegel wird in Baden-Württemberg von den Regierungspräsidien sichergestellt. Die Aufgaben der LUBW sind die Konzeption und Koordinierung des Messnetzes, die Verantwortung für die Mess- und Gerätetechnik und die eingesetzten Fachprogramme zur Verwaltung, Prüfung und Auswertung von Daten sowie die Qualitätssicherung der erhobenen Daten.

Die Erfahrungen der verheerenden Hochwässer an Oder und Elbe haben gezeigt, dass wirksame und zielgerichtete Maßnahmen zur Schadensminderung während eines Hochwassers zuverlässige Informationen über das aktuelle Hochwassergeschehen und die erwartete weitere Entwicklung voraussetzen. In Baden-Württemberg wurden daher in den letzten Jahren große Anstrengungen im Rahmen des Projektes „Optimierung der Ausfallsicherheit des Hochwasserpegelmessnetzes“ unternommen, die Betriebs- und Ausfallsicherheit der an den Pegeln installierten Mess- und Übertragungseinrichtungen zu erhöhen. Als Richtgröße diente dabei ein Hochwasserereignis mit der Jährlichkeit von 500. So soll sichergestellt werden, dass auch während extremer Hochwasserereignisse Wasserstands- und Abfluss-

daten für die Hochwasserwarnung und -vorhersage bereit stehen. Seit 2003 wurden rund 180 Pegel mit redundanter Mess- und Übertragungstechnik und unterbrechungsfreier Stromversorgung ausgestattet. Darüber hinaus wurden hydraulische Modellrechnungen zur Absicherung der Wasserstands-Abfluss-Beziehung im Hochwasserbereich durchgeführt, um die erhobenen Wasserstandsdaten in zuverlässige Abflusswerte umrechnen zu können.

### 6.3 FLIESSGEWÄSSERBESCHAFFENHEIT

#### 6.3.1 ERSTEINSCHÄTZUNG DES GEWÄSSERZUSTANDES NACH DER WASSERRAHMENRICHTLINIE

Die Mitgliedstaaten der EU haben als einen der ersten Schritte zur Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, RL 2000/60/EG) eine Erhebung und Überprüfung der Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten auf den Zustand der Oberflächengewässer durchgeführt.

In Baden-Württemberg erfolgte die Ersteinschätzung gemäß der in der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) gemeinsam entwickelten Vorgehensweise, die dem hiesigen Daten- und Kenntnisstand angepasst wurde [LAWA 2003, LFU 2005a]. Diese Analyse dient als Grundlage zur zielgerichteten Aufstellung zukünftiger Überwachungsprogramme und bei der Erarbeitung von Bewirtschaftungsplänen und Maßnahmenprogrammen.

Für die geforderte Ersteinschätzung standen in Baden-Württemberg aussagekräftige Daten in ausreichender Dichte und Qualität aus den Programmen zur Fließgewässerüberwachung zur Verfügung. Datenlücken wurden durch Hinzuziehung von Emissions- und Landnutzungsdaten, in wenigen Fällen auch durch Interpolation der Immissionsdaten bzw. durch Schätzung geschlossen oder Daten mit Hilfe von Gütemodellen ermittelt. Die Ersteinschätzung beruht auf den bis Ende 2003 verfügbaren Daten.

Fasst man die Ergebnisse des ökologischen und des chemischen Zustands der Gewässer zusammen, ergab die Ersteinschätzung in Baden-Württemberg, dass die Ziele der Wasserrahmenrichtlinie wahrscheinlich bei 34 % der Wasserkörper nicht erreicht werden. Bei den restlichen 66 % der Wasserkörper ist die Zielerreichung auf Grundlage des derzeitigen Kenntnisstandes nicht eindeutig zu beurteilen. Worauf der unbefriedigende Zustand zurückzuführen ist bzw. wo noch Kenntnislücken bestehen, zeigt die nachfolgende Komponentenanalyse in Bezug auf den ökologischen sowie den chemischen Zustand.

### 6.3.1.1 ÖKOLOGISCHER ZUSTAND

Die von der WRRL geforderten gewässertypspezifischen und leitbildbezogenen Bewertungsmethoden für den ökologischen Zustand, die neben den bereits langjährig in der Fließgewässerüberwachung untersuchten Kleintieren (Makrozoobenthos) zusätzlich auch Wasserpflanzen (Makrophyten, Phytobenthos, Phytoplankton) und Fische umfassen, mussten erst entwickelt werden und stehen voraussichtlich Ende 2006 zur Verfügung. Der ökologische Gewässerzustand wurde im Rahmen der Ersteinschätzung daher hilfweise anhand der folgenden vier ökologischen Qualitätskomponentengruppen (ÖKG I-IV) abgeschätzt:

- „biologische Gewässergüte“ und „Gewässerstruktur“, die zusammen bewertet werden als Maß für die Besiedlung mit Makrozoen und für die Sauerstoffverhältnisse (ÖKG I),
- allgemeine chemisch-physikalische Qualitätskomponenten als Maß für die Wasserbeschaffenheit (ÖKG II),
- flussgebietspezifische Schadstoffe als Maß für die Belastung durch gefährliche Stoffe, die nicht als prioritär eingestuft sind, jedoch im Flussgebiet den ökologischen Zustand beeinträchtigen (ÖKG III),
- Wanderungshindernisse als wichtiger Aspekt für die Fischbesiedlung (ÖKG IV).

Die Gesamtbeurteilung des ökologischen Zustandes erfolgt nach dem Worst-Case-Ansatz, d. h. die jeweils schlechteste Einstufung der vier Bewertungsgruppen ist maßgebend für die ökologische Bewertung.

Der gute ökologische Zustand gemäß WRRL wird wahrscheinlich bei 32 % der Wasserkörper nicht erreicht. Im Folgenden werden die vier ökologischen Qualitätskomponentengruppen differenziert betrachtet.

#### BIOLOGISCHE GEWÄSSERGÜTE UND DIE STRUKTUR DER GEWÄSSER

Die biologische Gewässergüte und die Struktur der Gewässer (ÖKG I) prägen maßgebend die Lebensbedingungen für die Kleinlebewesen des Gewässergrundes (Makrozoobenthos). Sie wurden zusammen mit hydrologischen Komponenten für die Ersteinschätzung entsprechend den in der Tabelle 6-1 aufgeführten Kriterien gemeinsam (summarisch) bewertet.

In rund 30 % der Wasserkörper werden diese Ziele voraussichtlich nicht erreicht. In weiteren 48 % der Wasserkörper ist die Zielerreichung unklar (Stand 2004).

Tab. 6-1: Bewertungskriterien für ÖKG I. Quelle: LFU 2005

Komponente	Ziel verfehlt	Zielerreichung unklar
<b>Biologische Gewässergüte:</b> a) > LAWA II b) > LAWA II-III unabhängig von Längenanteil		
<b>Gewässerstruktur</b> a) > Klasse 5 b) Klasse 5, wenn bestimmte Einzelkomponenten mit 6 oder 7 beurteilt wurden	Streckenanteil in der Summe > 70 %	Streckenanteil in der Summe bei 30 bis 70 %
<b>Mindestabfluss</b> < 1/3 MNQ		
<b>Brauchwasserentnahme</b> > 1/3 MNQ		
<b>Rückstau</b> > 1 km		

Unbefriedigend ist insbesondere der Zustand von Rhein, Neckar und Donau, den südlichen Donauzuflüssen, der Wasserkörper des Oberrheingrabens sowie die der Eger und Brenz (Abb. 6-23).

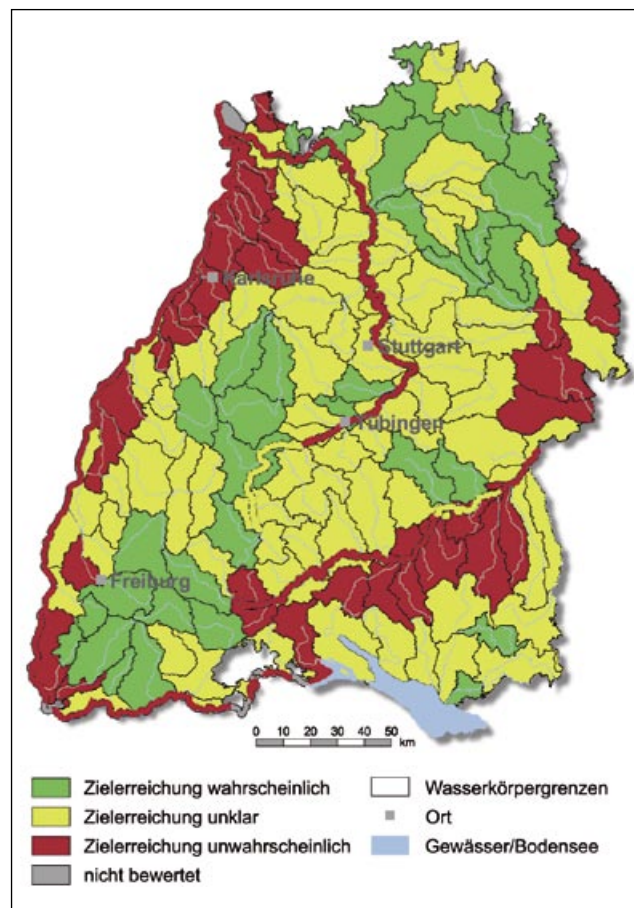


Abb. 6-23: Biologische Gewässergüte und Gewässerstruktur (ÖKG I). Quelle: LUBW 2006



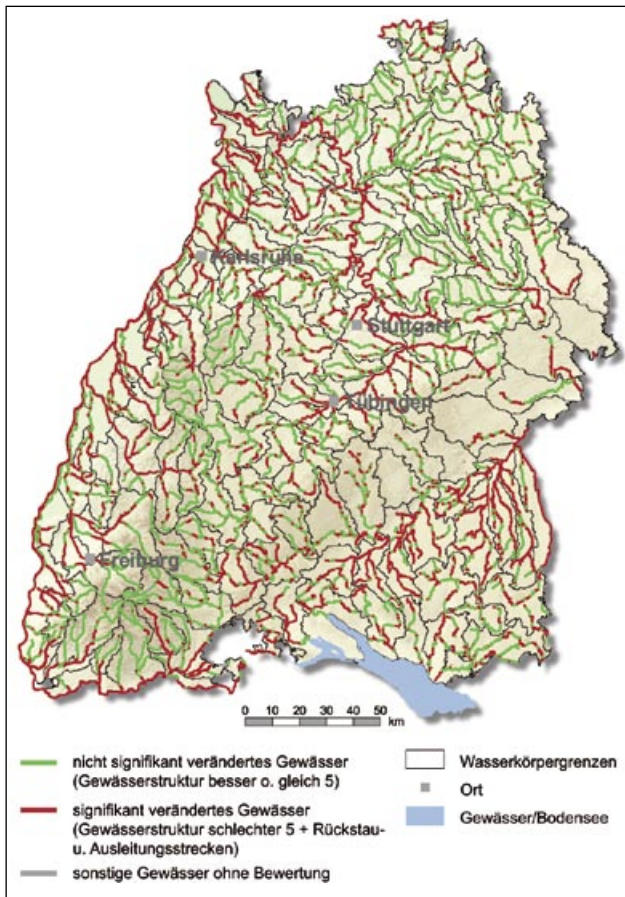


Abb. 6-24: Gewässerstruktur in Baden-Württemberg in einer auf zwei Klassen reduzierten Darstellung.  
Quelle: LFU 2003

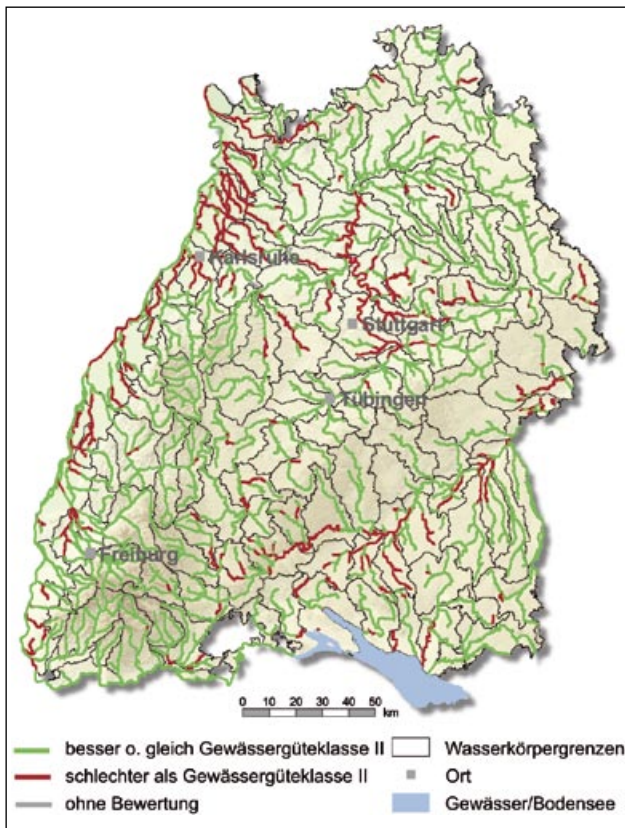


Abb. 6-25: Biologische Gewässergüte in Baden-Württemberg in einer auf zwei Klassen reduzierten Darstellung.  
Quelle: LFU 1998

Ausschlaggebend für die Zielverfehlung sind überwiegend Defizite in der Gewässerstruktur. So weist, wie die Strukturkarte des Landes zeigt, rund 42 % der untersuchten Fließgewässerstrecke des Landes erhebliche Defizite in der Gewässerstruktur auf (Abb. 6-24). Die Struktur der Gewässer wurde insbesondere durch technische Maßnahmen zur Landgewinnung, Hochwasserschutz, Energiegewinnung und Schiffbarmachung vielfach beeinträchtigt und zum Teil völlig degradiert. Auch durch Wasserentnahmen, Ausleitungen und Rückstau sind die Gewässer zum Teil massiv beeinträchtigt. Diese starken Beeinträchtigungen des Lebensraumes sind vielfach auch der Grund dafür, dass sich heute vielerorts trotz der zufrieden stellenden Wasserqualität nicht die naturraumtypischen Lebensgemeinschaften eingestellt haben.

Bezüglich der biologischen Gewässergüte weisen rund 24 % der Gewässerstrecke noch nicht zufrieden stellende Verhältnisse auf, da die angestrebte Gewässergüteklasse II nicht erreicht wird (Abb. 6-25). Defizite werden insbesondere in Gewässern festgestellt, die gegenüber der Belastung durch biologisch abbaubare Substanzen besonders empfindlich sind, wie z. B. langsam fließende oder gestaute Gewässer des Tieflandes bzw. die einen besonders hohen Anteil an gereinigtem Abwasser aufzunehmen haben. In den Wasserkörpern der nördlichen Oberrheinebene (Kraichgau), im mittleren Neckar sowie in den südlichen Donauzuflüssen ist dies mit Ursache für die wahrscheinliche Zielverfehlung.

#### ALLGEMEINE CHEMISCH-PHYSIKALISCHE QUALITÄTSKOMPONENTE

Die allgemeine chemisch-physikalische Qualitätskomponente ÖKG II fließt unterstützend in die ökologische Zustandseinschätzung ein. Zielwertüberschreitungen führen lediglich zur Einstufung „Zielerreichung unklar“.

Bewertet werden die Komponenten Wassertemperatur, Trophie, Nitrat, Phosphat, Salze, biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB) und Versauerung nach den in der Tabelle 6-2 angegebenen Kriterien.

Die Auswertung der Daten zeigt, dass insgesamt in rund 27% der Wasserkörper die chemisch-physikalischen Bewertungskriterien nicht eingehalten werden (Abb. 6-26). Im Folgenden werden die einzelnen Kenngrößen zur Bewertung der ÖKG II detailliert dargestellt.

Die zulässige *Maximaltemperatur* wird in den Gewässern in aller Regel eingehalten. Im Oberlauf der Murg befind-

det sich ein größerer Wärmeeinleiter, der das Gewässer in diesem Streckenabschnitt stark prägt. Im Hinblick auf die neuen biologischen Bewertungsverfahren nach WRRL ist die Zielerreichung hier unklar.

Bei *Nitrat* wird in rund 13 % der Wasserkörper der Zielwert nicht erreicht. Insbesondere in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten und in den Gewässern mit hohem Abwasseranteil sind die Nitratgehalte deutlich erhöht bis zu hoch. Entsprechend weisen Saalbach, Kriegbach, Leimbach, Ammer, Körsch, Elsenz und Tauber Überschreitungen des Zielwertes auf. Dagegen sind die Nitratgehalte der wasserreichen Zuflüsse aus dem Schwarzwald, deren Einzugsgebiete überwiegend forstwirtschaftlich genutzt werden, vergleichsweise gering.

Bei rund 8 % der Wasserkörper werden *Phosphatgehalte* über dem Zielwert vorgefunden. Die Belastung der Fließgewässer durch gelöste Phosphorverbindungen wird durch Bodenabschwemmungen und im Wesentlichen auch durch den Eintrag aus kommunalen Kläranlagen bestimmt, so z.B. im Oberlauf des Neckars, in der Ammer, in Körsch und Glems, in Teilstrecken der Jagst und der Ohrn. Auch in der Pfinz im Kraichgau sowie im Wasserkörper mit den Donauzuflüssen Stehenbach und Ehrlos ist die Phosphatbelastung größer als der Zielwert. Dagegen sind die meisten Zuflüsse aus dem Schwarzwald entsprechend der geringen Abwasseranteile nur gering mit Phosphat belastet. Auch in den Bodenseezuflüssen wird aufgrund der dort hohen Anforderungen zur Phosphor-Elimination zum Schutz des Bodensees der Zielwert für Phosphat deutlich unterschritten.

Die in den Wasserkörpern vorgefundenen *Chloridgehalte* liegen sämtlich deutlich unterhalb des Bewertungskriteriums von 200 mg/l.

Der *biochemische Sauerstoffbedarf in 5 Tagen (BSB<sub>5</sub>)* charakterisiert die Belastung des Gewässers durch sauerstoffzehrende Substanzen. Höhere BSB<sub>5</sub> - Belastungen weisen vorwiegend Gewässer auf, die einen hohen Abwasseranteil aufzunehmen haben. Auch bei unzureichender Regenwasserbehandlung und bei Überlastung von Kläranlagen oder bei Störungen im Klärbetrieb können größere Mengen sauerstoffzehrender Stoffe in die Gewässer eingetragen werden.

Die höchsten Belastungen werden in den Zuflüssen des Rheins nördlich von Karlsruhe sowie in Prim, Steinlach,

Tab. 6-2: Bewertungskriterien für ÖKG II. Quelle: LFU 2005

Komponente	Ziel verfehlt	Quelle
<b>Wassertemperatur:</b>		
- Salmonidgewässer	$T_{\max} > 21^{\circ}\text{C}$	UVM 1997
- Cyprinidgewässer	$T_{\max} > 28^{\circ}\text{C}$	UVM 1997
- Gewässer ohne Fischgewässer-deklaration	$T_{\max} > 28^{\circ}\text{C}$ ( $T_{\max}$ : bei Kühlwasser-einleitungen rechnerisch ermittelt)	UVM 1997
<b>Trophie</b>	MW > LAWA II	
<b>Chlorophyll a</b>	(eutroph)	
<b>Nitrat</b>	MW > 6 mgN/l	
<b>Phosphat</b>	MW > 0,2 mgP/l	
<b>Chlorid</b>	MW > 200 mg/l	
<b>BSB<sub>5</sub>:</b>		
- Salmonid	90 P > 3 mg/l	UVM 1997
- Cyprinid	90 P > 6 mg/l	UVM 1997
- Gewässer ohne Fischgewässer-deklaration	90 P > 6 mg/l	
<b>Versauerung</b>		
> Klasse 2 (nur in den versauerungsempfindlichen Gebieten)	Streckenanteil in der Summe > 30%	LFU 1998

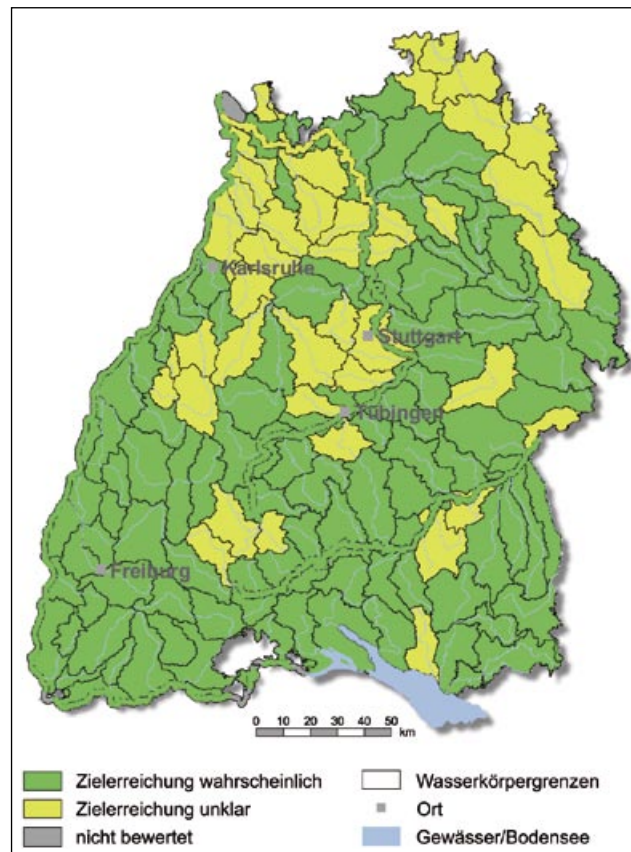


Abb. 6-26: Chemisch-physikalische Qualitätskomponenten (ÖKG II). Quelle: LUBW 2006

Aich, Körsch und Brigach vorgefunden, bei denen der Zielwert von 6 mg/l BSB<sub>5</sub> überschritten wird. Der für Salmonidgewässer heranzuziehende, strengere Zielwert von 3 mg/l wird in Rotach, Kanzach, Nagold und Würm über-

schritten. Bei 18 % der Wasserkörper ist aufgrund erhöhter BSB<sub>5</sub>-Gehalte die „Zielerreichung unklar“.

Tab. 6-3: Bewertungskriterien für die flussgebietspezifischen Schadstoffe (ÖKG III). Quelle: LFU 2005

Komponente	Ziel verfehlt	Quelle
<b>Wassertemperatur:</b>		
- Salmonidgewässer	T <sub>max</sub> > 21°C	UVM 1997
- Cyprinidgewässer	T <sub>max</sub> > 28°C	UVM 1997
- Gewässer ohne Fischgewässer-deklaration	T <sub>max</sub> > 28°C (T <sub>max</sub> bei Kühlwasser-einleitungen rechnerisch ermittelt)	UVM 1997
<b>Trophie</b>	MW > LAWA II (eutroph)	
<b>Chlorophyll a</b>		
<b>Nitrat</b>	MW > 6 mgN/l	
<b>Phosphat</b>	MW > 0,2 mgP/l	
<b>Chlorid</b>	MW > 200 mg/l	
<b>BSB<sub>5</sub>:</b>		
- Salmonid	90 P > 3 mg/l	UVM 1997
- Cyprinid	90 P > 6 mg/l	UVM 1997
- Gewässer ohne Fischgewässer-deklaration	90 P > 6 mg/l	
<b>Versauerung</b>		
> Klasse 2 (nur in den versauerungsempfindlichen Gebieten)	Streckenanteil in der Summe > 30%	LFU 1998

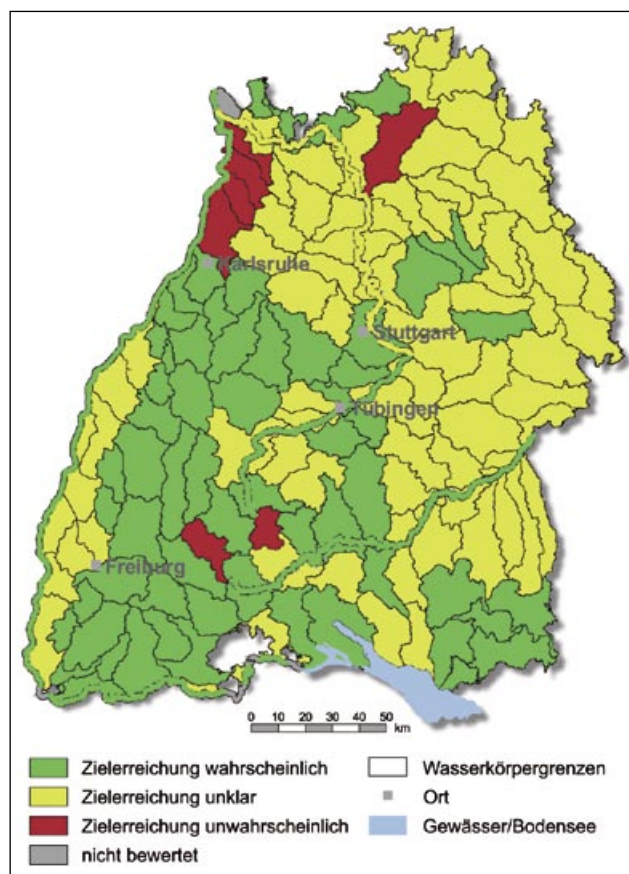


Abb. 6-27: Flussgebietspezifische Schadstoffe – ohne Schwermetalle (ÖKG III). Quelle: LUBW 2006

Säureinträge über den Luftpfad führen in den natürlicherweise nur schwach gepufferten Gebieten des Schwarzwaldes zu einer Versauerung der Gewässer. Bei rund 3 % der Wasserkörper ist hierdurch der gute ökologische Zustand gefährdet. Hiervon betroffen sind insbesondere Wasserkörper der Oberläufe von Murg, Acher und Große Enz, die mehr als 30 % Streckenanteile aufweisen, die mittels biologischer Indikatoren (Makrozoobenthos) in die Klasse periodisch sauer bzw. ständig sauer eingestuft werden.

### FLUSSGEBIETSSPEZIFISCHE SCHADSTOFFE

In der ökologischen Qualitätskomponentengruppe III wird der Belastungszustand der Fließgewässer durch die so genannten flussgebietspezifischen Schadstoffe zusammenfassend bewertet. Es handelt sich hierbei um bislang identifizierte Einzelstoffe der im Anhang VIII der WRRL aufgeführten Schadstoffgruppen, die als nicht prioritär eingestuft sind. Diese können aufgrund ihres Gefahrenpotenzials den ökologischen Zustand beeinträchtigen.

Von der Vielzahl bislang untersuchter Stoffe in Baden-Württemberg sind Ammonium und Nitrit, einige Pflanzenschutzmittel (PSM) sowie die Schwermetalle Kupfer (Cu), Chrom (Cr) und Zink (Zn) als im Lande relevante flussgebietspezifische Schadstoffe zu bewerten. PSM werden zu einem Großteil durch landwirtschaftliche Anwendung diffus oder durch unsachgemäße Entsorgung der Spritzmittelreste der Tanks über die Hofabläufe in die Gewässer eingetragen. Die übrigen Stoffe stammen überwiegend aus dem Siedlungsbereich und gelangen mit den Abwässern in die Gewässer.

In Abbildung 6-27 ist die Bewertung der Belastung der Wasserkörper durch Ammonium, Nitrit und der als nicht prioritär eingestuften Pflanzenschutzmittelwirkstoffe zusammen dargestellt. Die Bewertungskriterien hierfür sind in der Tabelle 6-3 angeführt.

Demnach werden in rund 7 % der Wasserkörper die einschlägigen Zielwerte nicht erreicht.

In Leimbach, Prim und Brigach sind die Ammonium-Gehalte noch zu hoch, um den guten Zustand zu erreichen. In den in der Oberrheinebene gelegenen Wasserkörpern Pfnz-Saalbach, Wagbach-Kriegbach und Kraichbach übersteigt Nitrit den Zielwert. Dies ist in erster Linie auf eine noch zu hohe Restbelastung aus kommunalen Kläranlagen zurückzuführen.

Das Gesamtbild wird jedoch insbesondere durch die geschätzte Belastung für kleine und mittlere Gewässer durch

Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe geprägt. In diesen war die vorliegende Datendichte für eine abschließende Bewertung nicht ausreichend. Zur strengen Schätzung wurde angenommen, dass eine deutliche Belastung bei mehr als 30 % Ackerbaufläche im Einzugsgebiet nicht auszuschließen ist. Rund 49 % der Wasserkörper wurden aufgrund der Intensität der Landnutzung vorsorglich mit „Zielwertüberschreitungen durch Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe möglich“ eingestuft.

Die diesbezüglich in 2003-2005 zur Verifizierung angelaufenen Ermittlungsuntersuchungen bestätigen die gewählte Annahme. Von den 59 bislang untersuchten als möglicherweise gefährdet ausgewiesenen Wasserkörpern wurden in 19 Wasserkörpern Wirkstoffgehalte im Bereich des Qualitätszieles vorgefunden. Es handelt sich dabei um Mecoprop, MCPA, Dichlorprop und Bentazon, die bevorzugt im Getreideanbau eingesetzt werden. In fünf weiteren Wasserkörpern werden die Qualitätsziele überschritten (Mecoprop in Glems und Unterlauf Enz, Chloridazon in Schozach und Lein bei Heilbronn, MCPA im Unterlauf der Elsenz).

Der Überblick über die Belastungssituation der Sedimente durch die als nicht prioritär eingestuftes Schwermetalle Kupfer, Chrom und Zink in Abbildung 6-28 zeigt, dass das entsprechende Ziel in den Wasserkörpern Weschnitz und Federbach nicht erreicht bzw. in den Wasserkörpern der Alb und Wagbach-Kriegbach in der Oberrheinebene sowie in den Neckarabschnitten oberhalb Prim und unterhalb Seebach möglicherweise nicht erreicht wird. Dies ist in erster Linie auf starke Anreicherungen an Kupfer und Zink zurückzuführen. Diese Schwermetalle werden neben gewerblicher und industrieller Anwendung vielfach in großem Maße in Hausinstallationen eingesetzt und gelangen durch korrosiven Abtrag über die Kläranlagen, wo sie nicht gänzlich zurückgehalten werden können, in die Gewässer. Das Qualitätsziel für Chrom wird dagegen überall eingehalten.

Die Gebiete, in denen bereits natürlich stark erhöhte Schwermetallgehalte (Erze) vorzufinden sind und dementsprechend keine wasserwirtschaftlichen Maßnahmen zur Reduktion möglich sind, wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt.

#### WANDERUNGSHINDERNISSE

Die Fischbesiedlung kann durch eine fehlende Durchgängigkeit der Gewässer empfindlich gestört werden. Wanderungshindernisse (ÖKG IV), wie z. B. Stauhaltungen,

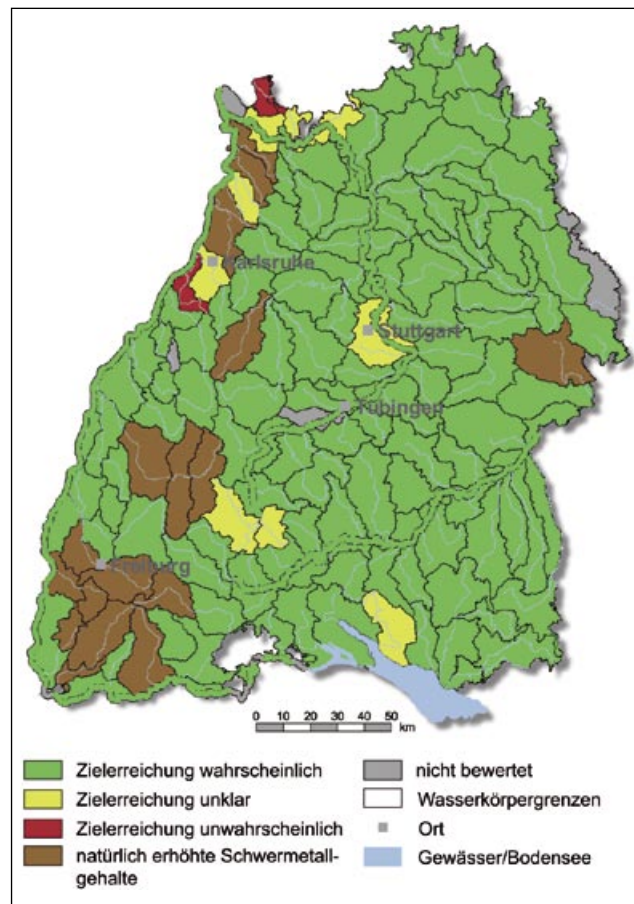


Abb. 6-28: Belastung der Sedimente durch die Schwermetalle Kupfer, Chrom und Zink (Worst-Case).  
Quelle: LUBW 2006

Wehre, Restwasserstrecken mit zu geringer Wasserführung führen unter anderem dazu, dass bestimmte Fischarten wie Bachneunauge, Bachforelle, Äschen und Elritze ihre in den Oberläufen gelegenen Laichplätze nicht mehr erreichen können. Eine natürliche Reproduktion kann somit nicht stattfinden.

Zum Zeitpunkt der Ersteinschätzung lagen keine ausreichenden Informationen über die effektive Beeinträchtigung der Fischbesiedlung durch Wanderungshindernisse vor. Da die Durchgängigkeit der Gewässer in sämtlichen Wasserkörpern durch eine Vielzahl von Wanderungshindernissen unterbrochen ist, wurden vorerst alle Wasserkörper als „möglicherweise gefährdet“ bewertet.

#### 6.3.1.2 CHEMISCHER ZUSTAND

Der chemische Zustand ist anhand von Umweltzielen der in Anhang IX der WRRL genannten gefährlichen Stoffe und der im Anhang X der WRRL genannten 33 prioritären Stoffe zu bewerten. Allerdings fehlen für die prioritären Stoffe bislang einschlägige Grenzwertvorgaben der EU, so dass diese vorerst anhand in Deutschland bestehender Qualitätsnormen bewertet wurden bzw. ergänzend die in

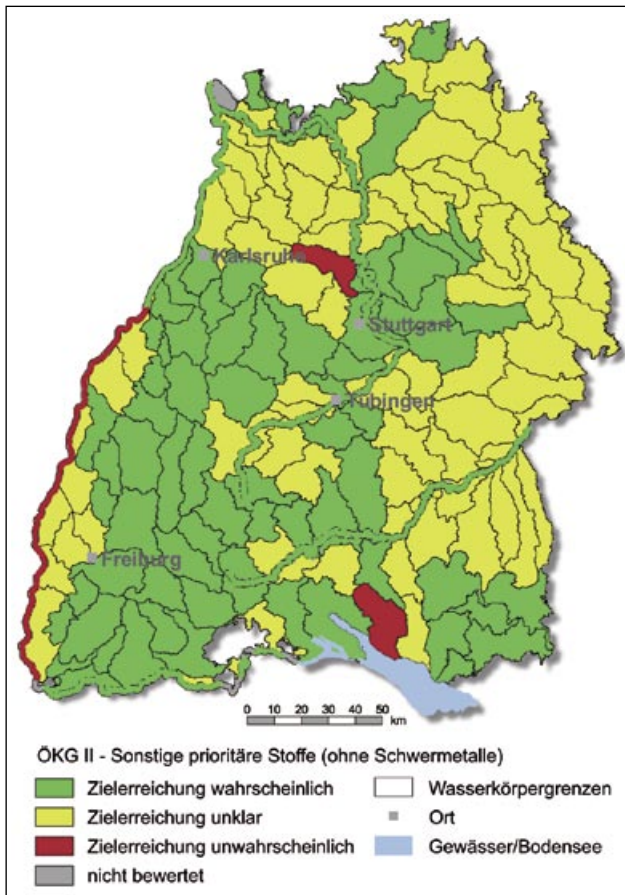


Abb. 6-29: Belastung durch prioritäre Stoffe – ohne Schwermetalle. Quelle: LUBW 2006

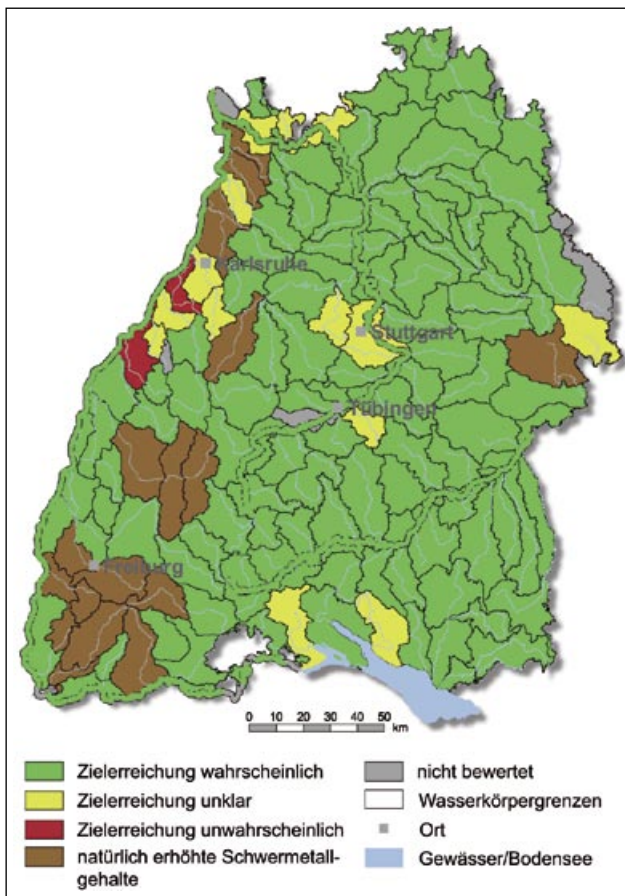


Abb. 6-30: Belastung durch prioritäre Schwermetalle. Quelle: LUBW 2006

Tab. 6-4: Bewertungskriterien für die in Baden-Württemberg relevanten prioritären Stoffe. Quelle: LFU 2005

Komponente	Ziel verfehlt	Zielerreichung unklar	Quelle
<b>Prioritäre Schwermetalle im Sediment (&lt; 20 µm)</b> Cd > 2,4 mg/kg Hg > 1,6 mg/kg Ni > 240 mg/kg Pb > 200 mg/kg	Streckenanteil in der Summe > 70 %	Streckenanteil in der Summe bei 30 bis 70 %	
<b>sonstige Stoffe Anhang IX und X:</b> - PSM ( Isoproturon ( Gefährdung geschätzt: • Fläche Ackerbau • aus Grundwasserbelastung	Jahresmittel > 0,1 µg/l	> 30 % Ackerbaufläche aus Summenbetrachtung	
- HCB	Sedimentbelastung > 40 µg/kg		
- PAK	Jahresmittel > Qz (Muster VO)		UVM 2004

der Tabelle 6-4 aufgeführten Bewertungskriterien herangezogen wurden. Demgemäß nicht berücksichtigt werden konnten die in Anhang X der WRRL aufgeführten Stoffgruppen der bromierten Diphenylether sowie der kurzkettigen Chloralkane.

Die Ersteinschätzung des Gewässerzustandes nach WRRL trägt diesen Unschärfen Rechnung, indem sie auf Grundlage des derzeitigen Kenntnistandes folgende drei, auf Wasserkörper bezogene Bewertungsstufen vorgibt:

- Zielerreichung wahrscheinlich
- Zielerreichung unklar
- Zielerreichung unwahrscheinlich

Der gute chemische Zustand wird auf Grundlage der verfügbaren Daten und Bewertungsgrundlagen bei einem Anteil von 4 % der Wasserkörper voraussichtlich nicht erreicht (Abb. 6-29 und Abb. 6-30).

Ursachen sind:

- die immer noch zu hohe Hexachlorbenzol-Belastung der Sedimente in den Stauhaltungen des Oberrheins,
- hohe Konzentration an Fluoranthen (PAK) im Unterlauf der Enz,
- die zeitweilig stark erhöhten Konzentrationen des Pflanzenschutzmittels Isoproturon in der Seefelder Aach.

Hexachlorbenzol (HCB) gelangte bis Ende der 1980er Jahre vorwiegend mit den Abwassereinleitungen eines Chemiebetriebes im Raum Rheinfelden in den Rhein. Seitdem sind dort die Emissionen stufenweise auf heute quasi „Null“ reduziert worden. HCB ist jedoch aufgrund seiner Langlebigkeit in den tiefer liegenden Altsedimenten der Stauhaltungen am Oberrhein noch immer in hohen Konzentrationen angereichert.

Im Unterlauf der Enz wird eine Überschreitung des Qualitätszieles durch Fluoranthen festgestellt. Dieser Schadstoff gehört zur Gruppe der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe und entsteht z. B. bei unvollständiger Verbrennung, wird jedoch auch industriell als Zwischenprodukt zur Herstellung von Farben und Arzneimitteln eingesetzt.

Auch die Datenlage über die prioritär eingestuften Pflanzenschutzmittel war nicht ausreichend und musste – wie auch bei den flussgebietspezifischen Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen – aus der Landnutzung geschätzt werden. Hierdurch sind 44 % der Wasserkörper vorsorglich mit „Zielerreichung unklar“ ausgewiesen.

Die seit 2003 angelaufenen Untersuchungen zur Verifizierung bestätigen, dass Isoproturon bzw. Diuron in einzelnen Wasserkörpern zumindest zeitweise stark erhöhte Gehalte aufweisen. Gemessen an den derzeit auf europäischer Ebene diskutierten Grenzwerten werden allerdings nur bei Isoproturon in 4 Wasserkörpern Überschreitungen des auf den Jahresmittelwert bezogenen Grenzwertes von  $0,3 \mu\text{g/l}$  bzw. für das Maximum von  $1 \mu\text{g/l}$  festgestellt (Elsenz bei Meckesheim, Unterlauf Jagst (Möckmühl, Jagstfeld), Unterlauf Tauber (Wertheim)).

Hinsichtlich der als prioritär eingestuften Schwermetalle Blei (Pb), Cadmium (Cd), Nickel (Ni) und Quecksilber (Hg) werden bei der Worst-Case-Betrachtung in den in der Oberrheinebene gelegenen Wasserkörpern Acher-Feldbach sowie im Federbach zu hohe Anreicherungen festgestellt (Abb. 6-30). 9 % der Wasserkörper ist mit „Zielerreichung unklar“ klassifiziert, zum Teil vorsorglich aufgrund einer unzureichenden Datenlage.

### 6.3.2 LANGJÄHRIGE ENTWICKLUNG DES GÜTEZUSTANDES DER FLIESSGEWÄSSER

#### 6.3.2.1 CHEMISCH-PHYSIKALISCHE GEWÄSSERBESCHAFFENHEIT

Nachfolgend werden die chemisch-physikalischen Kenngrößen zur Beschreibung der langjährigen Entwicklung des Gütezustands der Fließgewässer dargestellt.

Die jährlichen Schwankungen der *Wassertemperatur* werden primär sehr komplex von der Wasserführung und der meteorologischen Situation der einzelnen Jahre bestimmt. An den großen Flüssen ist sie zusätzlich auch von der er-

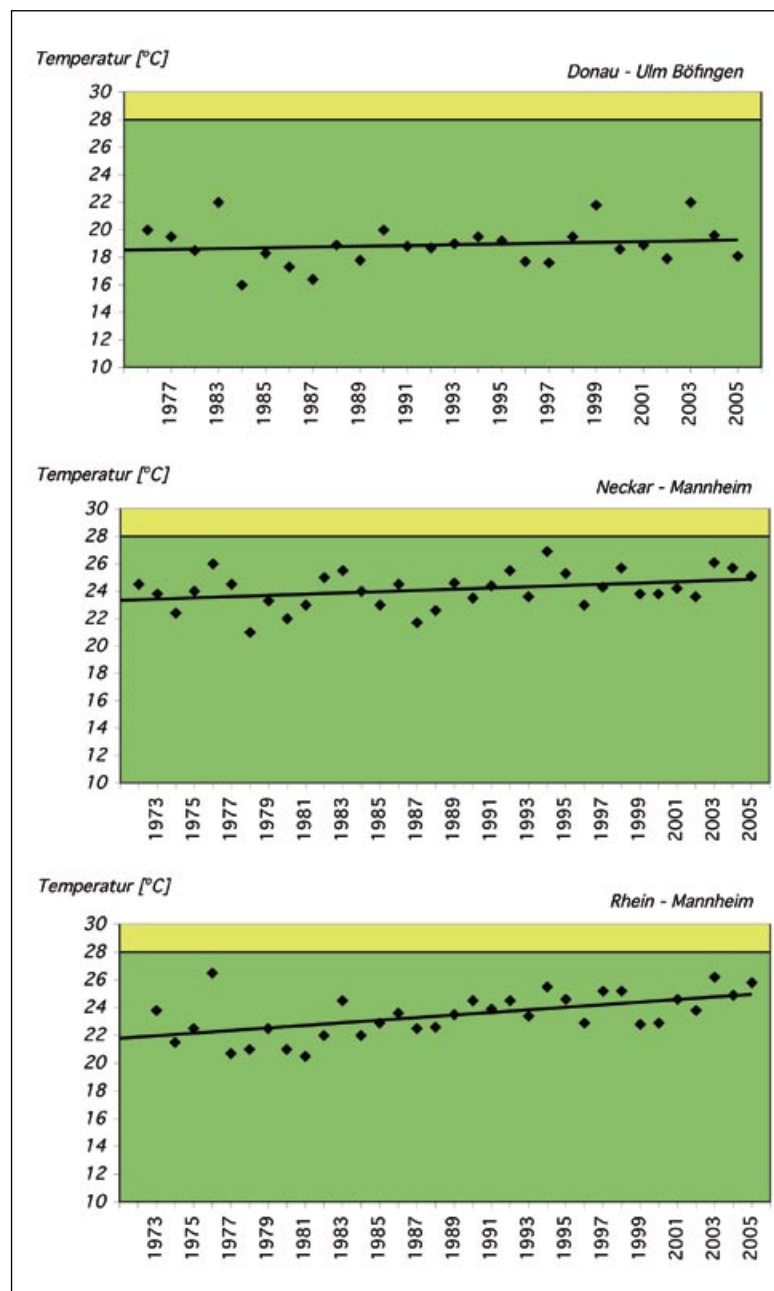


Abb. 6-31: Entwicklung der Jahreshöchstwerte der Wassertemperatur von Donau, Neckar und Rhein.  
Quelle: LUBW 2006

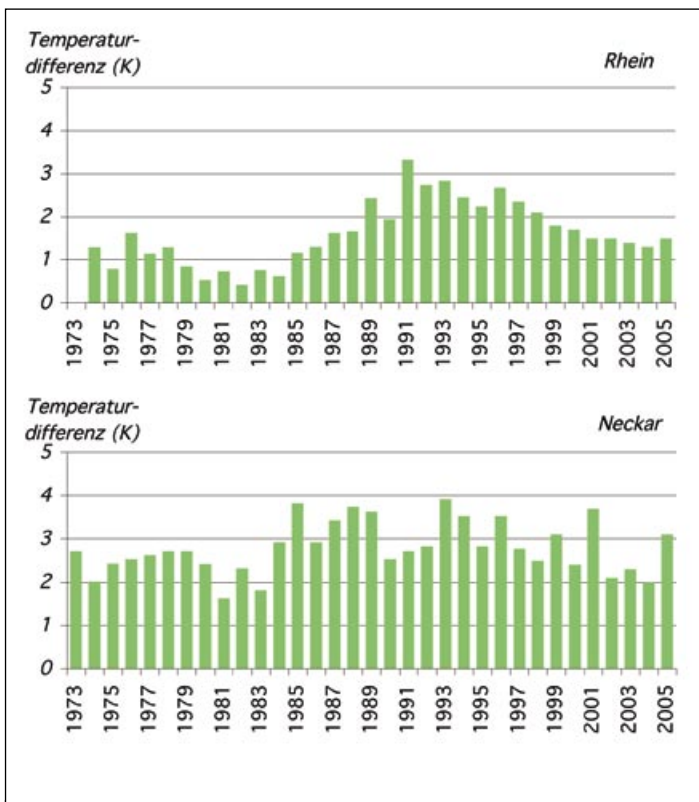


Abb. 6-32: (siehe links) Aufwärmung des Rheins zwischen Öhningen und Mannheim bzw. des Neckar zwischen Deizasau und Mannheim. Quelle: LUBW 2006

zeugten Energiemenge der angeschlossenen Wärmekraftwerke und von deren Betriebsweise abhängig. An den großen Flüssen Donau, Neckar und Rhein war insbesondere bis Mitte der 1990er Jahre eine Zunahme der maximalen Wassertemperatur zu beobachten (Abb. 6-31).

Ebenfalls deutlich zugenommen haben die Temperaturdifferenzen auf der rund 430 km langen Fließstrecke am Rhein zwischen Auslauf des Bodensees bis Mannheim (ohne Neckarmündung) sowie am schiffbaren Neckar zwischen Deizasau und Mündung. Bis Mitte der 1990er Jahre war die so genannte Aufwärmung mehr oder weniger stark ausgeprägt. Seither ist allerdings die Aufwärmung des Rheins im Jahresmittel von maximal beobachteten 3,3 K auf nunmehr noch 1,5 K zurückgegangen. Auch im gestauten Neckar zeigt sich ein Trend zu abnehmender Aufwärmung, allerdings mit jährlichen Schwankungen. Im Mittel der letzten 5 Jahre liegt die Aufwärmung bei etwa 2,6 K (Abb. 6-32). Seit Mitte der 70-er Jahre wurden alle Kraftwerksneubauten mit einem Kühlturm ausgerüstet. Dadurch ist im Neckar die Zunahme des Wärmeeintrags seit 1973 trotz erheblicher Steigerung der installierten elektrischen Leistung um das etwa 2,5-fache vergleichsweise gering.

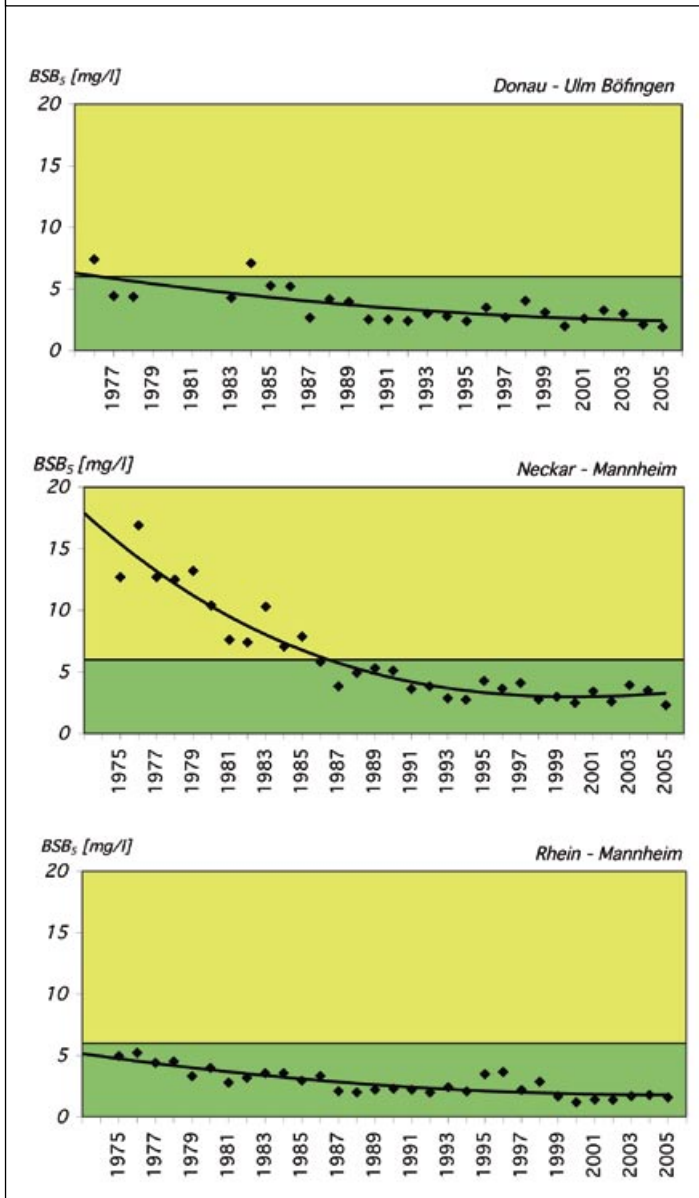


Abb. 6-33: Entwicklung des BSB<sub>5</sub> (90-Perzentilwert) in Donau, Neckar und Rhein. Quelle: LUBW 2006

Eine Analyse der Temperaturdaten des Bodenseeablaufes gibt Anhaltspunkte über den Beitrag der „globalen Erwärmung“, da dort der wasserwirtschaftliche Wärmeeintrag vergleichsweise gering ist. Die Gesamtaufwärmung der letzten 30 Jahre lässt sich dort anhand der Jahresmittel auf etwa 0,2 K beziffern.

Der **Sauerstoffgehalt** der Fließgewässer ist entsprechend der heute durchgehend geringen Belastung mit sauerstoffzehrenden Stoffen meist überwiegend gut. Die entsprechenden Zielwerte der EU werden in aller Regel eingehalten. Die Sauerstoffverhältnisse des Neckars sind allerdings wegen des Aufstaus und des vergleichsweise hohen Abwasseranteils bei sommerlichem Niedrigwasser weiterhin instabil. Der Neckar muss bei Sauerstoffwerten unterhalb 4 mg/l durch Belüftungsmaßnahmen gestützt werden, um ein Absinken der Sauerstoffkonzentration auf fischkritische Beträge zu verhindern. Das hierfür eingerichtete „Sauerstoffreglement Neckar“ hat sich bewährt.

Die erzielten Verbesserungen sind die direkte Folge von Bau bzw. Ausbau der Kläranlagen bei Kommunen und Industrie. Dort werden die sauerstoffzehrenden organischen Stoffe und das ebenfalls sauerstoffkritische Ammonium weitgehend eliminiert und damit von den Gewässern ferngehalten.

So sind im Mittel die Konzentrationen an leicht abbaubaren organischen Substanzen (gemessen als BSB<sub>5</sub>) im Rhein um 65 %, in der Donau um mehr als 70 % und im Neckar um mehr als 80 % zurückgegangen (Abb. 6-33). Der Großteil der Verbesserungen ist bereits bis Ende der 1980er Jahre erfolgt.

Auch in den letzten zehn Jahren sind die Konzentrationen des biochemischen Sauerstoffbedarfs (BSB<sub>5</sub>) in den meisten Zuflüssen immer noch rückläufig, besonders ausgeprägt in Große Lauter, Riß, Acher, Leimbach, Körsch, Schmiech und Blau. In Elsenz ist dagegen eine Zunahme in der Belastung durch sauerstoffzehrende Stoffen festzustellen (Abb. 6-34).

Hohe Gehalte der *Pflanzennährstoffe* Stickstoff und Phosphor führen in Fließgewässern bzw. den aufnehmenden Küstengewässern zu unnatürlich starkem Pflanzenwachstum (Verkrautung, Veralgung) und sind deshalb unerwünscht. Eine weitere negative Folge ist die so genannte Sekundärbelastung, also die Belastung des Sauerstoffhaushaltes durch die Zersetzung der abgestorbenen Pflanzen. Besonders gefährdet sind sehr langsam fließende Gewässerabschnitte. Haupteintragsquellen sind diffuse Einträge aus der Landwirtschaft (Düngung) und Einleitungen von Siedlungsabwässern.

Die *Nitratgehalte* in den Flüssen haben bis Mitte der 1980er Jahre stetig zugenommen. Während die Nitratgehalte der vergleichsweise gering abwasserbelasteten Flüsse Rhein und Donau seither auf mäßig erhöhtem Niveau weitgehend stagnieren bzw. leicht zurückgehen, zeigt sich im dicht besiedelten Neckargebiet eine deutliche Trendumkehr. Noch bis Anfang der 1990er Jahre wurden im Neckar Nitratgehalte von über 6 mg/l im Jahresmittel

vorgefunden (Abb. 6-35). Die sich insgesamt abzeichnende positive Entwicklung ist in erster Linie eine Folge der Nachrüstung von Kläranlagen mit Verfahrensstufen zur Stickstoffeliminierung.

Ähnlich positive Entwicklungen zeichnen sich auch in vielen Zuflüssen in den letzten zehn Jahren ab. Besonders ausgeprägt in Kraichbach, Weschnitz, Würm, Schmiecha und Eger. Aber auch Ammer und Körsch weisen deutlich niedrigere Konzentrationen als Mitte der 1990er Jahre auf, wobei der Zielwert immer noch überschritten wird (Abb. 6-36).

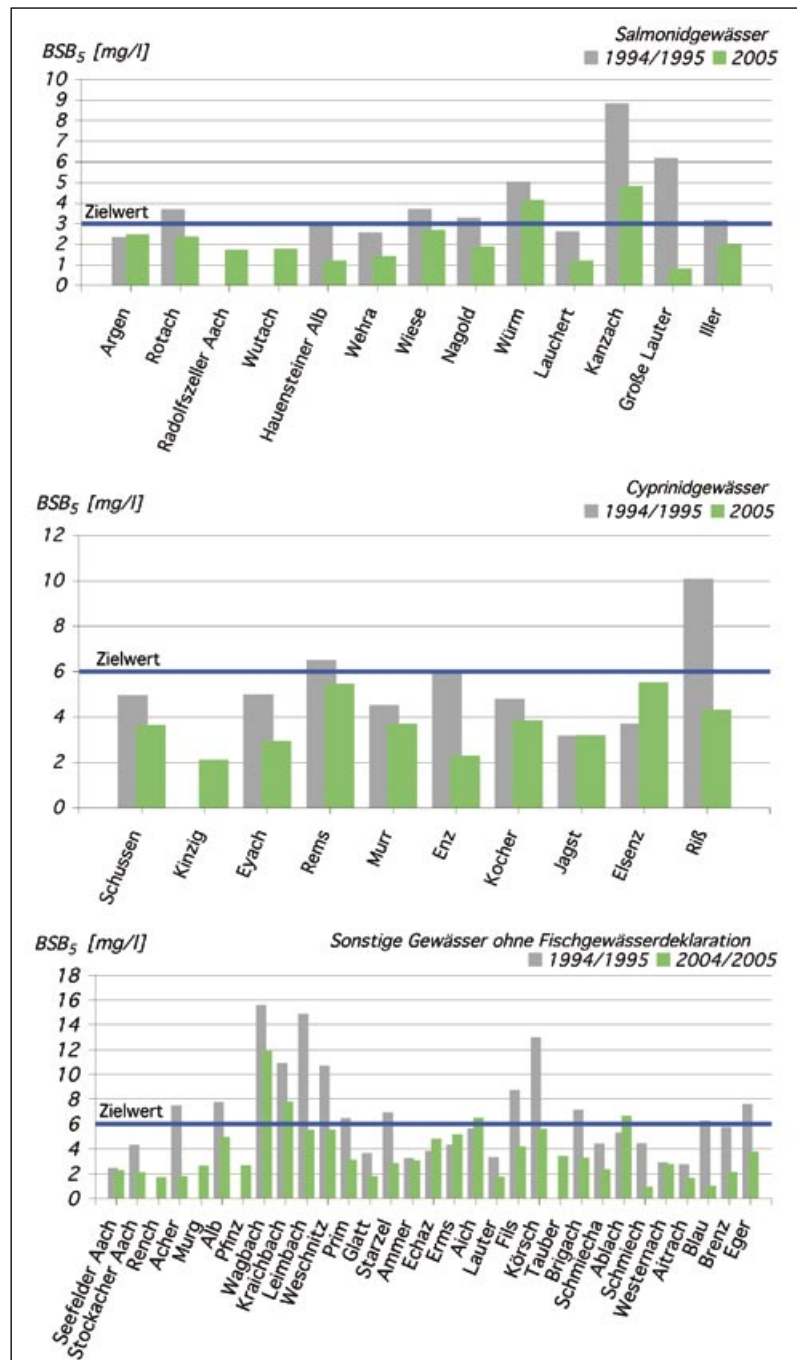


Abb. 6-34: BSB<sub>5</sub>-Konzentrationen der Zuflüsse von Rhein, Neckar und Donau 1994/1995 sowie 2004/2005 (90-Perzentilwert). Quelle: LUBW 2006



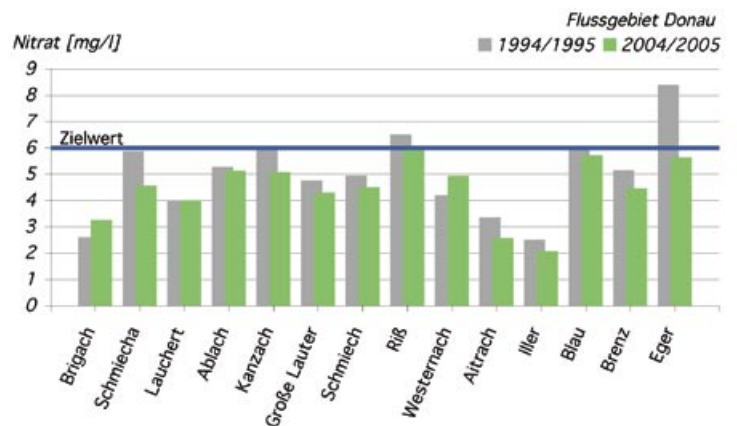
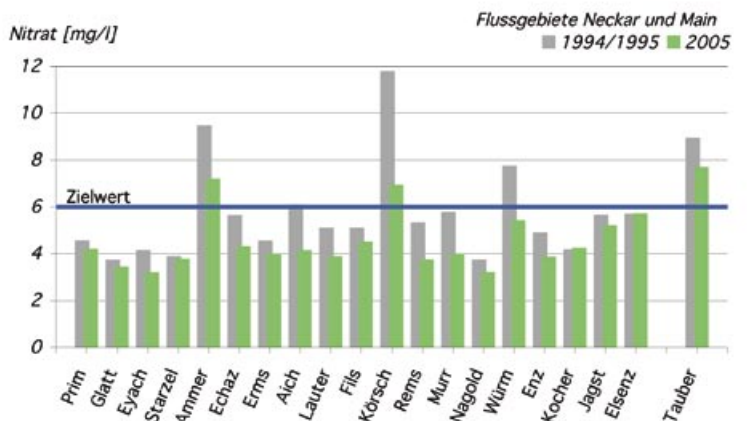
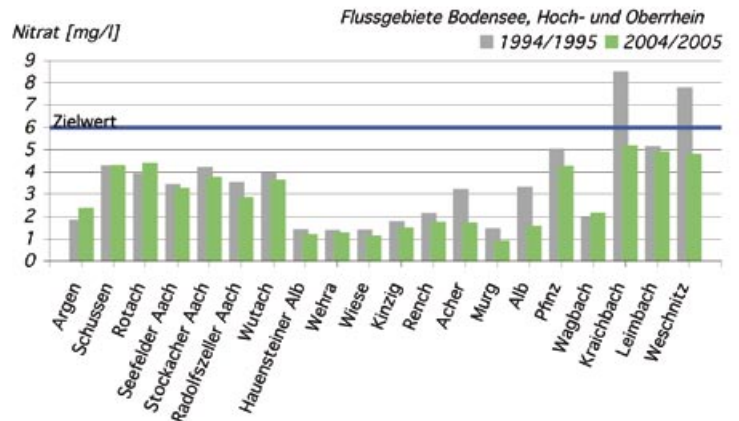
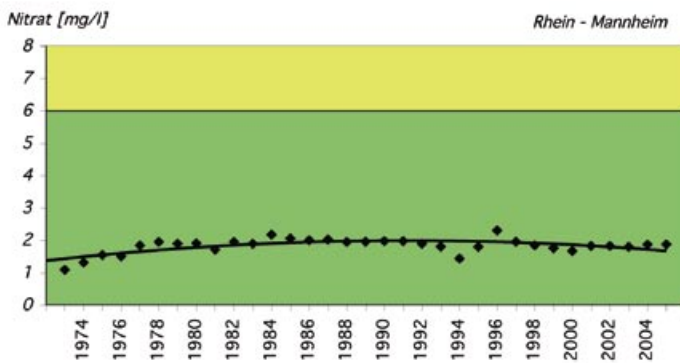
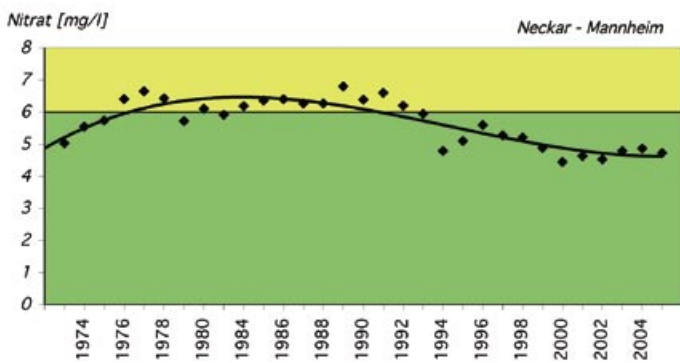
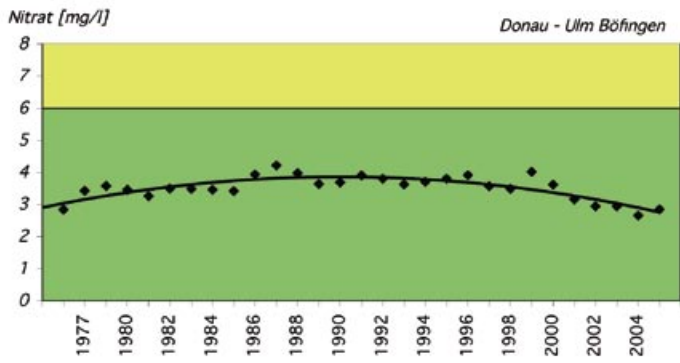


Abb. 6-35: Entwicklung der Nitratkonzentrationen (Jahresmittelwert) in Donau, Neckar und Rhein.  
Quelle: LUBW 2006

Abb. 6-36: Nitratgehalte der Zuflüsse von Rhein, Neckar und Donau 1994/1995 sowie 2004/2005 (Jahresmittelwert).  
Quelle: LUBW 2006

Die Belastung der Gewässer durch Phosphor ist durch den Ersatz von Phosphaten in Waschmitteln sowie der seit Anfang der 1990er Jahre begonnenen Nachrüstung der Kläranlagen mit Verfahrensstufen zur Phosphoreliminierung stark zurückgegangen. Der Rückgang beträgt für die Donau ca. 60 %, für den Rhein ca. 75 % und den Neckar ca. 85 % (jeweils gegenüber Beginn der Beobachtung, Abb. 6-37).

Der schiffbare Neckar weist zwar seit Mitte der 1990er Jahre stark zurückgegangene Phosphatgehalte unter 0,2 mg/l auf. Allerdings reicht das erreichte Konzentrationsniveau noch

immer nicht aus, um die Eutrophierungserscheinungen dieses gestauten Gewässers ausreichend abzumildern.

In vielen Nebengewässern werden heute niedrigere Phosphatgehalte gegenüber Mitte der 1990er Jahre vorgefunden. In den Zuflüssen Acher, Kraichbach, Leimbach, Weschnitz, Körsch und Schmiecha ist eine deutliche Phosphatreduktion zu erkennen. Dagegen werden in der Glatt, Ammer und in den Donauzuflüssen Riß und Eger entgegen dem landesweiten Trend zunehmende Phosphat-Konzentrationen festgestellt (Abb. 6-38).

Die *Chloridgehalte* im Rhein sind gegenüber Mitte der 1980er Jahre um rund 75 % zurückgegangen. Dies ist zum einen das Ergebnis des Chloridübereinkommens zwischen den Rheinanliegerstaaten und zum anderen der in 2003 erfolgten Produktionseinstellung in den elsässischen Kaliminen. Eine erhebliche Restbelastung resultiert heute noch aus dem Abtrag der durch den Kalibergbau entstandenen Abraumhalden bei Mulhouse (Elsass).

Im Neckar unterhalb von Heilbronn waren die Chloridkonzentrationen bis 1992 ebenfalls sehr hoch. Nach der Einstellung der Sodaproduktion in einem Betrieb im Raum

Heilbronn im Jahre 1993 ist die Chloridbelastung des Neckars sprunghaft zurückgegangen (Rückgang um mehr als 55 %). Die Salzbelastung der Donau ist seit Beginn der Messungen konstant gering (Abb. 6-39).

Der Chloridgehalt der kleinen Gewässer wird maßgeblich durch den aus kommunalen Kläranlagen stammenden Abwasseranteil geprägt. Der Anstieg der Chloridgehalte gegenüber Mitte der 1990er Jahre ist in erster Linie auf die in 2004/2005 in den Gewässern beobachteten geringen Abflüsse und den hierdurch bedingten höheren Abwasseran-

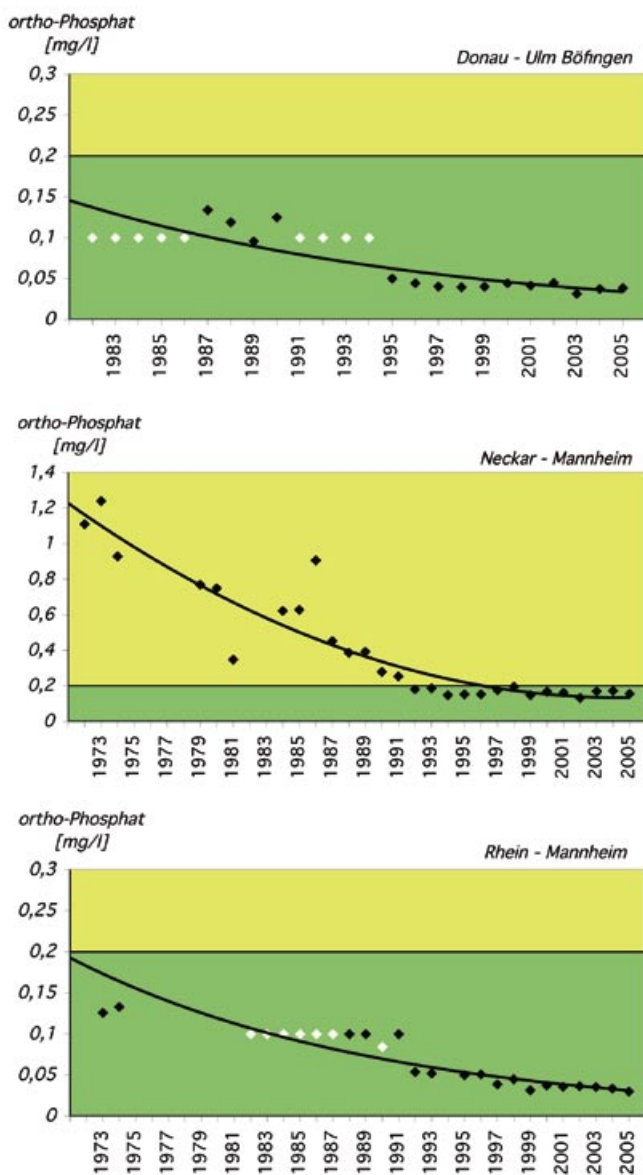


Abb. 6-37: Entwicklung der Phosphatkonzentrationen (Jahresmittelwert) in Donau, Neckar und Rhein (weiße Punkte: Mittelwert ist kleiner Bestimmungsgrenze).  
Quelle: LUBW 2006

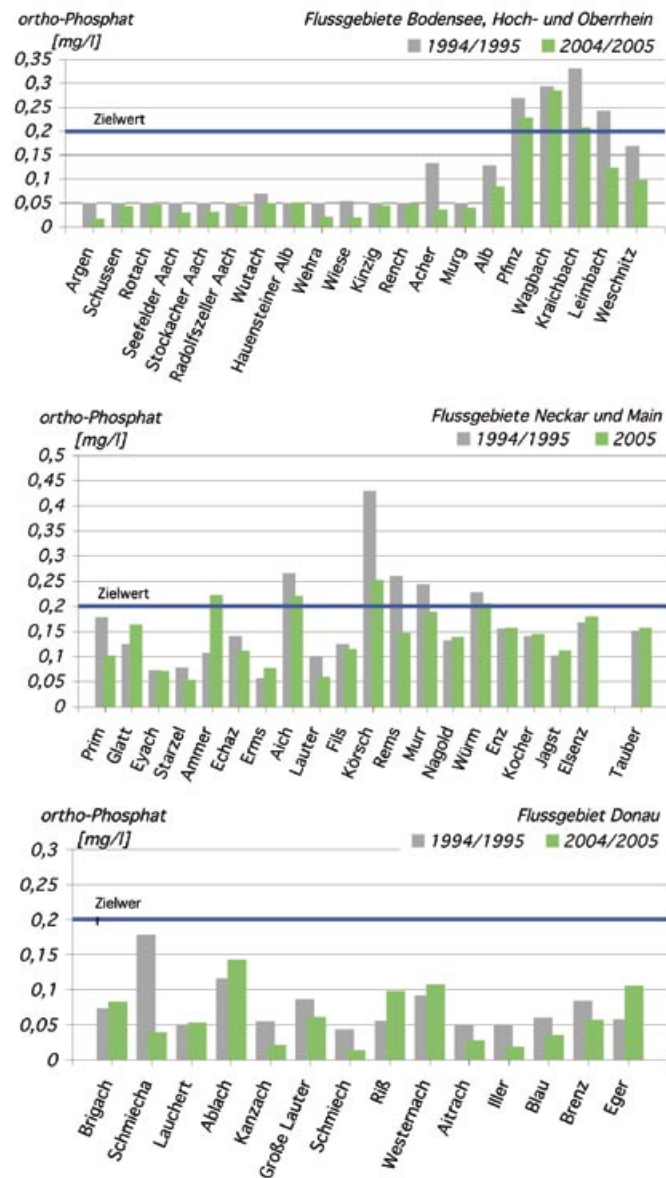


Abb. 6-38: Phosphatgehalte der Zuflüsse von Rhein, Neckar und Donau 1994/1995 sowie 2004/2005 (Jahresmittelwert).  
Quelle: LUBW 2006

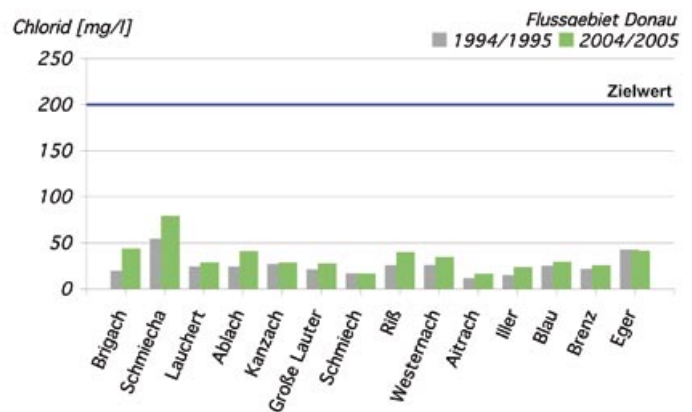
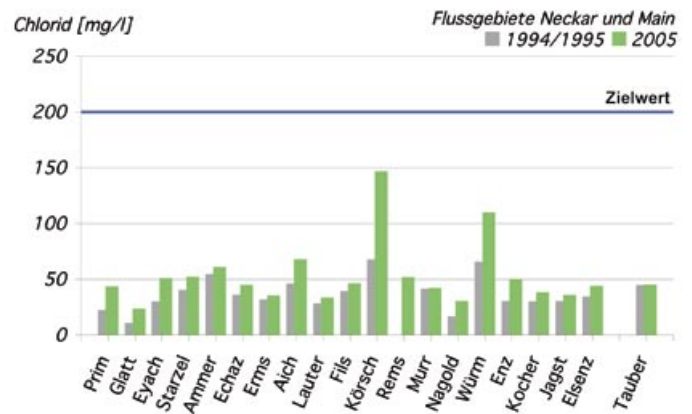
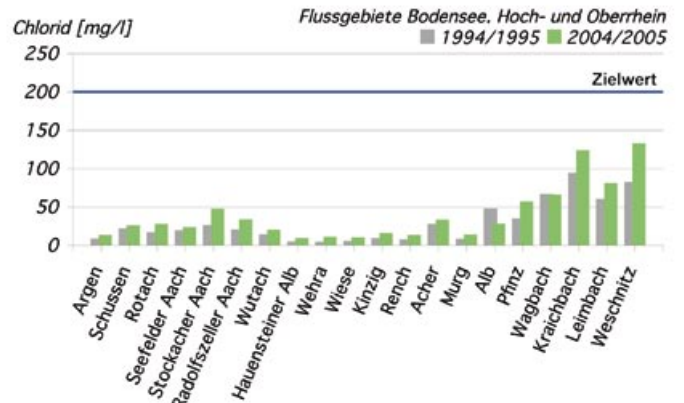
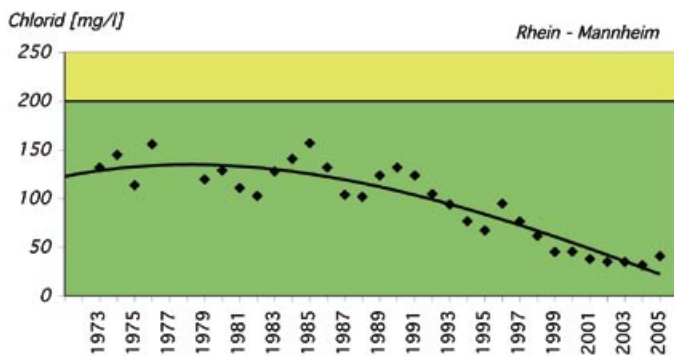
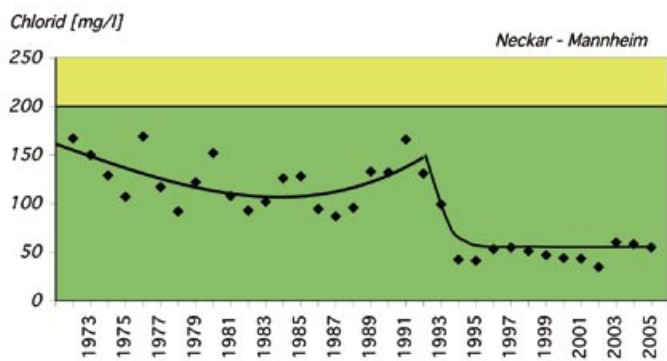
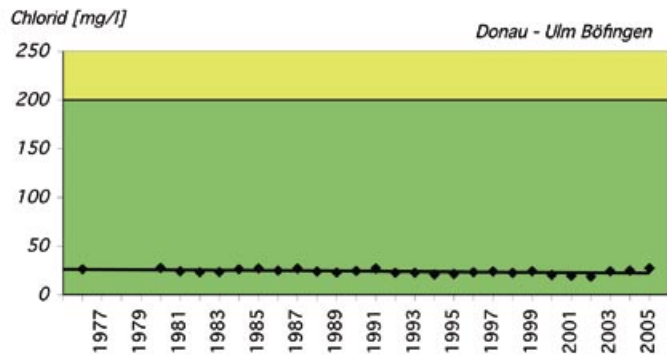


Abb. 6-39: Entwicklung der Chloridkonzentrationen (Jahrmittelwert) in Donau, Neckar und Rhein. Quelle: LUBW 2006

Abb. 6-40: Chloridgehalte der Zuflüsse von Rhein, Neckar und Donau 1994/1995 sowie 2004/2005 (Jahrmittelwert). Quelle: LUBW 2006

teilen zurückzuführen. Im Hinblick auf die aquatische Lebensgemeinschaft bewegen sich die Chloridgehalte jedoch durchweg im unkritischen Bereich (Abb. 6-40).

Die Belastung der Gewässer mit *Ammonium und Nitrit* ist insgesamt stark zurückgegangen. Die erzielte Reduktion resultiert aus dem Ausbau und den Verbesserungen im Betrieb der Kläranlagen sowie aus der konsequenten Regenwasserbehandlung im Lande. So sind im Rhein die Ammonium-Gehalte um 60 %, im Neckar gar um mehr als 95 % reduziert worden. In der Donau beträgt der Rückgang

etwa 85 % (Abb. 6-41). Bei insgesamt kürzerem Beobachtungszeitraum ist der Rückgang der Ammonium-Gehalte in Wiese, Acher, Alb, Leimbach, Weschnitz, Prim, Starzel, Fils, Körsch, Rems, Kanzach, Riß und Eger besonders ausgeprägt. Dagegen werden in der Aich, Elsenz, Ablach und Westernach gegenüber Mitte der 1990er Jahre deutlich höhere Ammonium-Gehalte beobachtet (Abb. 6-42).

Der Rückgang beim Nitrit ist ebenfalls deutlich, wenn auch nicht ganz so ausgeprägt, da dieses lediglich als temporäres Zwischenprodukt bei der mikrobiellen Oxidation von Ammonium zu Nitrat entsteht. In Rhein und Donau

wurde der Zielwert von 0,1 mg/l aufgrund vergleichsweise geringer Abwasseranteile auch zur Zeit der höchsten Belastung Anfang der 1970er Jahre nicht überschritten. Dagegen wird im Neckar der Zielwert erst seit Anfang der 1990er Jahre eingehalten. Besonders deutlich zeigt sich die positive Entwicklung auch in den Zuflüssen gegenüber Mitte der 1990er Jahre deutlich abnehmende Nitritgehalte bzw. eine Stabilisierung der Gehalte auf niedrigem Niveau aufweisen. Nur im Wagbach wurde im Jahr 2005 ein vergleichsweise hoher Jahresmittelwert von 0,15 mg/l vorgefunden.

Seit Beginn der 1980er Jahre werden organische Mikroverunreinigungen und Schwermetalle (*Flussgebietspezifische und Prioritäre Schadstoffe* gemäß WRRL) überwiegend in den großen Fließgewässern des Landes untersucht. Die langjährigen Untersuchungen belegen landesweit gute Sanierungserfolge bei der Belastung durch diejenigen gefährlichen Stoffe, für die ausgereifte technische Maßnahmen zur Abwasserbehandlung zur Verfügung stehen oder andere Regulierungsmaßnahmen ergriffen haben. Diese reichen von Stoffverboten über Substitution bis zur Entwicklung

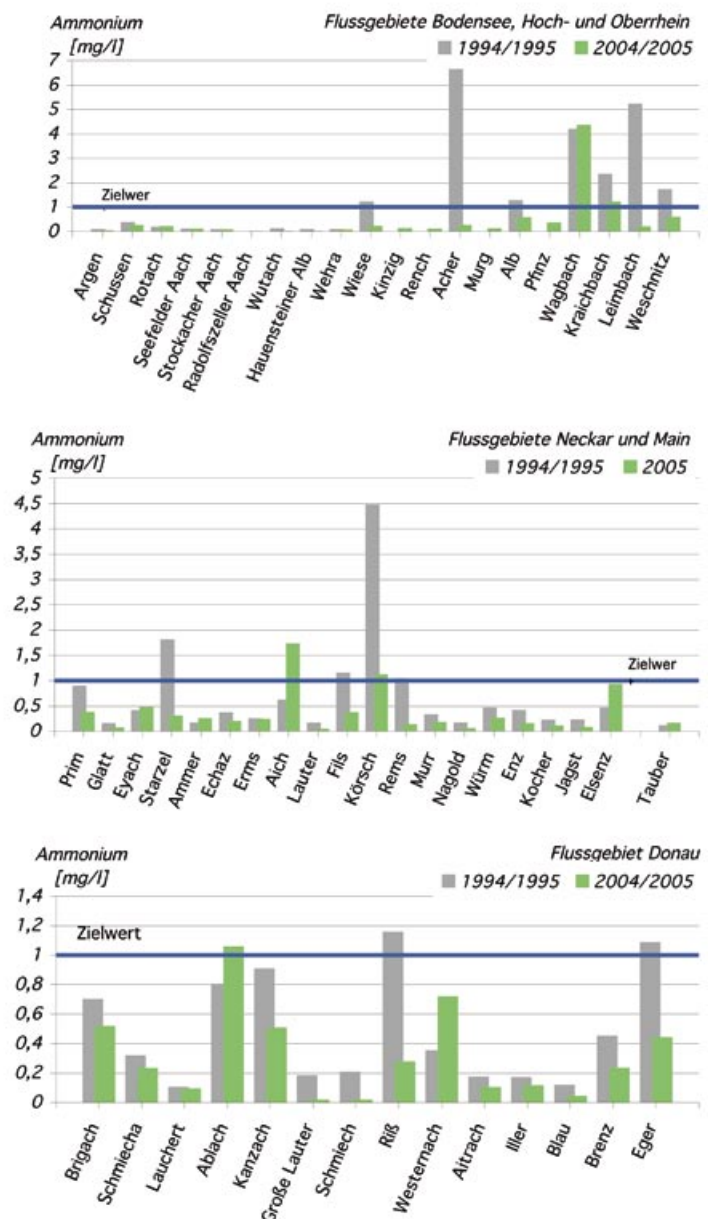
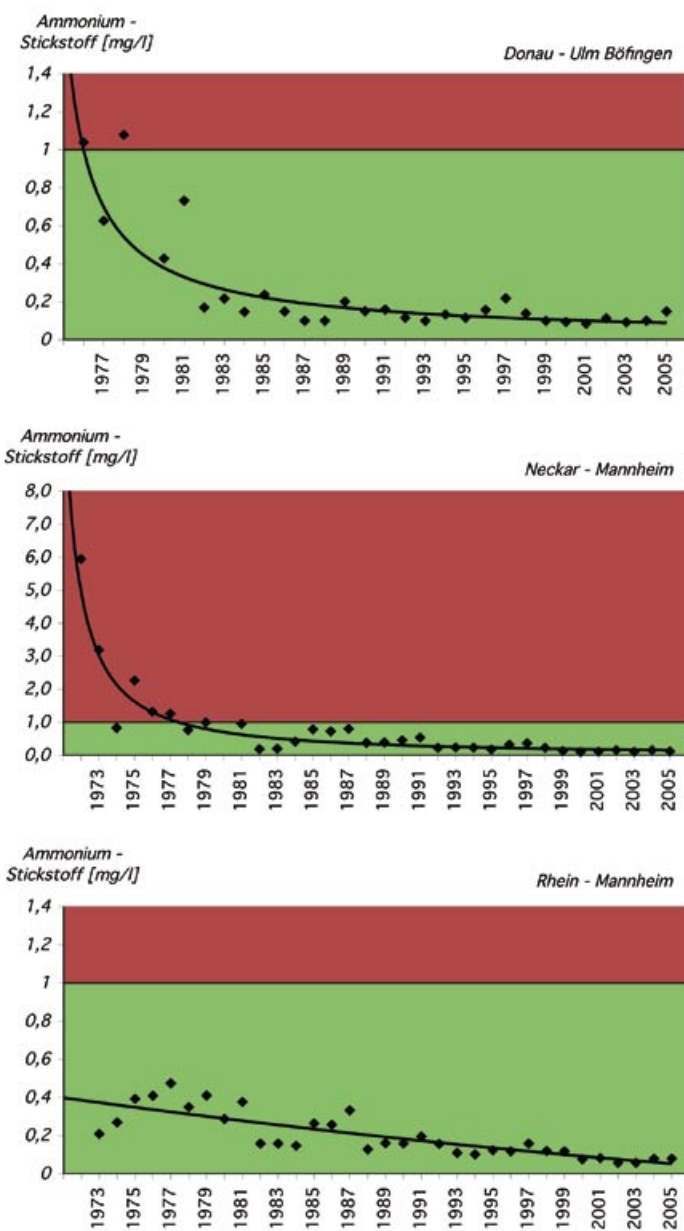


Abb. 4-41: Entwicklung der Ammoniumkonzentrationen (90-Perzentilwert) in Donau, Neckar und Rhein. Quelle: LUBW 2006

Abb. 6-42: Ammonium-Gehalte der Zuflüsse von Rhein, Neckar und Donau 1994/1995 sowie 2004/2005 (90-Perzentilwert). Quelle: LUBW 2006

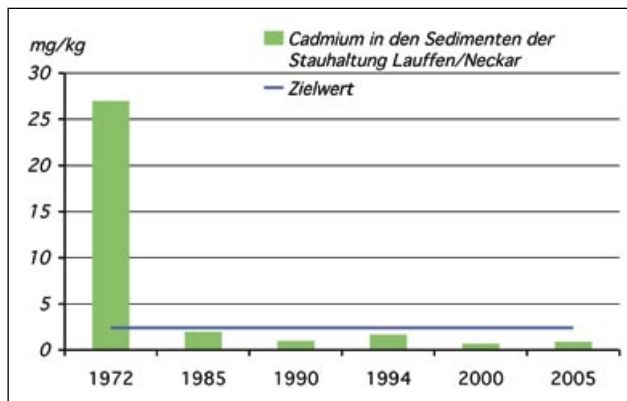


Abb. 6-43: Entwicklung der Cadmiumbelastung in der Stauhaltung Lauffen/Neckar. Quelle: LUBW 2006

und Anwendung neuer umweltschonender Produktionsverfahren.

Heute weisen die Mehrzahl der besonders kritischen Schadstoffe – wie z. B. Schwermetalle, chlororganische Verbindungen (Chlorinsektizide) und eine Vielzahl der Industriechemikalien – in den großen Gewässern Rhein, Neckar und Donau zumeist niedrige Konzentrationen auf. Bei den organischen Schadstoffen sind die Gehalte in der Regel sogar kleiner als die analytische Bestimmungsgrenze. Entsprechend zeigen die Untersuchungen zur EU-Richtlinie 76/464/EWG („Gefährliche Stoffe“), dass die in der Gewässerqualitätszielverordnung festgelegten Immissionswerte in den baden-württembergischen Abschnitten der großen Gewässer in aller Regel sicher eingehalten werden.

Geringere Erfolge und weiterhin nicht befriedigende Belastungssituationen findet man dagegen vorwiegend bei gefährlichen Stoffen vor, die diffus aus der Fläche in die Gewässer gelangen oder für die eine ausgereifte Sanierungstechnologie bislang fehlt, wie z. B. für wasserlösliche und schwer abbaubare Verbindungen. Solche sind einige der meist verwendeten Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe, ubiquitär verbreitete polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), bestimmte synthetische Komplexbildner, aromatische Sulfonate, bestimmte endokrin (d. h. hormonell) wirksame Stoffe und Arzneimittel.

**Schwermetalle** werden in den Flusssedimenten stark angereichert, so dass die Sedimentgehalte für die Beurteilung der Belastungssituation mit Schwermetallen maßgebend ist. Die Sedimente der wichtigsten Fließgewässer der Bundesrepublik Deutschland sind erstmals 1972 auf Schwermetalle untersucht worden. Diese Untersuchungen wiesen den Neckar als den am stärksten mit Cadmium, Chrom und Nickel belasteten Fluss aus [BANAT ET AL. 1972].

Umfangreiche Untersuchungen der ehemaligen Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg in den Jahren 1979, 1985 und 1990/92 im Längsprofil sowie die seit 1995 jährlich an ausgewählten Stellen durchgeführten Kontrolluntersuchungen zeigen einen sehr starken Rückgang der Schwermetallkonzentrationen. Besonders ausgeprägt ist der Rückgang im Neckar (Abb. 6-43). Seit 1985 stagnieren die Schwermetallgehalte auf in der Regel niedrigem Niveau.

Die Belastung mit **organischen Halogenverbindungen** wird durch die Kenngröße AOX (adsorbierbare organische Halogenverbindungen) dargestellt. Die AOX-Belastung von Rhein und Donau ist seit Ende der 1980er Jahre von einem hohen (Donau) bzw. erhöhten (Rhein) auf ein nunmehr geringes bis mäßig erhöhtes Konzentrationsniveau zurückgegangen (Abb. 6-44). 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; Großemittenten für organische Halogenverbindungen sind im Einzugsgebiet nicht vertreten.

Die Gehalte der Schwebstoffe im Oberrhein mit dem als prioritär gefährlich eingestuften **Hexachlorbenzol (HCB)** weisen im bis Anfang der 1990er Jahre zurückreichenden Beobachtungszeitraum keinen ausgeprägten Trend auf (Abb. 6-45). Zwar deutet sich ansatzweise ein leichter Konzentrationsrückgang an, der jedoch immer wieder durch erhöhte HCB-Gehalte in einzelnen Jahren unterbrochen wird. Markant sticht das Untersuchungsjahr 1999 hervor, bei dem im Zuge von zwei kurz aufeinander folgenden, außerordentlichen Hochwasserereignissen stark erhöhte HCB-Gehalte mit bis zu 340 µg/kg gemessen wurden. Ursache hierfür ist, dass Hexachlorbenzol aufgrund seiner Langlebigkeit insbesondere in den tiefer liegenden Altsedimenten der Stauhaltungen am Oberrhein noch immer in hohen Konzentrationen angereichert ist und bei derartigen Extremereignissen remobilisiert werden kann [LFU 2004]. Die durch einen am Hochrhein ansässigen Chemiebetrieb bedingten Einträge wurden stufenweise bis Ende der 1980er Jahre auf quasi „Null“ reduziert. Andere HCB-Quellen sind nicht bekannt.

Die an der Oberfläche heute anstehenden Sedimente weisen in der Regel im Vergleich zu Sedimentuntersuchungen aus den 1980er Jahren deutlich geringere Gehalte auf. Allerdings ist die Belastung der Oberrheinsedimente durch HCB sehr heterogen verteilt, stellenweise werden noch immer Gehalte über 100 µg/kg vorgefunden.

Eine umfassende Darstellung der langfristigen Entwicklung hinsichtlich der Wirkstoffe aus *Pflanzenschutzmitteln* (PSM) ist schon allein aufgrund der Vielzahl zugelassener Wirkstoffe schwierig. In den letzten Jahrzehnten wurde ein ganzes Bündel von Maßnahmen, die von deutlich verschärften Zulassungsanforderungen, Weiterentwicklung von neuen PSM-Wirkstoffen, Anwendungsbeschränkungen und -verboten bis hin zu Informationsdiensten für den zielgerichteten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln reichen, realisiert. Das hat dazu geführt, dass die Belastung der Fließgewässer durch besonders kritische und langlebige Wirkstoffe reduziert wurde. Allerdings werden auch heute noch verschiedene Wirkstoffe zur Anwendungszeit in erhöhten Konzentrationen vorgefunden. Insbesondere in den kleinen Bächen und Flüssen können bereits geringe Wirkstoffmengen zu ökotoxikologisch bedenklichen Konzentrationen führen.

Exemplarisch wird die Entwicklung von Isoproturon und Mecoprop im Neckar aufgezeigt, die heute noch in den Landesgewässern zur landwirtschaftlichen Anwendungszeit in erhöhten Konzentrationen vielfach vorgefunden werden. Sie haben sich daher auch im Rahmen der Erstein-schätzung des Gewässerzustandes nach den Vorgaben der EU als besonders relevant erwiesen (vgl. Kapitel 6.3.1.1 und 6.3.1.2). Beide Wirkstoffe sind von der Anwendungsmenge her bedeutsame Herbizide, die im Getreideanbau bevorzugt eingesetzt werden.

Im Neckar sind die Gehalte an Isoproturon in den letzten Jahren sehr deutlich zurückgegangen. Die zwischenzeitlich vorzufindenden Maximalgehalte im zeitigen Frühjahr bzw. im Herbst übersteigen auch zur landwirtschaftlichen Anwendungszeit nur selten den Trinkwassergrenzwert von

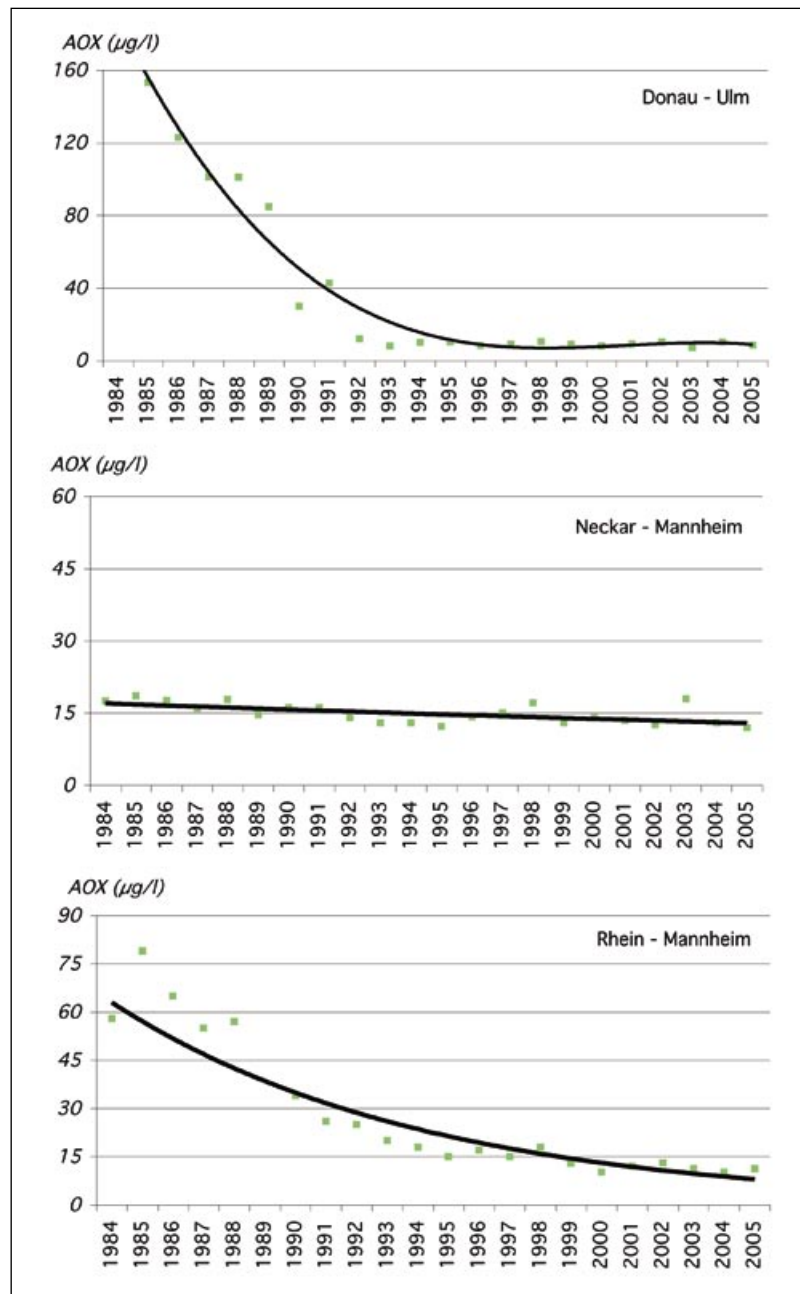


Abb. 6-44: Adsorbierbare organische Halogenverbindungen (AOX) in Rhein, Neckar und Donau (90-Perzentile).  
Quelle: LUBW 2006

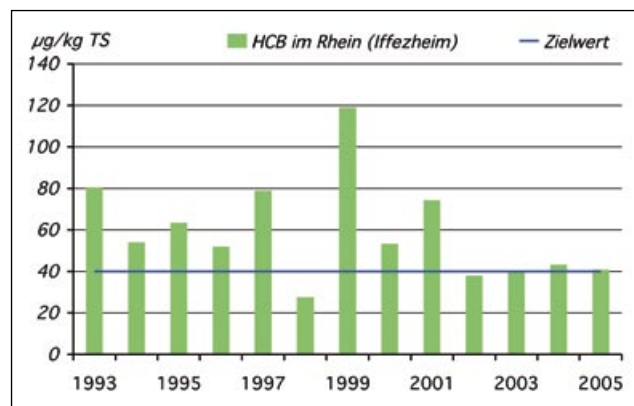


Abb. 6-45: Gehalte an Hexachlorbenzol (HCB) im Schwebstoff (90-Perzentilwert) des Rheins bei Iffezheim.  
Quelle: LUBW 2006

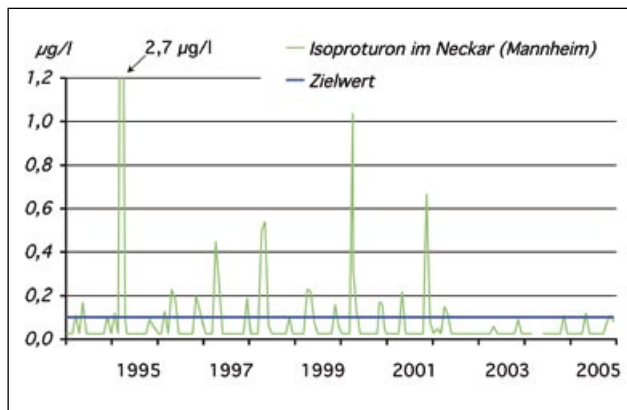


Abb. 6-46: Belastung des Neckars bei Mannheim durch Isoproturon. Quelle: LUBW 2006

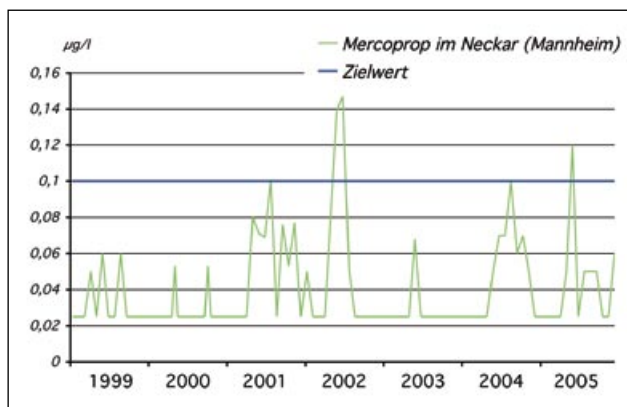


Abb. 6-47: Belastung des Neckars bei Mannheim durch Mecoprop. Quelle: LUBW 2006

0,1 µg/l, wohingegen diese noch bis ins Jahr 2000 in den µg/l-Bereich ragten (Abb. 6-46). Inwieweit dies auch auf die in den letzten Jahren günstigen Witterungsbedingungen zur Anwendungszeit zurückzuführen ist, müssen zukünftige Untersuchungen zeigen. In einzelnen, kleinen Gewässern werden allerdings auch derzeit noch kurzzeitig außerordentlich stark erhöhte Isoproturon-Gehalte vorgefunden. Die Belastung des Neckars durch Mecoprop weist bei insgesamt kürzerer Beobachtungszeit keine eindeutige Trendentwicklung auf, liegt jedoch im Vergleich zu Isoproturon auf insgesamt niedrigerem Konzentrationsniveau. Es werden zur sommerlichen Anwendungszeit überwiegend erhöhte Mecopropgehalte bis in den Bereich des Trinkwassergrenzwertes von 0,1 µg/l vorgefunden (Abb. 6-47). Auch bei diesem Wirkstoff werden in den kleinen Gewässern deutlich höhere Maximalgehalte vorgefunden.

**Synthetische organische Komplexbildner** werden im gewerblichen, industriellen und häuslichen Bereich vielfältig eingesetzt. Ihr Einsatz reicht von der Entfernung störender Metall-Ionen in der Metallverarbeitung, als Zusatz zur Wasserenthärtung in Wasch- und Reinigungsmitteln bis

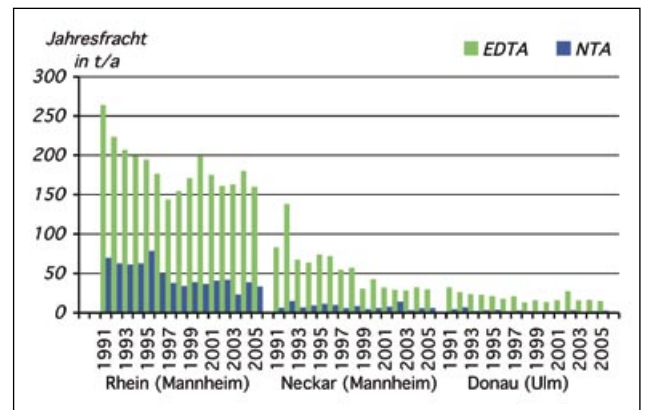


Abb. 6-48: Entwicklung der EDTA- und NTA-Frachten in Rhein, Neckar und Donau. Quelle: LUBW 2006

hin zu Anwendungen in der Photoindustrie und im Altpapierrecycling. Zur Reduktion der bis Ende der 1980er Jahre hohen Gehalte des persistenten Komplexbildners Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) in den Oberflächengewässern haben die Wasserbehörden und die Industrie vereinbart, die Belastung im Zeitraum von 1991 bis 1996 um 50 % zu senken. Das Ziel dieser freiwilligen Selbstverpflichtung der Industrie ist im Neckar und in der Donau erreicht. Dagegen werden im Rhein nach der anfänglich deutlich zurückgehenden Belastung in den letzten Jahren größere Schwankungen der EDTA-Fracht festgestellt; die sich im Bereich einer Reduktion um 35 % einpendeln (Abb. 6-48). Das biologisch abbaubare Nitrilotriessigsäure (NTA) weist in den letzten Jahren eine weitgehend stagnierende Belastung in Rhein, Neckar und Donau auf vergleichsweise niedrigem Niveau auf.

Vorsorglich werden die Gewässer auf weitere, synthetische Komplexbildner wie Diethyltrinitriolpentaessigsäure (DTPA),  $\beta$ -Alanindiessigsäure (ADA), 1,3-Propylendiamintetraessigsäure (PDTA) untersucht, um den möglicherweise stattfindenden, unerwünschten Ersatz von EDTA durch andere, ebenfalls biologisch schlecht abbaubare Verbindungen zu kontrollieren. So zeigt sich im Rhein, dass ein Teil der EDTA-Reduktion durch den Einsatz des biologisch ebenfalls schlecht abbaubaren DTPA, das vorwiegend bei der Papierproduktion eingesetzt wird, erbracht wurde. Allerdings zeichnet sich hier im Oberrhein eine erfreuliche Entwicklung ab. So konnte die DTPA-Belastung des Rheins gegenüber den in 2000 berechneten Frachten praktisch halbiert werden. Mit einer Jahresfracht von rund 60 t DTPA entspricht diese in etwa einem Drittel der EDTA-Fracht. Im Gegensatz zu DTPA besitzen ADA und PDTA in den untersuchten großen Gewässern des Landes mengenmäßig keine Bedeutung.

### 6.3.2.2 BIOLOGISCHE GEWÄSSERGÜTE

Die Gewässergütekarte 2004, basierend auf dem Saprobien-System, wird voraussichtlich die letzte in dieser Form einer langen Reihe veröffentlichter Gütekarten sein. Sie hat über vier Jahrzehnte als hervorragendes Instrument der Wasserwirtschaftsverwaltung zum Gewässerschutz und zur Sanierung der Abwasserhältnisse gedient. Zukünftig wird die Erhebung und Bewertung des Gewässerzustandes nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie erfolgen (vgl. Kapitel 6.3.1). Dabei wird der Aspekt der Defizite in der Gewässerstruktur wesentlich deutlicher zum Ausdruck kommen.

Der biologisch-ökologische Gütezustand der Fließgewässer nach LAWA hat sich einschließlich der letzten landesweiten Gewässergütekartierung [LFU 2005b] Stand 2004 stetig verbessert. Im Vergleich zur Gütekartierung Stand 1968 sank die Zahl der defizitären Gewässer von 59 % auf 12 % (Abb. 6-49). Ursächlich sind dafür die stetig abnehmenden Belastungen, insbesondere durch leicht abbaubare organische Stoffe zu nennen. Sie sind das Ergebnis der landesweiten verbesserten Abwasserreinigung und Regenwasserbehandlung. Die Nachrüstung der Kläranlagen mit Stickstoff- und Phosphorelimination wirkte sich ebenfalls positiv auf die Gewässergüte aus. Der positive Trend wird auch bei der Betrachtung des kleineren Zeitraums zwischen 1998 und 2004 bestätigt, die Anzahl der defizitären Gewässer wurde hier praktisch halbiert.

Etwa 700 Arten von Makrozoobenthos-Organismen leben in den Fließgewässern des Landes. Artenzahl und Artenvielfalt geben Auskunft über die Belastung der Wasserbeschaffenheit als auch über die Naturnähe des besiedelten Ökosystems. Mit der Verbesserung der Wasserbeschaffenheit geht in aller Regel auch eine Zunahme der Artenvielfalt der Gewässer einher, die allerdings ihre Grenzen in den strukturarmen verbauten Gewässern wegen fehlender Lebensräume findet. So stagniert z. B. die Zunahme der Artenvielfalt von Rhein und Neckar seit einigen Jahren. Die typische Eintagsfliege des Rheins, die *Oligoneuriella rhena-na*, ist zwar in Restbeständen im Einzugsgebiet vorhanden, aber immer noch nicht in den Oberrhein zurückgekehrt.

Im Neckareinzugsgebiet besteht noch Handlungsbedarf unterhalb der Belastungszentren Stuttgart und Heilbronn und vereinzelter Gewässerstrecken der Neckarzuflüsse wie z. B. Elsenz, Glems, Prim, Körsch und Glatt. Im Donaueinzugsgebiet weisen Gewässerstrecken der Brigach, der oberen Donau bis Hunderringen und der südlichen Zuflüsse

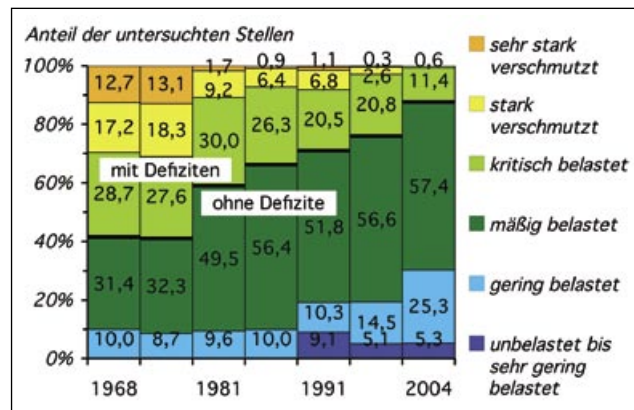


Abb. 6-49: Entwicklung der Gewässergüte in Baden-Württemberg im Laufe der letzten 35 Jahre (1968 - 2004).  
Quelle: LFU 2005b

wie z. B. Ostrach, Ehrlos und Ablach vermehrt Defizite auf. Im Rheineinzugsgebiet sind die Defizite der Gewässer des Kraichgaus und des nördlichen Oberrheingebietes wie Kraichbach, Leimbach, Pfinz und Saalbachkanal besonders auffällig.

Andererseits werden die großen Flüsse gerade wegen der Strukturarmut bevorzugt von Neueinwanderern, sog. Neozoen besiedelt. Diese Einwanderung setzte besonders stark nach der Anbindung des Rheineinzugsystems an den Rhein-Main-Donau-Kanal 1992 ein, da die Neozoen durch den Schiffsverkehr verschleppt werden. Auf vielen Strecken von Rhein und Neckar haben die Neozoen bereits derart dichte Besiedlungen aufgebaut, dass die heimische Fauna fast gänzlich verdrängt wurde. Inzwischen werden Neozoen auch anderweitig verschleppt und überspringen natürliche Barrieren, momentan breiten sie sich an den Bodenseeufern rasch aus. Einer der agilsten und erfolgreichsten Neozoen ist der große Höckerflohkrebs, der sogar andere Neozoen aus seiner Umgebung vertreibt.

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Detaillierte Berichte und Daten zur Bestandsaufnahme für sämtliche Flussgebiete in Baden-Württemberg:  
<http://www.wrrl.baden-wuerttemberg.de>

Informationen der LUBW zum Thema Fließgewässer:  
<http://www2.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt4/fliessgewaesser/>  
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/3510/>



## 6.4 STEHENDE GEWÄSSER

### 6.4.1 BODENSEE

Der vor rund 17 000 Jahren am Ende der Würmeiszeit vom Eis allmählich freigegebene Bodensee wird seit über 160 Jahren wissenschaftlich untersucht. Geologische und biologische Erhebungen sowie einfache chemische Messungen wurden bereits im 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts vorgenommen. Umfangreichere chemische Untersuchungen des Freiwassers fanden erstmals von 1933 bis 1935 statt [ELSTER & EINSELE 1937].

In den fünfziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts machten sich auffallende Veränderungen in der Qualität des Freiwassers bemerkbar, die unter den Staaten des Einzugsgebietes die Einsicht reifen ließen, den Gewässerschutz am Bodensee als gemeinsame Aufgabe zu begreifen. Dies führte 1959 zur Gründung der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB).

#### 6.4.1.1 ENTWICKLUNG DER WASSERQUALITÄT

Auf Anregung der IGKB wurden im April 1961 regelmäßige, überwiegend monatliche Messungen von physikalischen, chemischen und biologischen Parametern an ausgesuchten Messstellen im Bodensee-Obersee und im Bodensee-Untersee aufgenommen (Abb. 6-50). Das wesentliche Anliegen war, den in den Jahren davor erstmals beobachteten und für den limnologischen Zustand des Sees entscheidenden Anstieg der Phosphorkonzentrationen

im Freiwasser zu verfolgen, seine Auswirkungen auf den See zu erforschen und Handlungsbedarf aufzuzeigen.

Die langjährigen Veränderungen der Phosphorkonzentrationen im Freiwasser des Obersees wurden schließlich zum Symbol für die zuerst negative und später positive Entwicklung des Seezustandes (Abb. 6-51). Bis heute (2005) ist der vor etwa 25 Jahren einsetzende Rückgang der Gesamtphosphorgehalte ungebrochen und im Jahr 2005 wurde erstmals nach 50 Jahren wieder die Marke von 10 µg/l unterschritten.

Die Auswirkungen dieses Rückgangs sind in vielen Bereichen des Sees deutlich sichtbar. Zahlreiche Lebensvorgänge im See, aber auch viele abiotische Prozesse, sind vom Sauerstoffgehalt des Wassers abhängig. Im tiefen Bodensee müssen vor allem die grundnahen Wasserschichten ausreichend mit dem lebenswichtigen Gas versorgt sein. Dort

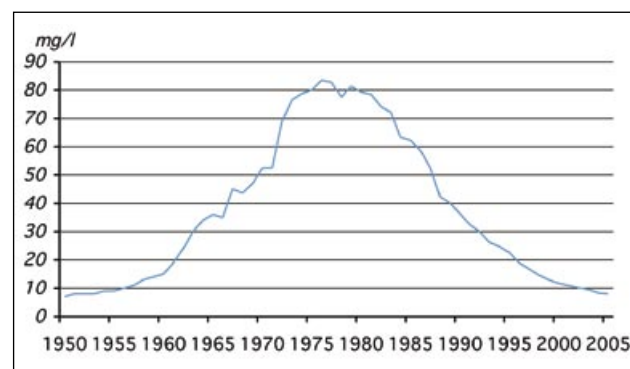
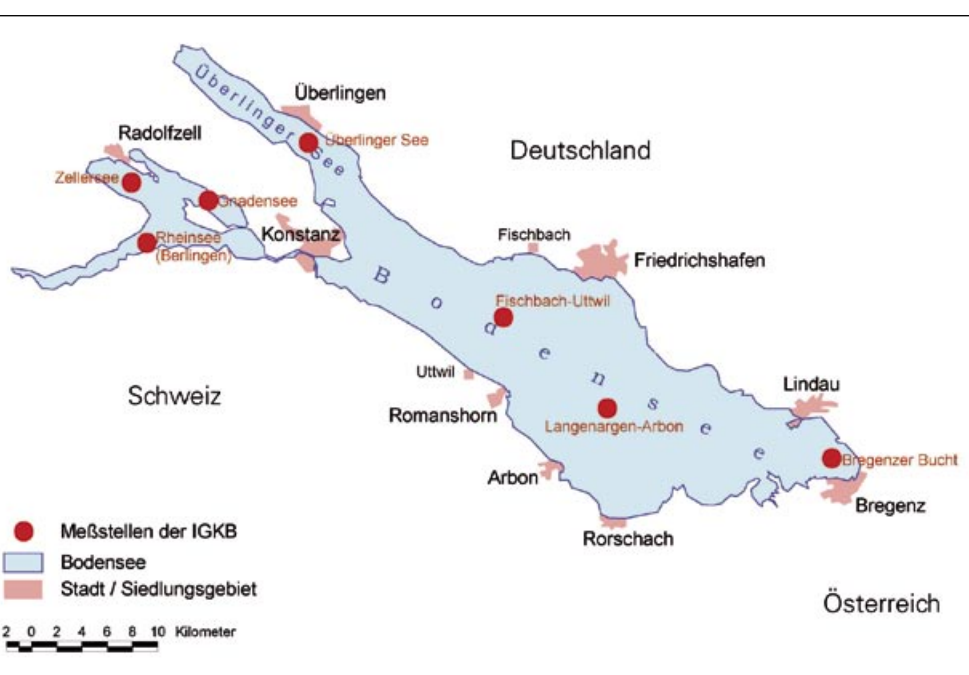


Abb. 6-51: Gesamtposphor im Bodensee-Obersee. Quelle: LUBW 2006



hin gelangt der Sauerstoff überwiegend im Winter, wenn infolge von geringen Temperatur- und Dichteunterschieden die vertikalen Wasseraustauschprozesse von der Seeoberfläche zur Seetiefe hin besonders wirksam sind (Vertikalzirkulation). Infolge des verstärkten Algenwachstums in der nachfolgenden, wärmeren Jahreszeit intensiviert sich über Grund der bakteriologische Stoffabbau und die Sauerstoffvorräte nehmen zum Herbst hin deutlich

Abb. 6-50: Untersuchungsstellen der Internationalen Gewässerschutzkommission im Bodensee. Quelle: IGKB

ab. Durch die mit dem Phosphorrückgang verbundene Abschwächung der Abbauintensität sind die herbstlichen Sauerstoffminimalwerte seit Beginn der 1990er Jahre laufend angestiegen (Abb. 6-52).

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 Ammonium sehr gering, er vermindert sich sogar noch weiter. Dies ist ebenfalls ein Hinweis auf einen weniger intensiven Abbau eiweißhaltiger, organischer Substanzen und spricht für einen deutlichen Rückgang der pflanzlichen und tierischen Produktion im See.

Die Entwicklung der Algenbiomasse (gemessen als Summen der Zellvolumina oder als Gehalt an Chlorophyll a) verlief zunächst nicht parallel zum Rückgang der Nährstoffbelastung, vielmehr wurden zwischen 1980 und 1990 vereinzelt noch hohe Jahresbiomassen des Phytoplanktons beobachtet, teilweise aber auch niedrigere Biomassen. Diese Schwankungen der Biomasse sind vor allem auf Witterungseinflüsse der Einzeljahre zurückzuführen. Die auffälligste Änderung beim Phytoplankton war jedoch die Zunahme der Feualgen und die Abnahme von Blau- und Grünalgen. Die Kieselalgen dominieren nach wie vor den Bestand und bilden in den meisten Jahren die Hälfte der Gesamtbiomasse. Seit Mitte der 1990er Jahre erfolgt bei den Kieselalgen eine Verlagerung hin zu früher dominanten Arten, die viele Jahre im Bodensee nicht mehr beobachtet worden waren. Dagegen sind die von 1975 bis 1990 häufigen und in manchen Jahren zeitweise bestandsbildenden Eutrophierungsanzeiger fast restlos verschwunden. Seit Ende der 1990er Jahre werden konstant niedrige Algenbiomassen unter 10 g/m<sup>2</sup> beobachtet, lediglich 2002 erfolgte kurzzeitig ein Anstieg auf 13 g/m<sup>2</sup>. Ein ähnlicher Trend kann auch bei den Chlorophyllgehalten abgelesen werden, die bis Mitte der 1980er Jahre noch häufig Maxima um 20 µg/l zeigten und danach, von wenigen Jahren abgesehen, fast immer unter 10 µg/l lagen (Abb. 6-53).

Die seit 1960 kontinuierlich beobachtete Entwicklung der beiden Hauptgruppen des Zooplanktons (Copepoden und Cladoceren) belegt, dass beide Gruppen ebenfalls mit Bestandsabnahmen (ausgedrückt in Individuenzahlen über einem Quadratmeter Wassersäule) auf den Nährstoffrück-

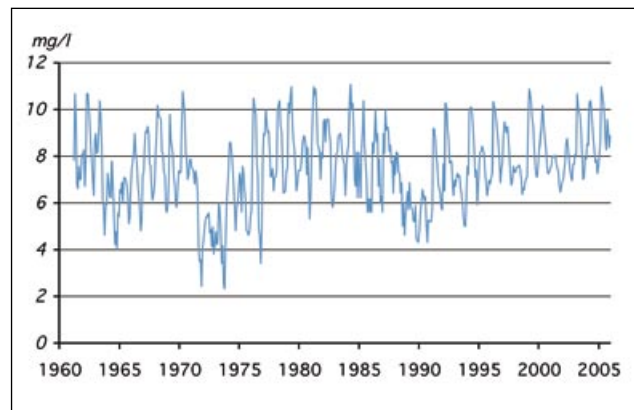


Abb. 6-52: Sauerstoffgehalte im Bodensee-Obersee in Seemitte in 1 m über Grund. Quelle: LUBW 2006

gang reagierten (Abb. 6-53): Die Maxima der Copepoden (Hüpfertiere) lagen bis Mitte der 1980er Jahre häufig über 4 Mio. Individuen/m<sup>2</sup>, während sie danach deutlich absanken und fast immer unter 2 Mio. Individuen/m<sup>2</sup> blieben. Die Individuendichte der Cladoceren (Wasserflöhe) zeigt eine ähnliche - allerdings etwas verzögerte Entwicklung - hier blieben die Bestandsdichten bis Mitte der 1990er Jahre mit maximalen Dichten um 2 Mio. Tiere/m<sup>2</sup> hoch, während sie danach bis auf eine Ausnahme (2002) deutlich unter 1 Mio. Individuen/m<sup>2</sup> lagen.

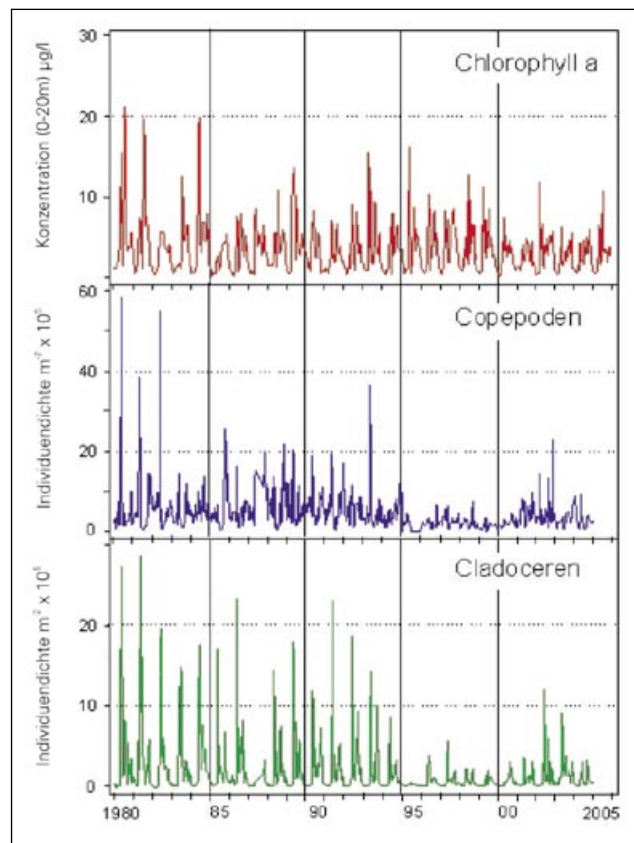


Abb. 6-53: Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons (gemessen als Chlorophyll a) und der Zooplanktons (mit den Hauptgruppen Copepoden und Cladoceren) im Bodensee-Obersee. Quelle: LUBW 2006

Auch die Fische zeigten Reaktionen auf die Zu- und Abnahme der Nährstoffgehalte im See, die bis jetzt jedoch bei der Hauptart, den Felchen, nicht mit Ertragseinbußen verbunden war. In den 1930er Jahren lag der Felchenertrag bei 330 t/a. Im Mittel der Jahre 1994 bis 2003 wurden jährlich über 733 t Felchen angelandet. Im Jahr 2004 lag der Felchenertrag mit 805,8 t um rund 3,9 % über dem Jahr 2003 und um 12,2 % über dem 10-Jahresmittel. Bezogen auf den Freiwasserbereich (40 000 ha) entspricht dies rund 20 kg/ha. Der Anteil der Felchen am Gesamtfang 2004 betrug 77%. Der Anstieg beim Felchenfang 2004 ist nicht einer kurzfristigen veränderten Bestandssituation, sondern im Wesentlichen einer besseren Anpassung der Bewirtschaftung an die Wachstumsverhältnisse der Felchen zuzuschreiben. Zur Prognose der weiteren Entwicklung des Felchenbestands im Bodensee werden in einem Forschungsprojekt die Bestandsdichten mit hydroakustischen Methoden abgeschätzt.

Der Ertrag der hauptsächlich im Uferbereich lebenden Barsche sank 2004, nach dem guten Ertrag des Jahres 2003 (231,4 t), wieder auf 153,1 t und lag damit um 15,7 % unter dem 10-jährigen Mittel. Im Gegensatz zu den Felchen sind die Fangträge beim Barsch seit Jahren unterdurchschnittlich. Der langjährige Ertrag bei der Seeforelle beträgt rund 5 t, beim Seesaibling ca. 2 t.

#### 6.4.1.2 SEEBODENPROJEKT BUS

Hinter dem Kürzel BUS verbirgt sich das Projekt „Bodensee – Untersuchung – Seeboden“, das vom Institut für Seenforschung der LUBW durchgeführt wird. Das For-

schungsvorhaben wurde von der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) sowie der Europäischen Union von Juli 2004 bis Juni 2006 finanziell gefördert. Das vorrangige Projektziel ist eine Bestandsaufnahme des Lebensraumes Seeboden. Vor dem Hintergrund der großen Erfolge bei den jahrelangen Bemühungen zur Gewässerreinigung am Bodensee soll geklärt werden, in welchem Zustand sich der Seeboden befindet und mit welchen Wechselwirkungen zwischen Wasserkörper und Sediment gerechnet werden muss.

Die flächenhaften Untersuchungen des ersten Beprobungsjahres zeigten deutliche horizontale Unterschiede bei den Stoffgruppen und Organismen. Es gibt großräumige, eindeutig zuflussgesteuerte Gradienten und kleinskalige Verteilungsmuster ohne einen klar definierten Eintragsprozess. Beispiele hierfür sind etwa die Phosphorfractionen auf einem Längsschnitt durch den See (Abb. 6-54). Die säurelösliche HCl-Fraktion (mineralisch gebunden) ist in der rheindominierten östlichen Seehälfte deutlich höher als im Westen. Bei der leichtlöslichen H<sub>2</sub>O-Fraktion bzw. der reduktiv gebundenen BD-Fraktion ist es umgekehrt. Die Verteilung des endokrin wirksamen Nonylphenol (Abb. 6-55) zeigt, dass sich im Untersee höhere Konzentrationen finden; im Obersee gibt es keine eindeutigen Gradienten.

Mit zeitlich hoch auflösenden Messungen aus dem zweiten Probenahmejahr wird die zentrale Bedeutung des Sedi-

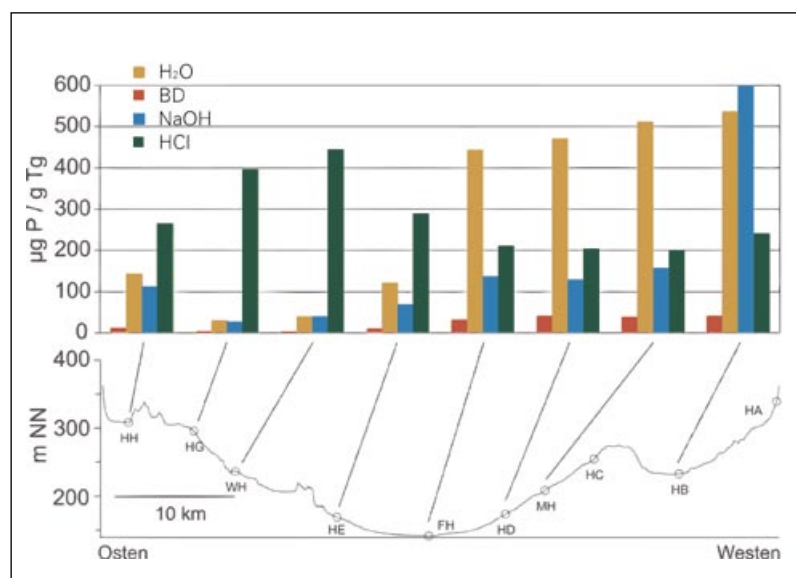


Abb. 6-54: Horizontalgradient der unterschiedlichen Phosphorfractionen im Bodensee. Quelle: LUBW 2006

Bedeutung des allochthonen Eintrags für die Sauerstoffzehrung am und im Seeboden aufzeigen. Das führt in der Folgewirkung zu geänderten Redoxbedingungen im Sediment und damit unterschiedlichem Verhalten bei der Rücklösung von Nährstoffen oder Schadstoffen.

Die chemischen Gradienten in mehreren datierten Sedimentkernen zeigen die langfristige Entwicklung der anthropogenen Schadstoffe, unter anderem polychlorierte Dibenzofurane und Dibenzodioxine. Sie belegen nachdrücklich, dass viele unerwünschte Stoffgruppen sehr erfolgreich aus der Umwelt verbannt wurden und in den jüngeren Sedimenthorizonten deutlich zurückgegangen sind.

### 6.4.1.3 BADEDERMATITIS AM BODENSEE

Die „Badedermatitis“ (volkstümlich auch Hundsblattern, Weiherbibbel etc. genannt) ist eine am Bodensee wie auch an vielen anderen Natur-Badeseen schon lange bekannte, bisweilen lästige Begleiterscheinung des Badevergnügens. Dabei handelt es sich um den Befall mit so genannten Zerkarien (im Volksmund „Entenflöhe“), die als Larven parasitischer Würmer aus infizierten Wasserschnecken ausschlüpfen und Enten als ihre natürlichen Endwirte aufsuchen. Sie befallen aber auch andere Warmblüter, so auch den Menschen. Das ist gesundheitlich unbedenklich, da die Organismen im „falschen“ Endwirt nicht überleben. Sie lösen aber Abwehrreaktionen und damit verbunden lästigen Juckreiz aus.

Wegen gehäuften Auftretens in den letzten Jahren wurde ein Untersuchungsvorhaben auf den Weg gebracht, an dem neben dem Institut für Seenforschung der LUBW die Universitäten Konstanz und Erlangen, die Max-Planck Forschungsstelle für Ornithologie sowie das Landesgesundheitsamt und die örtlichen Gesundheitsämter beteiligt waren. Ziel des Vorhabens war die Schaffung einer verbesserten Grundlage zur Bewertung des Befallsrisikos sowie die Suche nach wirksamen Mitteln zur Vermeidung des Befalls.

Die Untersuchungsbefunde zeigen, dass die Wirts-Schnecken für die Dermatitis auslösenden Zerkarien weit überwiegend zur Gattung *Radix* (Ohrschlamm-Schnecke) gehörten. Dabei wurden befallene Schnecken vor allem im westlichen Seebereich und im Untersee gefunden (Abb. 6-56). Die Schnecken sind in der Flachwasserzone nicht auf die Seichtbereiche beschränkt, sondern können bis 10 m Wassertiefe auftreten. Die meisten Schnecken wurden auf Steinen und auf Schlamm gefunden. Makrophyten wiesen keine Besiedlung mit Wirts-Schnecken auf. Die Zerkarien überleben im Wasser potenziell relativ lange (> 72 h), sie erleiden aber unter Freilandbedingungen hohe Verluste durch natürliche Fressfeinde. Am Landesgesundheitsamt durchgeführte molekularbiologische Untersuchungen belegten, dass die Zerkarien zu der erstmals an den Oberrhein-Baggerseen beobachteten neuen Art *Trichobilharzia franki* gehört, die im Vergleich zu früher bekannten Arten höhere Befallsraten bei Schnecken und damit auch ein

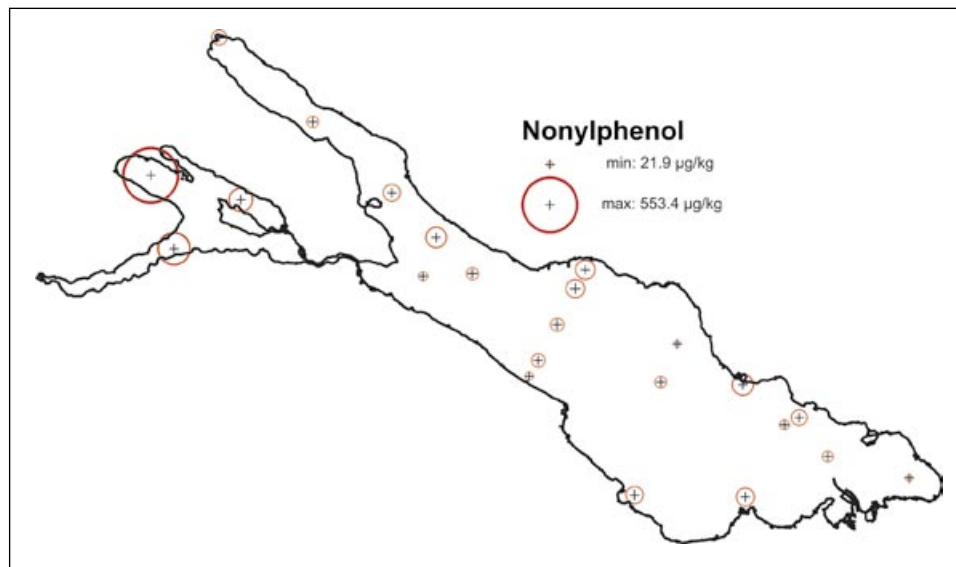


Abb. 6-55: Verteilung des endokrin wirksamen Nonylphenol in Oberflächensedimenten des Bodensees. Quelle: LUBW 2006

erhöhtes Befallsrisiko für Badende aufweist. Als einzige derzeit mögliche Schutzmaßnahme kann den Badenden empfohlen werden, die Haut vor dem Baden mit einer Schutz-Creme einzureiben. Eine solche Creme wurde von der Arbeitsgruppe der Universität Erlangen entwickelt und nachgewiesen, dass sie das Eindringen der Zerkarien in die Haut wirksam verhindert.

### 6.4.1.4 FÄKALKEIMBELASTUNG DURCH WASSERVÖGEL

Im Zusammenhang mit der 2004 beschlossenen Novellierung der EU-Badegewässerrichtlinie (die u. a. eine teilweise Änderung der erfassten Indikatorbakterien und Verschärfung der entsprechenden Grenz- und Leitwerte beinhaltet) wurde vom Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (UVM) 2004/2005 ein Untersuchungsprogramm auf den Weg gebracht, das die Auswirkungen dieser Novellierung für den Badebetrieb am Bodensee bewerten

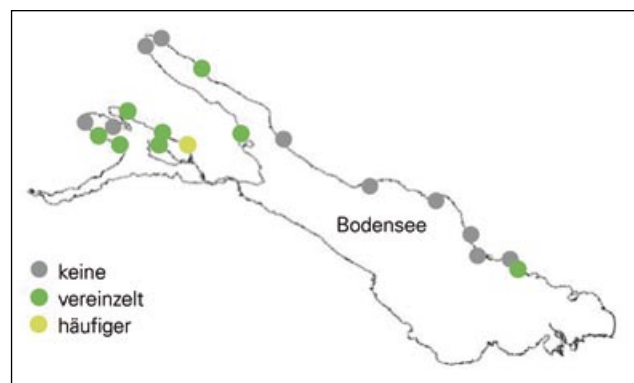


Abb. 6-56: Überwachungsprogramm Badedermatitis am badenwürttembergischen Bodensee-Ufer (Badesaison 2003 – 2005) mit Untersuchungsstellen und Nachweis von Schnecken mit Zerkarieninfektion. Quelle: LUBW 2006

sollte. Dabei sollte u. a. auch der Frage nachgegangen werden, ob mit der neuen Regelung schon aufgrund der „natürlichen“ Belastung durch Wasservögel ein erhöhtes Risiko von Badeverboten drohe und sich damit ein Interessenskonflikt zwischen Badenutzung und Naturschutz ergeben könne.

Diese Fragestellung wurde zunächst anhand bereits vom Landesgesundheitsamt (LGA) erhobener Überwachungsdaten überprüft, darüber hinaus wurden neue Erhebungen durch das Institut für Seenforschung der LUBW vorgenommen, bei denen unterschiedlich mit Wasservögeln belastete Seearale untersucht wurden. Hierzu wurden in der Badesaison zwischen Mai und September Beprobungen von zehn Badestellen auf *Escherichia coli* (E.coli) und interstinale Enterokokken in Wasser und an drei Stellen zusätzlich im Sediment (Hegne, Mainausteg, Eriskirch) vorgenommen. Zusätzlich wurde die Vogelbelastung mehrfach in einem besonders dicht mit Wasservögeln besiedelten Testareal am Untersee bei Hegne flächenhaft erfasst.

Ingesamt belegen die Untersuchungsergebnisse, dass am Bodensee die Belastung durch Fäkalkeime von Wasservögeln auch in Bereichen hoher Vogeldichten vergleichsweise gering ist. So wurden die niedrigsten Belastungswerte der beprobten Untersuchungsstellen in dem als Testareal ausgewählten Vogelschutzgebiet gefunden, wobei sich dort alle gefundenen Werte unter den alten und neuen Leitwerten bewegten. Demgegenüber waren - insbesondere für die E.coli-Gruppe - Befunde mit höheren Keimbelastungen durchwegs auf Einträge aus dem Siedlungsbereich zurückzuführen. Für die neu hinzugekommene Indikatorgruppe der intestinalen Enterokokken war der relative Anteil der Vogelbelastung etwas höher, jedoch bewegten sich die Werte ebenfalls unterhalb des kritischen Bereichs. Aus den vorliegenden Befunden ergeben sich somit keine Hinweise dafür, dass mit der Einführung der neuen Badegewässerrichtlinien am Bodensee Badeverbote aufgrund der Keimbelastung durch Wasservögel drohen.

#### 6.4.2 KLEINERE SEEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG

In Baden-Württemberg gibt es über 4 000 Seen und Weiher, die jeweils über eine Größe von mindestens 2 000 m<sup>2</sup> verfügen. Diese Gewässer mit einer Gesamtfläche von etwa 6 500 ha prägen nicht nur die Schönheit der Landschaft, sondern sind auch Lebensräume von größter ökologischer Qualität und Wichtigkeit. Darüber hinaus dienen viele von

ihnen dem Menschen von alters her als Wasserspeicher (Trink-, Lösch- und Brauchwasser), Hochwasserrückhaltebecken, Fischgewässer und Badeseen.

Durch Abwassereinleitungen, intensive landwirtschaftliche Nutzung ihrer Einzugsgebiete, sauren Regen und andere negative Einflüsse sind die meisten dieser Seen erheblichen Belastungen ausgesetzt. Bekannte Schlagworte wie Eutrophierung und Versauerung beschreiben diesen Sachverhalt.

Die Einleitung von Stoffen vielfältiger Art sowie strukturelle Eingriffe in die Landschaft durch den Menschen bleiben nicht ohne Wirkung auf den Zustand der Gewässer. Die natürliche Entwicklung der Seen, wie beispielsweise ihre Verlandung, die ohne menschliches Zutun in Zeiträumen von Jahrtausenden abläuft, wird so auf Jahrhunderte und in Extremfällen auf Jahrzehnte verkürzt. Massenproduktionen von Pflanzen und Tieren als Folge übermäßiger Düngung führen zu verstärkter Abbauintensität unter erheblichem Sauerstoffverbrauch. Vor allem tiefere Seebereiche werden anaerob und liefern dann die Voraussetzungen zur Bildung unterschiedlicher Schadstoffe wie beispielsweise Schwefelwasserstoff oder Ammoniak.

##### 6.4.2.1 ÜBERWACHUNGSPROGRAMME

Mit der Erstellung eines „Seenkatasters“ wurden bislang 4 500 stehende Gewässer nach Lage, Größe und Besitzverhältnissen erfasst. Für 350 aus dem Kataster ausgewählte Gewässer wurde eine Zustandsbeschreibung anhand einfach erfassbarer geographischer, hydrographischer, chemischer und biologischer Kenngrößen vorgenommen [KÜMMERLIN 1994a, b]. Zudem wurde für 44 über das Land verteilte Seen eine umfassende Bestandsaufnahme der Nähr- und Schadstoffbelastung anhand der Erfassung zahlreicher, vorwiegend chemischer Parameter erstellt [ROSSKNECHT 1992]. Daneben wurden auch „Modelluntersuchungen“ durchgeführt, in deren Rahmen Lebensgemeinschaften und Stoffhaushalt einzelner Seen besonders eingehend untersucht wurden.

Im Zuge der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) besteht seit 2004 für alle Seen größer 50 ha eine Überwachungspflicht. In Baden-Württemberg sind davon neben dem Bodensee acht natürliche Seen und Stauseen sowie 16 Baggerseen betroffen. Hierzu soll der ökologische Zustand von Seen wie bei allen Oberflächen-

gewässern anhand der Erfassung unterschiedlicher Qualitätskomponenten festgestellt werden. Dabei werden vier biologische Qualitätskomponenten (Phytoplankton, Makrophyten und Phytobenthos, Zoobenthos, Fische) sowie chemische Komponenten berücksichtigt, die jeweils mindestens einen guten Zustand aufweisen müssen. Weitere physikalisch-chemische und hydromorphologische Komponenten unterstützen die Bewertung zusätzlich. Für alle Komponenten erfolgt die Bewertung entsprechend der Abweichung des Ist-Zustandes von einem dem „sehr guten ökologischen Zustand“ entsprechenden Referenz-Zustand. Für diesen wird angenommen, dass er dem „potenziell natürlichen Zustand“ ohne anthropogene Belastungen entspricht.

Nach der inzwischen erfolgten Anpassung der Überwachungsprogramme an diese Vorgaben wird die Zustandsbewertung nach WRRL bis 2008 abgeschlossen werden. Für

eine vorläufige Gefährdungsabschätzung der Seen wurden zunächst die Trophie nach LAWA und der Anteil der gewässertypischen Uferausprägung (bei Baggerseen zusätzlich der Sauerstoffgehalt des Tiefwassers) berücksichtigt. Nach dieser Ersteinschätzung wird für die meisten Seen kein Gefährdungsrisiko festgestellt. Die Flachwasserzone des Bodensee-Obersees wird als Sonderfall behandelt. Hier wird ein mögliches Risiko für die Erreichung des guten Zustandes aufgrund des hohen Verbauungsgrades postuliert. Für den Federsee wird aufgrund seiner Trophie eine Gefährdung der Zielerreichung ausgewiesen (Tab. 6-5).

#### 6.4.2.2 FEDERSEE

Der Federsee ist der größte süddeutsche Flachsee und eines der bedeutendsten Naturschutzgebiete Baden-Württembergs (Abb. 6-57). Durch mehrere Absenkungen des Seespiegels, Einleitung häuslicher Abwässer und intensive landwirtschaftliche Nutzung seines Einzugsgebietes

Tab. 6-5: Vorläufige Gefährdungsabschätzung natürlicher und künstlicher Seen Baden-Württembergs mit einer Fläche größer 50 ha. Quelle: LUBW 2006

Kategorie	Trophie*	Uferausprägung**	Integrale Bewertung ökologischer Zustand		Bewertung chemischer Zustand***	
			■ nicht gefährdet	■ gefährdet	■ nicht gefährdet	■ gefährdet
Bodensee (Obersee)						
- Freiwasser international	natürlich	mesotroph	--			
- Flachwasserzone BW	natürlich		50	Sonderfall		
Bodensee-Untersee	natürlich	mesotroph	57			
Mindelsee	natürlich	mesotroph	95			
	erheblich					
Schluchsee (Stausee)	verändert	mesotroph	85			
Titisee	natürlich	mesotroph	80			
Schwarzenbach Talsperre	künstlich	mesotroph	65			
Talsperre Kleine Kinzig	künstlich	mesotroph	80			
Goldkanal	künstlich	eutroph	-			
Knielinger See	künstlich	eutroph	45			
Gießensee	künstlich	mesotroph	-			
Kieswerk Krieger	künstlich	oligotroph	-			
Rußheimer Altrhein	künstlich	eutroph	40			
Baggersee Mittelgrund	künstlich	oligotroph	-			
Glaser-See	künstlich	oligotroph	-			
Ruff Fläche See	künstlich	oligotroph	-			
Rohrköpflesee	künstlich	mesotroph	-			
Steingrundsee	künstlich	mesotroph	-			
Insel Korsika	künstlich	eutroph	50			
Kernsee	künstlich	mesotroph	-			
Erlichsee	künstlich	mesotroph	50			
Baggersee Kern / Peter	künstlich	oligotroph	-			
Baggersee Kühl / Peter	künstlich	mesotroph	-			
Federsee	natürlich	polytroph2	95			
Illmensee	natürlich	mesotroph	90			
Rohrsee	natürlich	eutroph1	95			

\* "Ist"-Trophie nach LAWA/Lfu  
 \*\* Anteil dem Gewässertyp entsprechend in %; Baggerseen in Auskiesung ohne Bewertung  
 \*\*\* Schadstoffe nach WRRL, Anhang IX und X, RL 76/464/EWG  
 Baggerseen

wurden die natürlichen Verlandungsprozesse in den letzten 200 Jahren erheblich beschleunigt. Der hohe Eintrag von Pflanzennährstoffen führte zu einschneidenden Veränderungen in der Biozönose dieses artenreichen Moorsees. So wandelte er sich Anfang der 1960er Jahre von einem Makrophyten- zu einem Algensee.

Obwohl bereits Ende 1981 eine Ringleitung zur Aufnahme der häuslichen Abwässer in Betrieb ging, blieben nach anfänglicher Abnahme die Phosphorgehalte des Sees sehr hoch (Abb. 6-58). Der Grund dafür liegt, neben den noch vorhandenen Nährstoffeinträgen, insbesondere in den hohen, leicht remobilisierbaren Phosphorreserven der Sedimente.

Ein Beleg für diese Phosphor-Remobilisierung ist beispielsweise der parallel zum saisonalen Phosphorzyklus beobachtbare Eisenkreislauf (Abb. 6-59). Mit zunehmender Intensivierung des Abbaus von Biomasse im Verlauf des sommerlichen Wachstums kommen chemische Prozesse in der Sedimentoberfläche in Gang, die schließlich eine

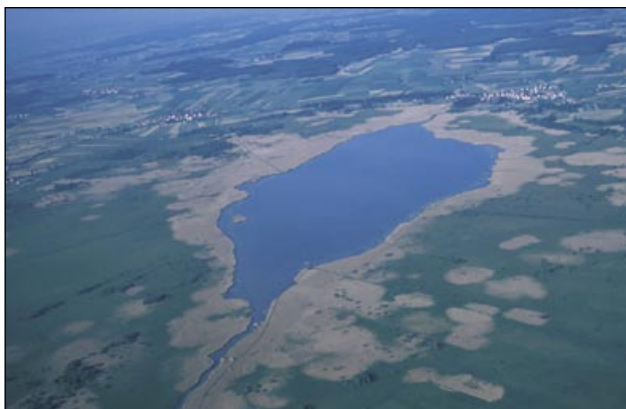


Abb. 6-57: Der Federsee (Foto: L. ZIER).

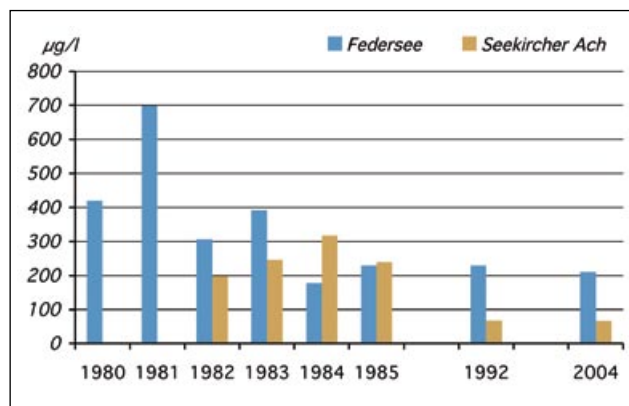


Abb. 6-58: Gesamtposphorgehalte im Federsee und in seinem Hauptzufluss Seekircher Ach in verschiedenen Untersuchungsjahren (Jahresmittel). Quelle: LUBW 2006

spontane Freisetzung von Eisen und des zum Teil an Eisen gebundenen Phosphors verursachen. Im extrem flachen Federsee steht dann dieser Nährstoffschub unmittelbar für neues Algenwachstum zur Verfügung. Der See düngt sich selbst.

An diesem Kreislauf hat sich in den vergangenen 20 Jahren nur wenig geändert. Offenbar werden die seeinternen Phosphorreserven von Jahr zu Jahr ohne größere Verluste recycelt.

Eine besondere Rolle spielt auch der Stickstoff im Federsee. Die Mittelwerte der gelösten anorganischen Stickstoffverbindungen in den ausgewählten Beobachtungsjahren seit 1980 zeigen von Jahr zu Jahr merkliche Schwankungen, aber keinen eindeutigen Trend (Abb. 6-60). Sie liegen überwiegend als Nitrat vor und werden im Sommer zeitweise limitierend (Abb. 6-61). In dieser Zeit erreichen die vorherrschenden Blaualgen im See ihre Maximalwerte und Chlorophyll-Konzentrationen von über 100 bis 150 µg/l sind keine Seltenheit (Abb. 6-62).

Generell ist der Federsee mit Pflanzennährstoffen reichlich versorgt und wird deshalb als einziges natürliches, stehendes Gewässer Baden-Württembergs als gefährdet eingeschätzt (Tab. 6-1). Während die Stickstoffzufuhren seit Jahrzehnten vergleichsweise hoch blieben, stammt der Phosphor überwiegend aus den Sedimentdepots. Die trophische Zukunft des Sees wird daher einerseits von der Entwicklung der diffusen Stickstoffeinträge aus dem Umland und andererseits von der sehr langsam verlaufenden Abnahme des remobilisierbaren Sedimentphosphors abhängen.

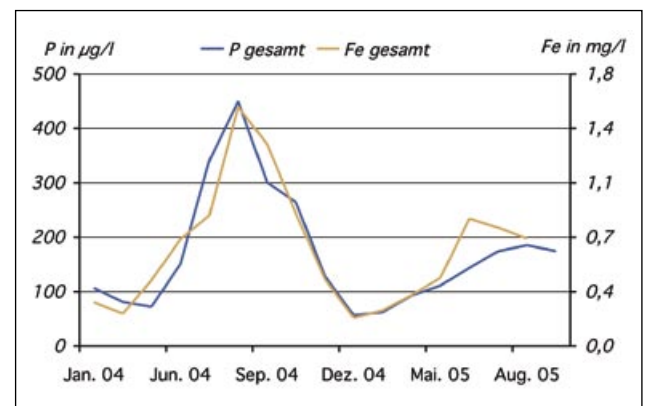


Abb. 6-59: Phosphor- und Eisenkonzentrationen im Wasser des Federsees 2004 und 2005. Quelle: LUBW 2006

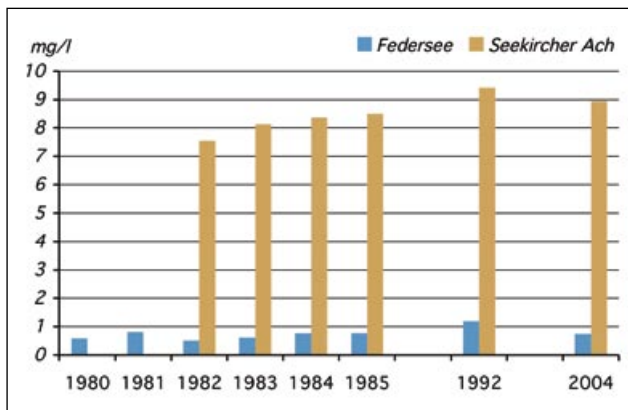


Abb. 6-60: Gelöster anorganischer Stickstoff im Federsee und in seinem Hauptzufluss Seekircher Ach in verschiedenen Untersuchungsjahren (Jahresmittel).  
Quelle: LUBW 2006

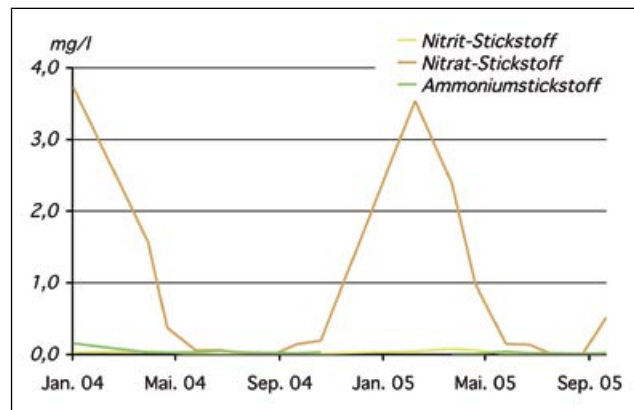


Abb. 6-61: Nitrit-, Nitrat- und Ammoniumstickstoff im Federsee 2004 und 2005. Quelle: LUBW 2006

## INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB):

<http://www.igkb.de>

Bodenseedaten:

<http://www.bodensee-hochwasser.info/>

## 6.5 ABWASSER

### 6.5.1 KOMMUNALES ABWASSER

Auf der Grundlage der Richtlinie der Europäischen Union über die Behandlung von kommunalem Abwasser vom 21. Mai 1991 (91/271/EWG) wird in Baden-Württemberg alle zwei Jahre ein Lagebericht über die Beseitigung von kommunalen Abwässern und Klärschlamm veröffentlicht [UM 2005]. Für das Land Baden-Württemberg beschreibt der Lagebericht vom Juli 2005 die Situation im Jahr 2004. Grundlage für den Bericht ist eine Vielzahl von Untersuchungen über die Reinigungsleistung der Kläranlagen, die sich aus der amtlichen Überwachung und der Eigenkontrolle der Anlagenbetreiber zusammensetzen. Aus dem Lagebericht ergeben sich die folgend dargestellten wesentlichen Informationen.

#### 6.5.1.1 KLÄRANLAGEN

In Baden-Württemberg werden rund 1 100 kommunale Abwasserbehandlungsanlagen betrieben. Die Gesamtausbaugröße von 21 Mio. Einwohnerwerten (EW) setzt sich in etwa zu gleichen Teilen aus tatsächlichen Einwohnern (E) und Einwohnergleichwerten (EGW) von Gewerbe und Industrie zusammen. Die Planung von siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen muss immer vorausschauend die

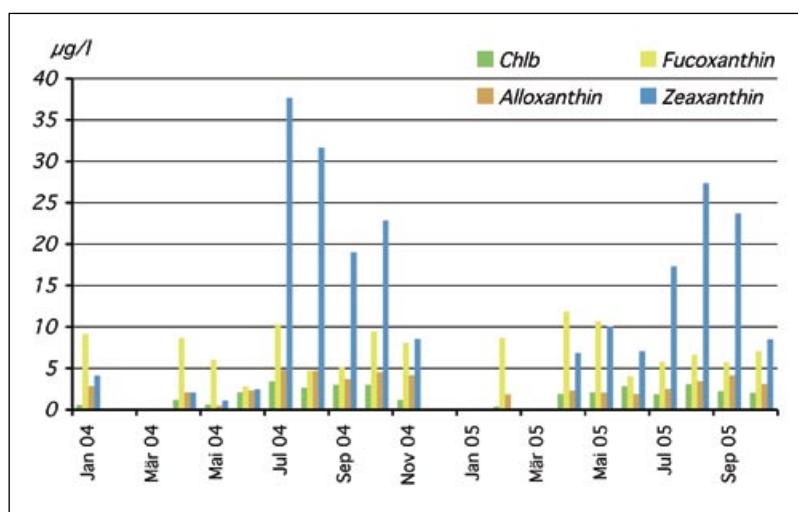


Abb. 6-62: Entwicklung der Algenpigmentkonzentrationen 2004/05 in 0-1 m. Quelle: LUBW 2006

absehbaren Veränderungen berücksichtigen. Daher enthalten die genannten Zahlen zu einem geringen Teil auch Kapazitätsreserven.

Die Ausbaugröße der baden-württembergischen Abwasserbehandlungsanlagen und der aktuelle Stand bei der Entfernung der organischen Belastung, der Stickstoffelimination - mit den Teilprozessen Nitrifikation und Denitrifikation - sowie der Phosphorelimination sind in Tabelle 6-6 dargestellt.

Im Hinblick auf die Stickstoffentnahme wurden große Anstrengungen - vor allem bei den großen Klärwerken - unternommen. Die gesamte, den Kläranlagen in Baden-Württemberg zugeleitete Stickstofffracht wird um ca. 75%, die Phosphorfracht um rund 89 % reduziert. Aus allen Kläranlagen zusammen werden in Baden-Württemberg täglich rund 44,5 t Stickstoff und rund 3,1 t Phosphor in die Gewässer geleitet.



Die nach den Kläranlagen-Größenklassen ausgewerteten Abbauleistungen in Bezug auf chemischen Sauerstoffbedarf (CSB), Stickstoff- und Phosphorabbau zeigt Abbildung 6-63. Beim CSB-Abbau zeigen sich keine signifikanten Unterschiede bei Betrachtung der Größenklassen. Bei der Stickstoffentfernung schneiden nur die Kläranlagen der kleinsten Größenklasse (< 2 000 EW) schlechter ab. Bei

Tab. 6-6: Abwasserbehandlungsanlagen nach Größenklassen und Stand der Anforderungen an CSB- und Nährstoff-elimination. Stand: 31.12.2004. Quelle: UM 2005

Größenklasse EW	Anzahl der Kläranlagen	Summe Ausbaugröße EW	Anzahl der Kläranlagen, die noch nicht alle Anforderungen einhalten		
			CSB	Stickstoff, ges	Phosphor, ges
< 2.000	394	286.827	1	2	5
2.000 - 10.000	357	1.769.356	1	3	3
10.001 - 100.000	295	9.233.990	1	25	2
> 100.000	36	9.411.000	0	2	0
Summe	1.082	20.701.173	3	32	10

EW = Einwohnerwert CSB = Chemischer Sauerstoffbedarf

der Phosphorentfernung ist eine höhere Leistungsfähigkeit größerer Anlagen deutlich festzustellen.

Insbesondere bei Stickstoff ist die Abbauleistung nicht befriedigend. Dies dürfte bei vielen Kläranlagen auf eine zu hohe Belastung mit Fremdwasser zurückzuführen sein. Fremdwasser entsteht, wenn Grundwasser in undichte Kanäle eindringt oder wenn Quellwasser oder das Wasser von Hausdrainagen über die Kanalisation abgeleitet wird. Durch Fremdwasser verdünnte CSB-Zulaufkonzentrationen weisen darauf hin, dass bis zu 70 % aller Kläranlagen in Baden-Württemberg einen Fremdwasseranteil von über 50 % haben könnten. Bei der Größenklasse über 100 000 EW trifft das noch auf die Hälfte der Anlagen zu. Fremdwasseranteile von über 50 % führen häufig dazu, dass eine größere Schadstofffracht in ein Gewässer eingeleitet wird, als dies nach dem Stand der Technik möglich wäre. Daher

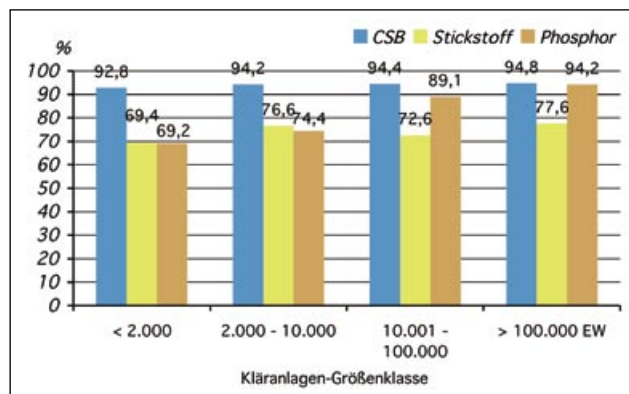


Abb. 6-63: Abbau der CSB-, Stickstoff- und Phosphorfracht unterschiedlich großer Kläranlagen. Stand: 31.12.2004. Quelle: UM 2005

ist vor einem weiteren Ausbau einer Kläranlage zur Verbesserung der Abbauleistung auch die Fremdwasserproblematik zu untersuchen.

### 6.5.1.2 KANALISATION UND REGENWASSER-BEHANDLUNG

Der Ausbau der Regenwasserbehandlung stellt eine wichtige Teilkomponente des Gewässerschutzkonzeptes der Landesregierung dar. Mit dem Bau von Regenbecken wurde bereits in den 1970er Jahren begonnen. Der Ausbaugrad ist auch in den vergangenen Jahren stetig angestiegen (Abb. 6-64). Das insgesamt in Baden-Württemberg erforderliche Beckenvolumen beträgt ca. 3,8 Mio. m<sup>3</sup>. Ende des Jahres 2004 waren etwa 3,4 Mio. m<sup>3</sup> realisiert, was einem landesdurchschnittlichen Ausbaugrad von ca. 89 % entspricht.

In Baden-Württemberg sind etwa 65 000 Kilometer öffentliche Kanäle verlegt. Rund 74 % davon sind Mischsysteme, in denen Schmutz- und Niederschlagswasser gemeinsam abgeleitet werden. Daneben kommen mit regionalen Schwerpunkten auch Trennsysteme, bei denen Schmutz- und Niederschlagswasser in separaten Kanalleitungen abgeführt werden, zum Einsatz. Beide Systeme folgen historisch bedingt der Maxime einer schnellstmöglichen Ableitung des auf versiegelten Flächen angefallenen Niederschlagswassers.

Das Land Baden-Württemberg möchte dieser Entwicklung entgegenwirken und mit den Elementen von modifizierten Entwässerungsverfahren (z. B. Minimierung der Versiegelung, dezentrale Versickerung, Gründächer, Regenwassernutzung, getrennte Ableitung und Retention von nicht behandlungsbedürftigem Niederschlagswasser) neue Ansätze

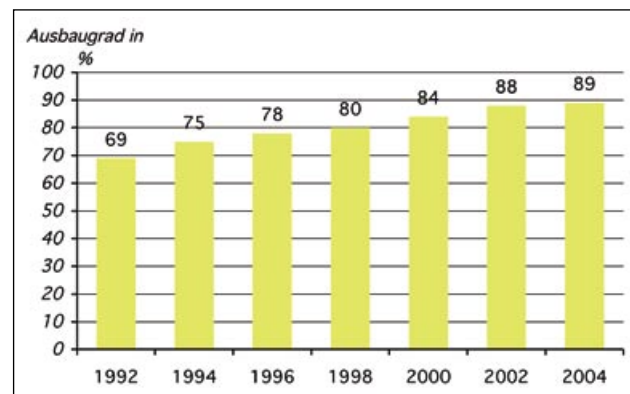


Abb. 6-64: Entwicklung der Regenwasserbehandlung in Baden-Württemberg. Quelle: UM 2005

vorgeben. Insbesondere bei Planung und Erschließung von Neubaugebieten aber auch bei Entsiegelungsmaßnahmen in bestehenden Baugebieten sollen diese neuen Ansätze auf breiter Basis realisiert werden.

Die Auswirkungen der Bebauung auf den Abfluss der Niederschläge, insbesondere die hydraulische Überlastung von kleinen Gewässern und die Entlastungshäufigkeit von Abwasserkanälen im o. g. Mischsystem, sollen unter angemessener Berücksichtigung des Grundwasserschutzes verringert werden. Dazu wird angestrebt, die durch die Ableitung von Niederschlägen aus Siedlungsflächen erhöhten Spitzenabflüsse in kleinen Vorflutgewässern auch bei weiterer Bebauung nicht weiter anwachsen zu lassen bzw. wieder zu verringern. Das Auftreten von Hochwasserereignissen in größeren Gewässern kann allerdings durch diese nur lokal wirksamen Maßnahmen in den Siedlungsgebieten nicht in relevantem Umfang beeinflusst werden.

#### 6.5.1.3 DEZENTRALE ENTWÄSSERUNG

Der zielgerichtete und zügige Ausbau der Abwasseranlagen hat zu einem hohen Anschlussgrad an die Kanalisation und an kommunale mechanisch-biologische Abwasserbehandlungsanlagen von über 98 % geführt. Rund 150 000 Einwohner sind noch nicht an kommunale mechanisch-biologische Kläranlagen angeschlossen. Es handelt sich hierbei um Einwohner sehr kleiner Gemeinden, Gemeindeteile oder von Einzelanwesen im ländlichen Raum.

Die Abwässer dieser Einwohner werden oftmals über private Kleinkläranlagen wie naturnahe Verfahren, Pflanzenbeete oder Abwasserteiche und technische Verfahren wie Belebungsanlagen oder Tropfkörper entsorgt. Rund 60 000 Einwohner sollen in den nächsten Jahren noch an die zentrale Kanalisation angeschlossen werden (z. B. über kostengünstige Druckentwässerungsleitungen „Pumpe und Schlauch“). Das Abwasser etwa 1 % der Einwohner Baden-Württembergs wird nach derzeitiger Einschätzung dauerhaft dezentral entsorgt.

#### 6.5.1.4 KLÄRSCHLAMM

In Baden-Württemberg fielen im Jahr 2004 rund 285 000 t Klärschlamm (Trockensubstanz, TS) zur Verwertung bzw. zur Beseitigung an. Die Hauptentsorgungspfade des anfallenden Klärschlammes (Abb. 6-65) sind:

- Verbrennung,
- Verwendung im Landbau und
- landwirtschaftliche Verwertung.

Die Vorgaben der Technischen Anleitung Siedlungsabfall wirkten sich bereits vor Inkrafttreten im Juni 2005 auf die Ablagerung von Klärschlamm auf Deponien aus. So hat sich der Anteil des in Deponien aufgebracht Klärschlammes in den vergangenen Jahren erheblich reduziert. Stattdessen hat die Verbrennung von Klärschlämmen in den letzten Jahren einen hohen Anteil erreicht.

Das Land Baden-Württemberg hat sich aus Gründen des vorsorgenden Bodenschutzes für die energetische Verwertung aller Klärschlämme ausgesprochen und fördert entsprechende Maßnahmen.

#### 6.5.2 INDUSTRIEABWASSER

Mit der Einführung des Europäischen Schadstoffemissionsregisters EPER (s. Kasten) wurden große Betriebe verpflichtet, neben Emissionen in die Luft auch ihre Emissionen in Gewässer (Direkteinleitung) und in externe Kläranlagen (Indirekteinleitung) zu berichten. Mit dieser Erhebung stehen der Öffentlichkeit erstmals systematisch Daten zu industriellen Abwasseremissionen auch für Baden-Württemberg zur Verfügung.

Die erste EPER-Berichterstattung fand 2003 mit Daten des Jahres 2001 statt. Für die zweite Berichterstattung, die 2006 mit Daten aus 2004 erfolgte, wurden für Baden-Württemberg insgesamt 419 Betriebe, die der Richtlinie zur integrierten Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzung (IVU) unterliegen, angeschrieben. Von denen liegen 2006 71 und somit 17 % über den vorgegebenen Schwellenwerten. Im Vergleich zur ersten Datenerhebung zum EPER im Jahr 2003 erhöhte sich die Zahl der berichtspflichtigen Betriebe um drei Betriebe (Abb. 6-66). Dabei schieden 15 Betriebe aus dem Register aus, während 18 Betriebe neu hinzukamen.

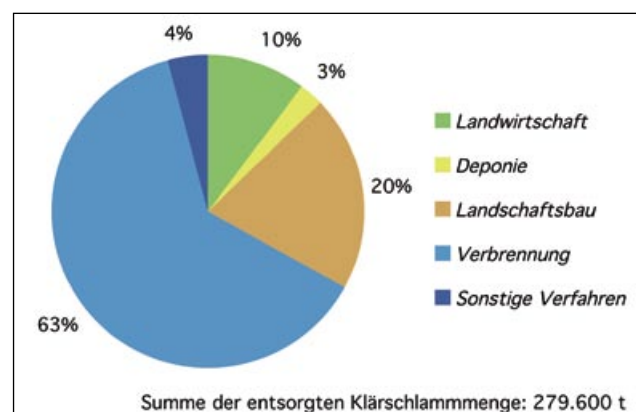


Abb. 6-65: Entsorgung von Klärschlamm in Baden-Württemberg 2005. Quelle: Statistisches Landesamt 2006

Wie die Auswertung nach Branchen (IVU-Quellenkategorien) ergab, stammte mit 15 Betrieben bei der zweiten EPER-Berichterstattung die höchste Anzahl gemeldeter Betriebe aus der Papierindustrie (IVU-Quellenkategorie Herstellung von Zellstoff, Papier oder Pappe), gefolgt von der Nahrungsmittelindustrie mit 14 gemeldeten Betrieben (IVU-Quellenkategorie Schlachthöfe, Milch, tierische oder pflanzlichen Rohstoffe) (Abb. 6-67). Dabei handelt es sich größtenteils um Jahresfrachten zum Parameter Organischer

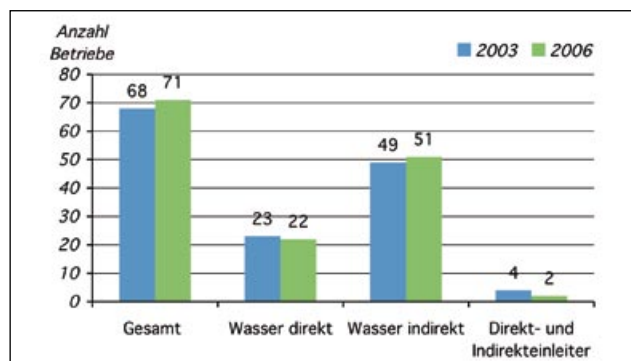


Abb. 6-66: Anzahl der Betriebe mit berichtspflichtigen Wasseremissionen in Baden-Württemberg nach Art der Einleitung. Quelle: EPER 2006

Kohlenstoff gesamt (TOC). Es folgen die organisch-chemische Industrie, die Textilveredlung und die Metallindustrie. Damit ergibt sich für die zweite EPER-Berichterstattung ein ähnliches Bild wie bei der ersten Erhebung in 2003.

Abbildung 6-68 zeigt die Auswertung nach Schadstoffen, d.h. die Summen der Frachten für alle Schadstoffe der Direkteinleiter, die für EPER gemeldet wurden. Aufgrund der großen Unterschiede zwischen den Parametern erfolgt die Darstellung in logarithmischer Skalierung. Über den einzelnen Säulen steht die Anzahl der EPER-Betriebe, die den jeweiligen Schadstoff berichtet haben. Mit 4,9 Mio. kg/a bildet der Parameter TOC die mengenmäßig bedeutendste Fracht, gefolgt von der Schadstoffgruppe der Chloride mit 2,3 Mio. kg/a.

Für die indirekt eingeleiteten Schadstoffe zeigt Abbildung 6-69, ebenfalls in logarithmischer Skalierung, zumindest für den Spitzenreiter ein ähnliches Bild. Hier bildet die Emission von TOC mit 7,5 Mio. kg/a die Spitze, gefolgt von Stickstoff (als Summenparameter) mit 406 000 kg/a.

Sowohl von den Direkteinleitern als auch von den Indirekteinleitern wurden jeweils 14 der insgesamt 26 Wasser-schadstoffe gemeldet, davon sind 10 Schadstoffe für die erste wie auch die zweite EPER-Berichterstattung identisch.

Bei den Schadstofffrachten in indirekt eingeleitetem Abwasser ist zu beachten, dass diese nicht mit denjenigen in Direkteinleitungen vergleichbar sind, da sie vor der Einleitung in ein Gewässer einer weiteren Abwasserbehandlung unterzogen und damit in der Regel deutlich reduziert werden.

Seit April 2004 kann sich die Öffentlichkeit im Internet direkt über die Emissionen einzelner Betriebe in Deutsch-

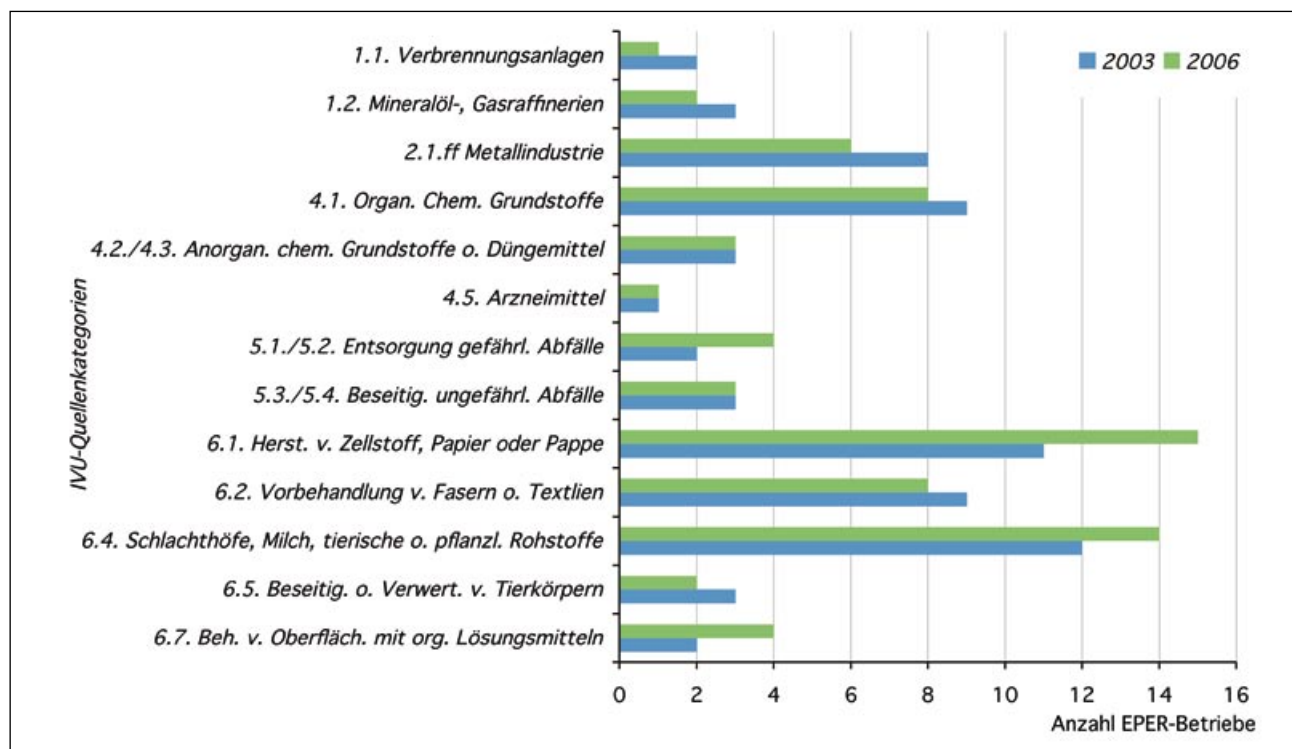


Abb. 6-67: Anzahl der Betriebe mit berichtspflichtigen Wasseremissionen nach IVU-Quellenkategorie im Jahr 2004. Quelle: EPER 2006

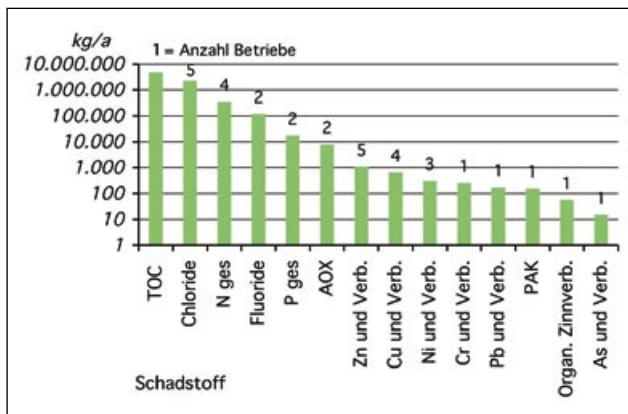


Abb. 6-68: Frachten direkt eingeleiteter Schadstoffe im Jahr 2004. Quelle: EPER 2006

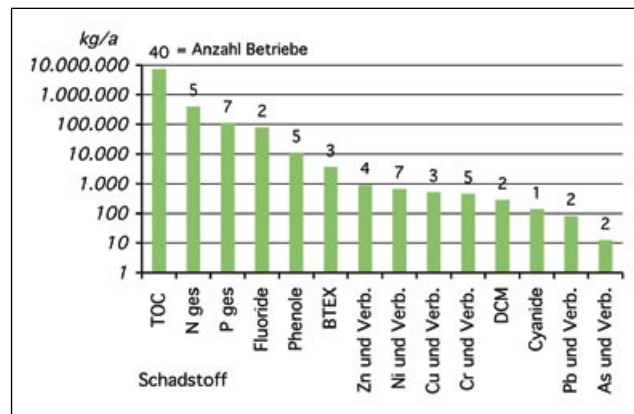


Abb. 6-69: Frachten indirekt eingeleiteter Schadstoffe im Jahr 2004. Quelle: EPER 2006

Tab. 6-7: Erläuterungen zu Schadstoffen in Abbildung 6-68 und 6-69.

As	Arsen
AOX	Halogenhaltige organische Verbindungen
BTEX	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
DCM	Dichlormethan
N ges	Summe Stickstoff
Ni	Nickel
P ges	Summe Phosphor
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
TOC	Organischer Kohlenstoff gesamt
Zn	Zink

land informieren. Mit Hilfe einer Kartenauswahl kann jeder gezielt die Betriebe in seiner Nachbarschaft recherchieren. Zusätzlich können die Daten nach einer Vielzahl von spezifischen Kriterien abgefragt werden, so dass auch Fachexperten die für sie wichtigen Detailinformationen herausfiltern können.

Das EPER richtet sich sowohl an die Öffentlichkeit als auch an die Industrie und die Politik. Das Register will

- das Umweltbewusstsein der Öffentlichkeit durch besseren Zugang zu Umweltinformationen stärken und hierdurch eine höhere Bürgerbeteiligung bei Umweltfragen ermöglichen,
- Umweltschutzaktivitäten der Industrie erhöhen und die Innovationen industrieller Prozesse fördern sowie
- Fortschritte beim Einhalten von Umweltzielen nationaler und internationaler Übereinkommen evaluieren helfen.

Anstelle des EPER wird ab dem Bezugsjahr 2007 das erweiterte Schadstofffreisetzung- und Verbringungsregisters PRTR (Pollutant Release and Transfer Register) treten, das zusätzliche Tätigkeiten, Schadstoffe und weitere Bereiche wie Emissionen in den Boden und Abfälle umfassen wird.

#### HINTERGRUNDINFORMATIONEN ZU EPER

Das EPER (European Pollutant Emission Register) ist ein umfassendes, EU-weites Register über industrielle Emissionen. Grundlage für die Einführung des EPER ist Artikel 15 (3) der Richtlinie 96/61/EG über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie). In der so genannten EPER-Entscheidung der EU-Kommission (2000/479/EWG) werden die Anforderungen an den Aufbau des EPER konkretisiert. Berichtspflichtig sind Betriebe, die der IVU-Richtlinie unterliegen, mit Emissionen, die über den Schwellenwerten aus Anhang A1 der EPER-Entscheidung liegen. In Baden-Württemberg melden die Betreiber ihre Wasseremissionen den zuständigen Regierungspräsidien. Diese prüfen die Daten auf Plausibilität, Vollständigkeit und Richtigkeit und leiteten sie an die LUBW weiter, die die Daten für Baden-Württemberg bündelt und mit den Luftdaten zusammenführt. Gleichzeitig führt die LUBW im Auftrag des Umweltbundesamtes die Daten der einzelnen Bundesländer zusammen und berichtet den nationalen Datensatz an die Europäische Kommission.

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

EPER-Daten für Deutschland:

<http://www.eper.de>

EPER-Daten für Mitgliedstaaten der EU und Norwegen:

<http://www.eper.cec.eu.int>

Zukünftiges Schadstofffreisetzung- und Verbringungsregister PRTR:

<http://www.prtr.de>

# 7 Boden

## 7.1 ERFASSUNG UND ÜBERWACHUNG DES BODENZUSTANDS

Der Boden steht mit den Umweltmedien Luft und Wasser in ständiger Wechselwirkung und unterliegt wie diese natürlichen und anthropogenen Einwirkungen. Schadstoffeinträge, Versiegelung, Verdichtung und Erosion gefährden den Boden und seine vielfältigen natürlichen Funktionen. Wegen der begrenzten Belastbarkeit und der Gefahr einer schleichenden, nicht wiedergutzumachenden Schädigung der Böden ist die Vorsorge wesentlicher Bestandteil eines ganzheitlichen Bodenschutzes.

Mit dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG vom 17. März 1998) und der Bundes-Bodenschutz- und Altlasten-Verordnung (BBodSchV vom 12. Juli 1999) liegen bundeseinheitliche Regelungen im Bodenschutz vor, mit dem Zweck, die Bodenfunktionen nachhaltig zu sichern und wiederherzustellen. Hierzu sind schädliche Bodenveränderungen abzuwehren, den Boden, Altlasten und dadurch verursachte Gewässerverunreinigungen zu sanieren sowie Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen. Im Bundes-Bodenschutzgesetz sind die Einrichtung und der Betrieb von Bodeninformationssystemen als wesentliche Bestandteile des Bodenmonitoring und als Aufgabe der Länder benannt (§§ 19, 21).

Auf der Ermächtigungsgrundlage des BBodSchG hat Baden-Württemberg das Gesetz zur Ausführung des Bundesbodenschutzgesetzes (Landesbodenschutz- und Altlastengesetz, LBodSchAG vom 14. Dezember 2004) erlassen. Um schädliche Bodenveränderungen frühzeitig zu erkennen und Maßnahmen einleiten zu können, ist dort die regelmäßige Erfassung und Überwachung des Bodenzustands als gesetzliche Aufgabe der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz verankert worden (§ 10 LBodSchAG). Neben der Bodendauerbeobachtung gehören zahlreiche weitere thematische Untersuchungsprogramme zur Bodenzustandserfassung.

### 7.2 BODENDAUERBEOBACHTUNG ALS BESTANDTEIL DES UMWELTMONITORING

In Baden-Württemberg werden seit dem Jahr 1986 im Rahmen der Bodendauerbeobachtung systematisch Informationen über den Zustand der Böden erhoben. Im Mittelpunkt

dieses Monitoringprogramms an ausgewählten landestypischen Böden stehen Informationen über den Aufbau und die Beschaffenheit, über die Gehalte an Nähr- und Schadstoffen sowie über die Empfindlichkeit und Belastbarkeit der Böden.

Die Bodendauerbeobachtung ist ein Instrument zur langfristigen Risikobeurteilung und -vorhersage. Wichtige Ziele sind:

- Erfassen der Bodeneigenschaften und des aktuellen stofflichen Zustands der Böden,
- Überwachen der Veränderungen von Böden und ihre langfristige Dokumentation sowie
- Prognosen künftiger Entwicklungen.

Vorsorgender Bodenschutz erfordert Konzepte zur Verallgemeinerung der an Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) gewonnenen Erkenntnisse, um raumbezogene Prognosen und Wirkungsanalysen erstellen zu können. Die Aufgaben der Bodendauerbeobachtung werden in zwei Teil-Programmen bearbeitet.

#### 7.2.1 BASIS-DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN

Die Basis-BDF (BDF I) dienen dazu, den ubiquitären Schadstoff-Hintergrund in nicht spezifisch belasteten Böden (ländlicher Raum) zu ermitteln. Wiederholungsuntersuchungen sind wegen der geringen Einwirkungen in Zeitabständen von mehr als zehn Jahren vorgesehen. Abbildung 7-1 zeigt die Verteilung der Basis-BDF.

Mit den Befunden von Basis-BDF wird beurteilt, wie weit Vorsorgewerte der BBodSchV ausgeschöpft sind. Bereiche mit anthropogen erhöhten Schadstoffgehalten z. B. um Ballungsräume können ebenfalls dargestellt und beurteilt werden. Darüber hinaus werden Informationen über geogene Sonderböden gewonnen, d. h. über Böden und Bodenausgangsgesteine mit einem natürlich erhöhten Schwermetallhintergrund.

#### 7.2.2 INTENSIV-DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN

Seit 1991 wurden zusätzliche Intensiv-BDF (BDF II) mit unterschiedlichen Einwirkungsszenarien eingerichtet, an denen ein intensives Bodenmonitoring durchgeführt wird. Jeder

Standort wird dabei mit dem an die Fragestellung angepassten spezifischen Untersuchungsprogramm versehen (Tab. 7-1).

Ziel dieses Programms ist es, Veränderungen der Böden im Einwirkungsbereich solcher Belastungssituationen und mögliche Beeinträchtigungen von Bodenfunktionen zu erkennen. BDF II-Standorte weisen empfindliche Böden auf, die einem hohen äußeren Veränderungsdruck ausgesetzt sind. Sie sind umfangreicher ausgerüstet als Basis-BDF. Veränderungen des Bodenzustands über die Zeit und in der Fläche werden in kürzeren Intervallen untersucht. Darüber hinaus werden weitere Umweltkompartimente (Bodensicker- und Grundwasser, Luft, Pflanzen usw.) erfasst, ausgewertet und bilanziert.

Das Programm wird charakterisiert durch:

- Intensive Messungen (zeitlich, räumlich, erweiterte Parameteranzahl; Probennahme-Intervalle je nach Umweltmedium 14 Tage bis drei Jahre),
- Stofffluss-/Bilanz-Ansatz (Einträge, Austräge, Mengenänderungen) und
- Frühwarnfunktion an Standorten mit erhöhten schädlichen Einwirkungen und empfindlichen Böden.

### 7.3 ERGEBNISSE DER BODENDAUERBEOBACHTUNG

Anhand der Bodenzustandserfassung wurden landesweite Hintergrundwerte für Ober- und Unterboden nutzungsbezogen sowie differenziert nach Ausgangsgesteinen der Bodenbildung abgeleitet [LFU 1994, LABO 2003]. Wiederholungsuntersuchung an BDF erbrachten Hinweise auf Änderungen des stofflichen Bodenzustands seit der ersten Untersuchung im Jahr 1986. Beispielsweise ist bei den Gehalten an Zink und Chrom in Oberböden unter Ackernutzung eine schwache Zunahme zu erkennen.

#### 7.3.1 INTENSIV-BDF – DIE BODENQUALITÄT IM BLICK

##### 7.3.1.1 DIFFUSE STOFFEINTRÄGE IN BÖDEN ÜBER DEN LUFTPFAD

Intensiv-Dauerbeobachtungsflächen dokumentieren einzelne Problemfelder und spezifische Gefährdungspotenzia-

le für den Boden. In erster Linie sind dies Gefahren durch Schadstoffeinträge über die Luft. Aber auch die Austräge mit dem Sickerwasser oder durch Pflanzenentzüge werden kontinuierlich beobachtet. An Waldstandorten wird die Stoffdeposition im Bestand und vergleichend auf benachbarten Freiflächen gemessen. Der höhere Zink-Eintrag unter Bestand im Vergleich zu den benachbarten Freiflächen

Tab. 7-1: Intensiv-BDF (BDF II) und wichtige Kenndaten. Quelle: LUBW; Stand 2006

BDF II • Intensiv-BDF	Betriebsbeginn	Lage über NN	Bodentyp / Bodennutzung	Einwirkung
Forst (Landkreis Karlsruhe)	1992	107 m	Braunerde aus pleistozänem Sand unter Wald	Straßenverkehrsemissionen an der BAB 5 (Frankfurt - Basel) bei Bruchsal
Wilhelmsfeld (Rhein-Neckar-Kreis)	1995	350 m	Podsol-Braunerde (Buntsandstein) unter Wald	Diffuse Immissionen aus dem Ballungsraum Mannheim / Heidelberg
Baltmannsweiler (Landkreis Esslingen)	1995	510 m	Pseudogley-Parabraunerde (Stubensandstein) unter Wald	Diffuse Immissionen aus dem Ballungsraum Stuttgart
Kehl (Ortenaukreis)	1997	135 m	Auenbraunerde unter Grünland	Diffuse Immissionen aus dem Ballungsraum Kehl / Straßburg
Trochtelfingen (Landkreis Reutlingen)	2002	730 m	Terra fusca unter Acker	Landwirtschaftliche Klärschlamm- und Bioabfallverwertung

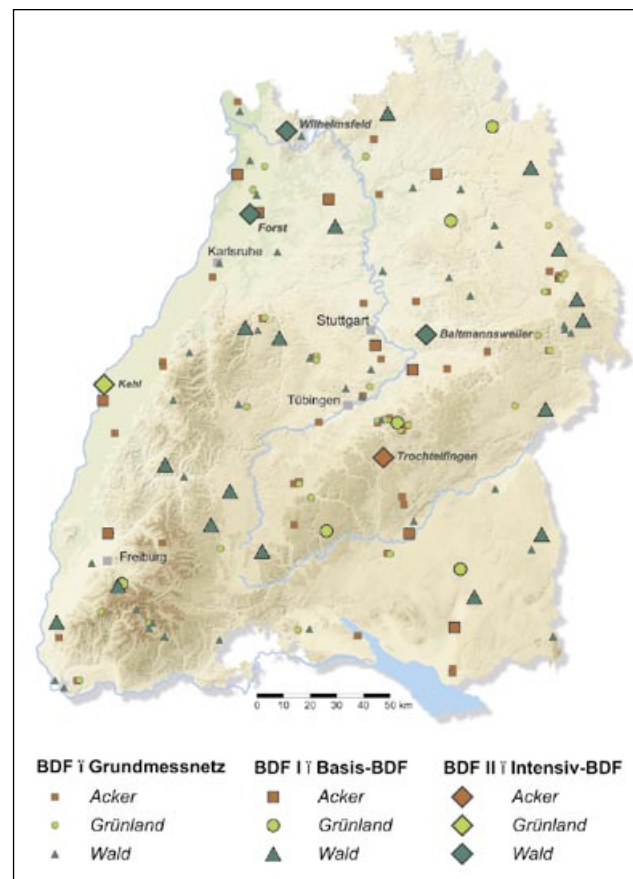


Abb. 7-1: Bodenübersichtskarte mit den Bodendauerbeobachtungsflächen. Quelle: RP Freiburg/Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, LUBW. Stand 2006

(Abb. 7-3) führt jedoch offensichtlich nicht zu erhöhten Zinkkonzentrationen der Wald-Oberböden (Abb. 7-6). Bei pH-Werten kleiner 6 wird Zink aus Waldböden ausgewaschen. Das Bodensickerwasser enthält an den Waldstand-

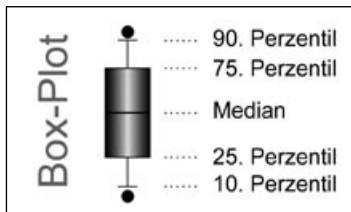


Abb. 7-2: Box-Plot zur grafischen Darstellung von Daten. Der Median entspricht dem 50. Perzentilwert, d. h. die Hälfte der Messwerte eines Probenkollektivs liegt unter diesem Wert. Weitere Perzentilwerte gelten entsprechend (z. B. unter dem 90. Perzentil liegen 90 % der Werte eines Kollektivs).

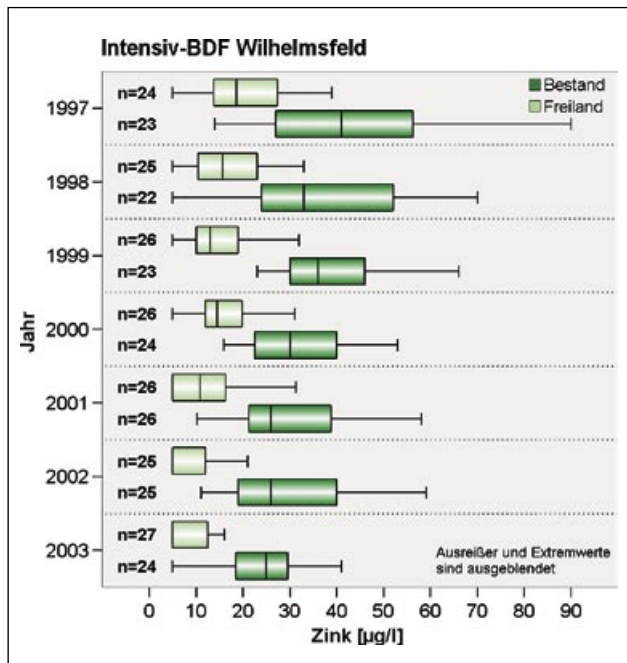


Abb. 7-3: Zink-Konzentrationen im Depositionswasser an der Intensiv-BDF Wilhelmsfeld. Quelle: LUBW 2006

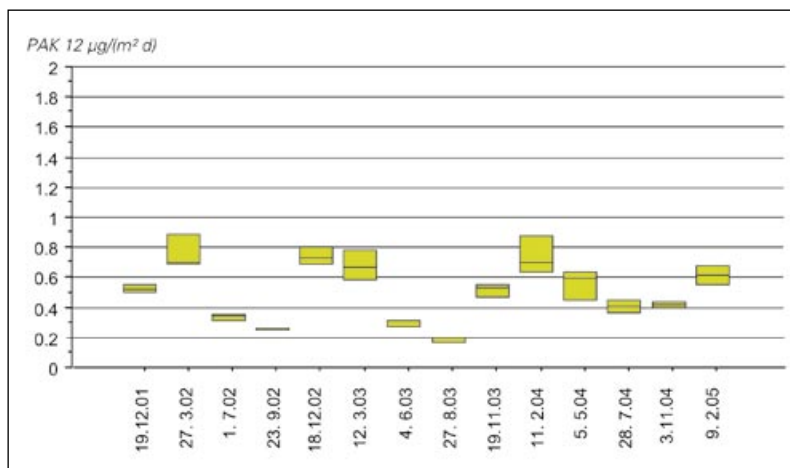


Abb. 7-4: PAK 12-Depositionen Intensiv-BDF Wilhelmsfeld, Freifläche (12-Wochen-Proben, 10., 25., 50., 75., 90. Perzentile).

orten mittlere Zinkkonzentrationen von 40 bis 300 µg/l (0-10 cm), an den Grünland- (Kehl) und Ackerstandorten (Trochtelfingen) 20 bis 30 µg/l bzw. kleiner 10 µg/l (analytische Bestimmungsgrenze).

Persistente, schwer abbaubare und wenig mobile Schadstoffe wie *polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)* werden in Wald-Oberböden und Humusaufgaben angereichert. Beispielhaft sind Ergebnisse der Intensiv-BDF Forst (Abb. 7-4) und Wilhelmsfeld (Abb. 7-5) dargestellt.

An beiden Messstellen zeigt sich ein deutlicher jahreszeitlicher Verlauf mit den Maxima in den Wintermonaten, was die Herkunft der PAK aus Verbrennungsprozessen unterstreicht. Unterschiede der absoluten Depositionsmengen sind zwar vorhanden, jedoch nur schwach ausgeprägt (pro Jahr in Wilhelmsfeld gegenwärtig im Mittel 2 g/ha, Forst 2,5 g/ha bei PAK 16). Das zeigt, dass die BDF Wilhelmsfeld durch die Emissionen aus dem Ballungsraum Mannheim/Heidelberg beeinflusst wird. Bei Forst tritt zum ubiquitären Gebietseinfluss der Naheinfluss durch den Verkehr hinzu. Den Naheinfluss bestätigen hier auch die stärkeren lokalen Streuungen der PAK-Einträge.

### 7.3.1.2 SCHADSTOFFGEHALTE DER BÖDEN

Die Verteilung der eingetragenen Schadstoffe im Boden und die zeitliche Entwicklung sind in Abbildung 7-6 beispielhaft für die Intensiv-BDF Forst dargestellt. In der obersten Mineralbodenschicht hat der PAK-Gehalt von 1992-1998 kontinuierlich zugenommen. Im Jahr 2001 wurde wieder ein geringerer Gehalt in der Größenordnung wie in 1992 gemessen, allerdings bei großer Streubreite der Einzelmesswerte.

Bei Blei haben in den vergangenen Jahren die Konzentrationen in der Humusaufgabe abgenommen (Abb. 7-6). In den saueren Waldböden (pH 3-4 an der Intensiv BDF Forst) wird Blei in tiefere Bodenschichten verlagert. Durch die inzwischen stark verringerte Bleiemission des Straßenverkehrs ist der aktuelle Eintrag in den Boden rückläufig. Die Entwicklung zeigt sich in der dem Mineralboden aufliegenden Waldhumus-Schicht (O-Horizont). In den Mineralboden-Horizonten (Ah, Bv) ist diese, vermutlich methodisch bedingt, noch nicht sichtbar. Bei den polychlorierten Biphenylen (PCB) ergibt sich kein klarer Trend. Die PCB-Gehalte waren 1992 und 2001 vergleichbar.

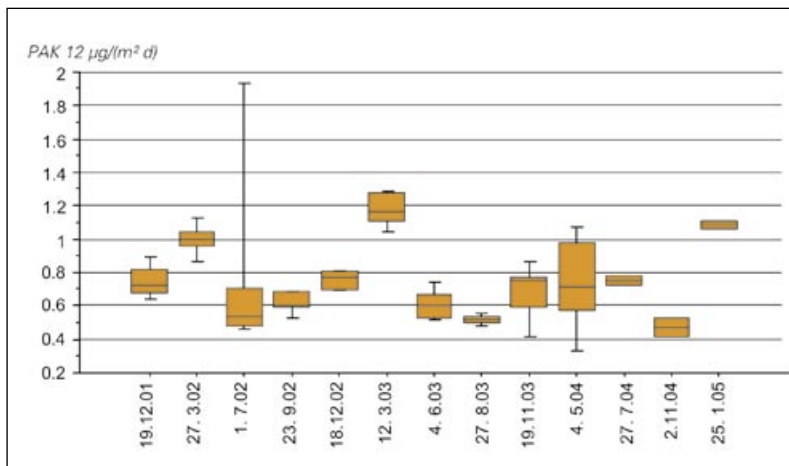


Abb. 7-5: PAK 12-Depositionen Intensiv-BDF Forst, Freifläche (12-Wochen-Proben, 10., 25., 50., 75., 90. Perzentile).

### 7.3.1.3 SCHWERMETALLAUSTRAG MIT DEM SICKERWASSER

Bei der Beurteilung erhöhter Schwermetallkonzentrationen im Grundwasser können die Stoffgehalte bzw. -vorräte im Boden Anhaltspunkte für einen möglichen Eintrag mit dem Sickerwasser geben. Entscheidend für die Verlagerung von Bodeninhaltsstoffen sind die Säureverhältnisse, Stoffvorräte und mobilen Gehalte sowie die Sickerwassermenge.

Übereinstimmend zeigt sich an den BDF, dass die Bleikonzentrationen im Sickerwasser mit der Bo-

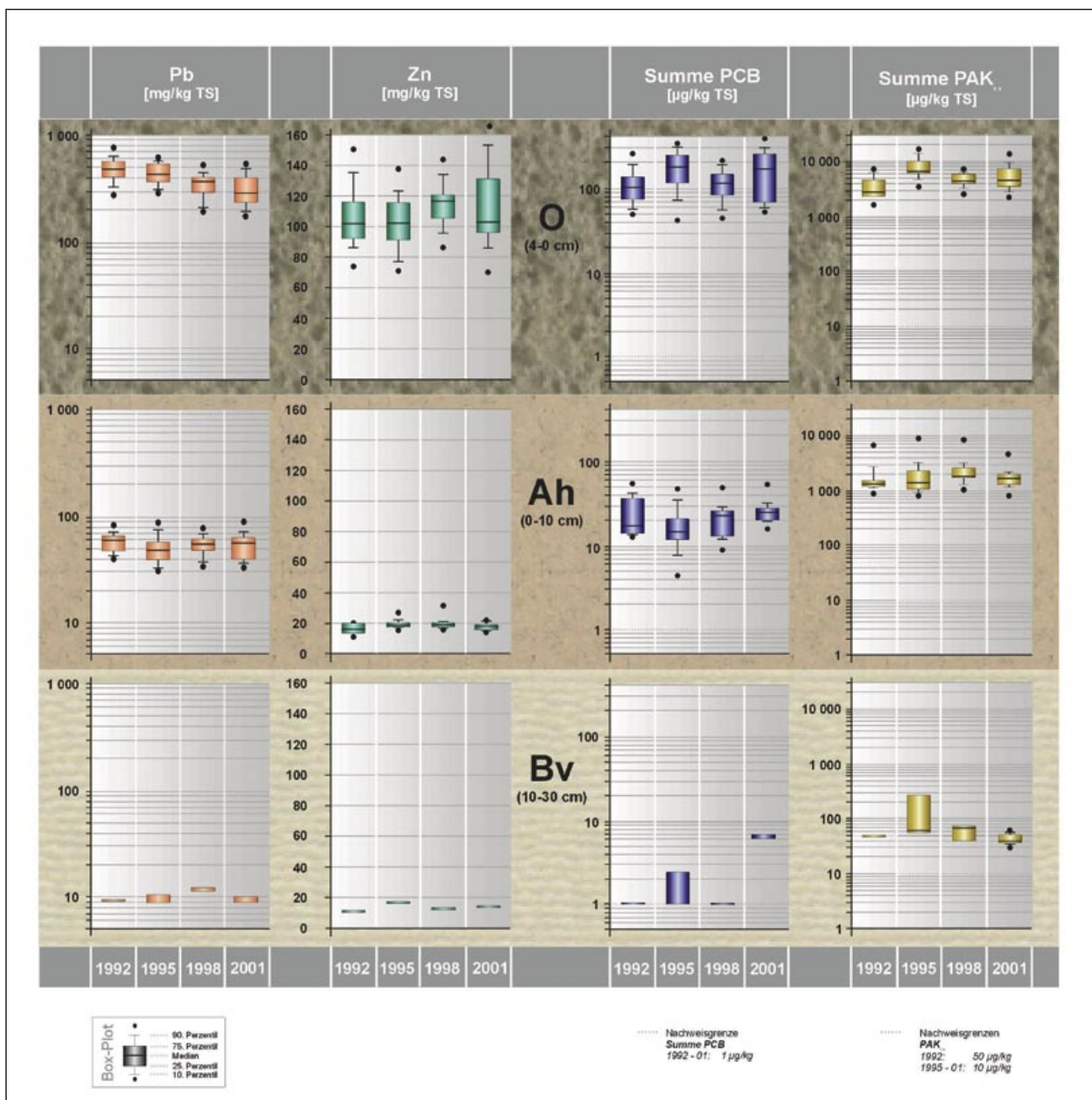


Abb. 7-6: Verteilung von Blei, Zink, PAK und PCB in der Humus-Auflage (O), im mineralischen Ober- (Ah) und im Unterboden (Bv) in den Jahren 1992, 1995, 1998 und 2001; Intensiv-BDF Forst



dentiefe abnehmen. Die höchsten Bleikonzentrationen sind im oberflächennahen Bodenwasser enthalten (Abb. 7-7 und 7-8). Bei Nickel, das aus der Gesteinsverwitterung freigesetzt wird, werden an der BDF Forst mit der Tiefe zunehmende Konzentrationen registriert. Je nach Stoffherkunft und Art der Bodenbildung liegen potenziell auswaschbare Schwermetalle in unterschiedlichen Bodentiefen vor.

### 7.3.1.4 STOFFBILANZEN AM BEISPIEL CADMIUM

Stoff-Ein- und -Austräge werden an den BDF quantifiziert, um Stoffbilanzen zu erstellen (Tab. 7-2). Im Jahr 2003 lag

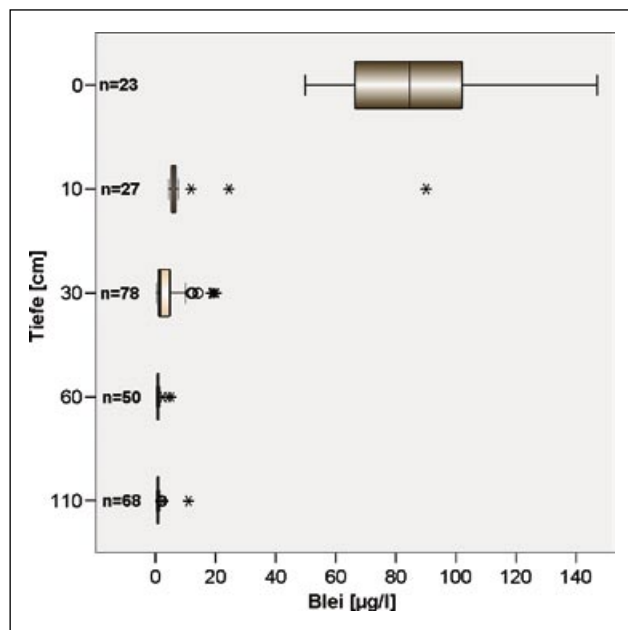


Abb. 7-7: Bleikonzentrationen im Bodenwasser; Intensiv-BDF Forst (07.01.1997 - 17.12.2003). Quelle: LUBW 2006

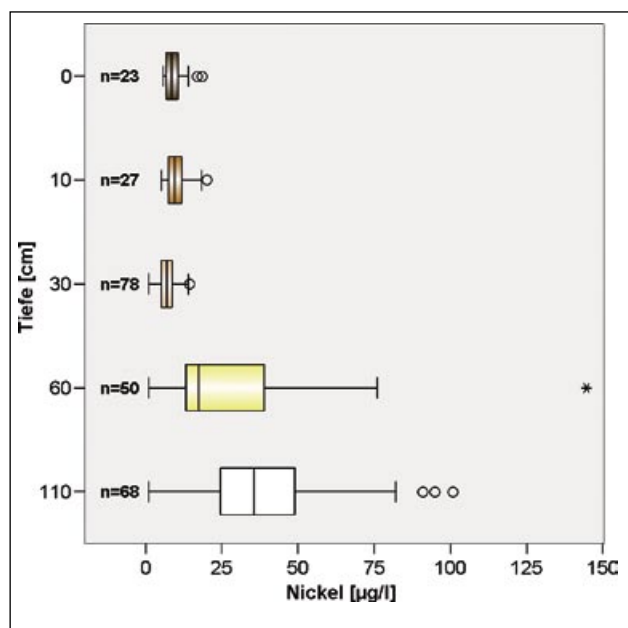


Abb. 7-8: Nickelkonzentrationen im Bodenwasser; Intensiv-BDF Forst (07.01.1997 - 17.12.2003). Quelle: LUBW 2006

der Cadmium-Eintrag mit der Deposition an der Intensiv-BDF Forst im Freiland bei 0,71 g/ha-a (Bergerhoff-Verfahren). Der Gesamteintrag unter Bestand belief sich entsprechend auf 2,1 g/ha-a (Freilanddeposition x Natriumfaktor nach Ullrich). Dieser Eintrag gelangte über die Streu und den Bestandsniederschlag auf den Boden.

Im Boden wird Cadmium mit dem Sickerwasser verlagert. Im Oberboden (bis 10 cm Tiefe) sind die Konzentrationen mit 0,9 bis 2,1 µg/l geringer als im Unterboden (in 60 cm Tiefe) mit 1,5 bis 6,3 µg/l. Der Gesamtstofftransport in den jeweiligen Bodenhorizonten variiert zwischen 3,9 und 15,5 g/ha-a [UMEG 2004].

Bis in eine Tiefe von 1,1 m enthält der Boden den Cadmium-Vorrat von 1 970 g/ha. Nach der aktuellen Prognose ist künftig mit einem weiteren geringen Rückgang dieses Pools bzw. Fließgleichgewicht zu rechnen [UMEG 2004]. Gleichzeitig werden z. B. im Bodenhorizont von 0,6 bis 1,1 m Tiefe (Tongehalt ca. 15 %) Cadmium und weitere Schwermetalle angereichert (12,1 g/ha-a Cd) (Tab. 7-2). Damit ergibt sich nach diesem Modell eine Fracht von 2,8 g/ha-a Cadmium für die Verlagerung in tiefere Bodenbereiche und in das oberflächennah anstehende Grundwasser.

Mit 1,4 µg/l ist die Cadmium-Konzentration im Sickerwasser unmittelbar unter dem Anreicherungshorizont (1,1 m Tiefe) höher als die in Grundwässern verbreiteten Cadmiumgehalte (< 0,2 µg/l). Die Geringfügigkeitsschwelle für die Identifizierung schädlicher Grundwasserverunreinigungen liegt bei 2 µg/l Cadmium.

### 7.3.2 BODENZUSTAND IN SIEDLUNGSRÄUMEN MIT HOHEM ANTEIL AN INDUSTRIE- UND GEWERBEGEBIETEN

Um regionalisierte Hintergrundwerte für Böden abzuleiten, müssen Stoffgehalte repräsentativ in Abhängigkeit von stoffspezifisch relevanten Bezugsgrößen wie Ausgangsgesteine der Bodenbildung, Bodennutzungen, Gebietsdifferenzierungen erfasst werden. So wirkt sich die gebietsspezifische Immissionsituation (diffuse Einträge aus unterschiedlichen Quellen) unmittelbar auf die Hintergrundwerte der Oberböden aus. So werden die Vorgewerte der BBodSchV bei Zink im urban geprägten Zentrum des Erhebungsraums Stuttgart bereits großflächig überschritten (Abb. 7-9).

### 7.3.3 GEOGENE SONDERBÖDEN

Erhebungen der Schwermetallgehalte von Böden aus unterschiedlichen Ausgangsgesteinen haben Suchräume für

Tab. 7-2: Cadmium-Bilanz an der Intensiv-BDF Forst, verändert nach UMEG 2004.

	DETAIL	TIEFE	POOL	POOL	INPUT	OUTPUT	CHANGE	CHANGE
			GES	MOB				
			(g/ha)	(g/ha)	(g/ha a)	(g/ha a)	(g/ha a)	(%/ vP/ a)
Atmosphäre	Deposition (2003)*	> 0,1 m				1,13		
Biosphäre	Streu (2003)*	15 - 0,1 m	1			0,93		
Gesamt-eintrag in Wald	UMEG nach "ULRICH-Modell"					2,1		
Pedosphäre	Auflage	0,1 - 0 m	17	27	2,1	3,9	-1,8	-10,6
	Aeh/ Ah	0 - 0,1 m	76	29	3,9	15,5	-11,6	-15,3
	Al Bv	0,1 - 0,3 m	122	14	15,5	8,3	7,2	5,9
	Al Bv/ rGoBv	0,3 - 0,6 m	440	80	8,3	14,9	-6,6	-1,5
	rGo Bt	0,6 - 1,1 m	1.316	63	14,9	2,8	12,1	0,9
Hydrosphäre	rGo fGr	> 1,1 m	710		2,8	-	-0,7	<0,1
	Summe		1.970					

geogene Sonderböden eröffnet (Abb. 7-10). Solche Böden treten in wenigen Prozent der Landesfläche auf, wo sie durch Verwitterung bestimmter Gesteinstypen (z. B. Schieferen des Lias epsilon oder Wellendolomit des Unteren Muschelkalks) entstanden oder als Kalkstein-Residualanreicherung ausgeprägt sind.

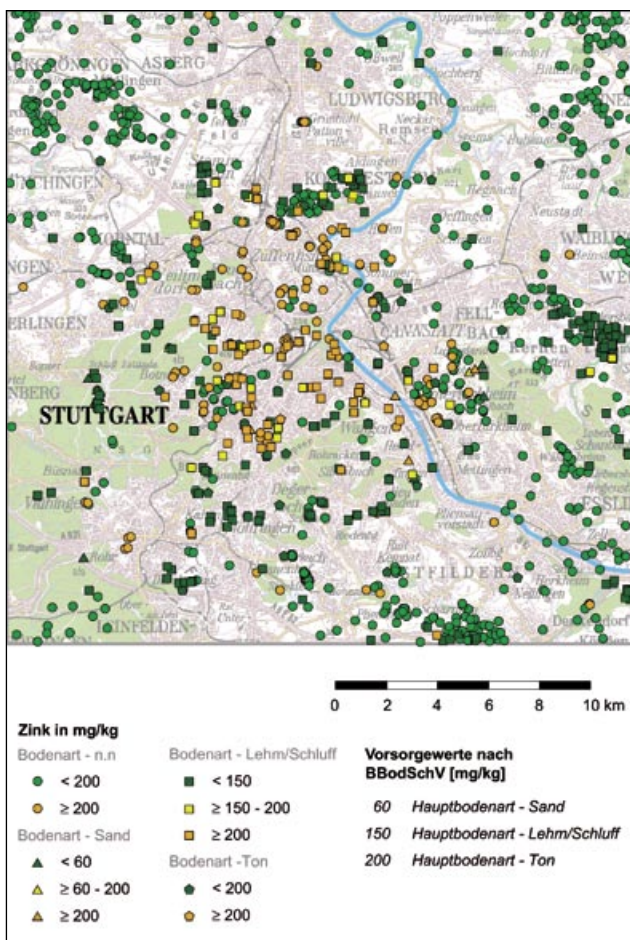


Abb. 7-9: Zink-Gehalte der Oberböden in der Region Stuttgart. Quelle: LUBW 2006

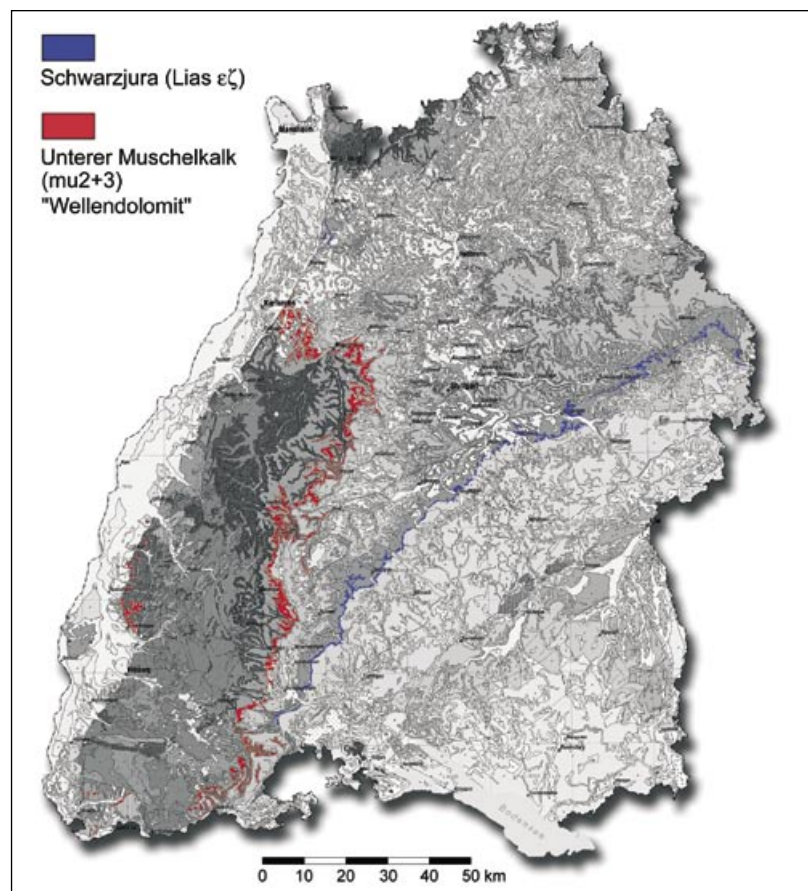


Abb. 7-10: Bereiche, in denen geogen erhöhte Schwermetall- und Arsengehalte der Böden durch schichtgebundene Sulfidführung der bodenbildenden Ausgangsgesteine auftreten können (rot: Wellendolomit, Unterer Muschelkalk; blau: Posidonienschiefer, Schwarzjura). Quelle: RP Freiburg/Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau 2006

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Bodenschutz-Fachinformationen im World Wide Web:

<http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/>

Informationen der LUBW zum Boden:

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/1190/>

# 8 Natur und Landschaft

## 8.1 NATURSCHUTZ

### 8.1.1 GEBIETS- UND BIOTOPSCHUTZ

Seit dem 1. Januar 2006 ist das neue Naturschutzgesetz des Landes Baden-Württemberg (NatSchG) in Kraft. Mit dem Gesetz wird das Landesnaturschutzrecht an die Rahmenvorschriften des im Jahr 2002 neu gefassten Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) angepasst. Gleichzeitig wird das aus dem Jahre 1975 stammende Naturschutzgesetz

Tab. 8-1: Schutzgebiete nach Anzahl, Fläche und Anteil an der Landesfläche zum 31.12.2005. Naturparke können die anderen Schutzkategorien überlagern.  
Quelle: LUBW 2006

	Anzahl	Fläche in ha	Anteil an Landes- fläche in %
Naturschutzgebiete	994	82.202	2,3
Landschaftsschutzgebiete	1.494	799.317	22,4
Naturdenkmale	14.659	6.129	0,2
Naturparke	7	1.110.004	31,0

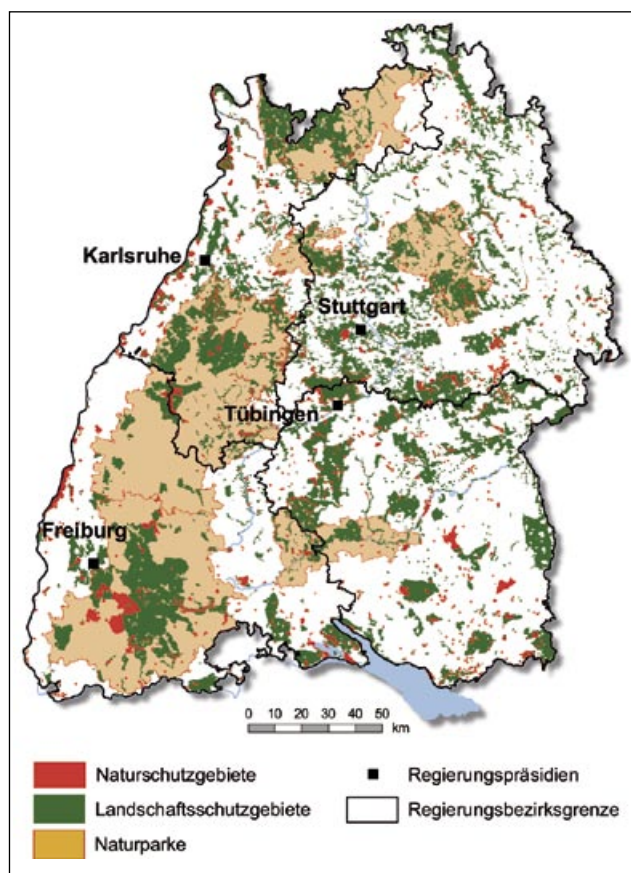


Abb. 8-1: Schutzgebiete in Baden-Württemberg.  
Quelle: LUBW 2006

grundlegend modernisiert. Neu aufgenommen wurden die Schutzgebietskategorien „Nationalpark“ (§ 27 NatSchG) und „Biosphärengebiet“ (§ 28 NatSchG). Die bestehenden Schutzgebietstypen sind nun den Paragraphen § 26 Naturschutzgebiete, § 29 Landschaftsschutzgebiete, § 31 Naturdenkmale, § 30 Naturparke und § 32 Besonders geschützte Biotope zugeordnet.

Abbildung 8-1 gibt einen Überblick über die Lage der Schutzgebiete in Baden-Württemberg. Den größten Anteil an der Landesfläche haben mit 31 % die Naturparke (Tab. 8-1).

#### 8.1.1.1 NATURSCHUTZGEBIETE

Am 1. Januar 2006 gab es in Baden-Württemberg 994 rechtskräftig verordnete Naturschutzgebiete (NSG) mit einer Fläche von rund 82 200 ha (Abb. 8-2). Ihr Flächenanteil bezogen auf die Landesfläche vergrößerte sich seit Inkrafttreten des Naturschutzgesetzes am 1. Januar 1976 von 0,5 % auf fast 2,3 %.

Seit 31.12.2002 wurden 19 NSG mit rund 2 765 ha ausgewiesen. Die Durchschnittsgröße aller NSG beträgt 82 ha.

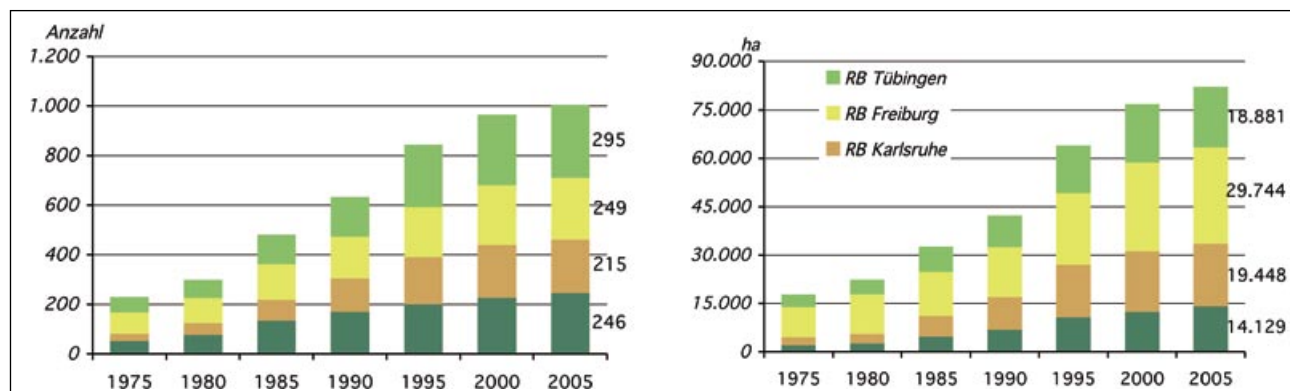


Abb. 8-2: Naturschutzgebiete in den Regierungsbezirken (RB) Baden-Württembergs nach Anzahl und Flächen. Quelle: LUBW 2006

Nach wie vor weist die Mehrzahl aller Naturschutzgebiete Flächengrößen zwischen 10 und 50 ha auf (Abb. 8-3). Die großflächigen Naturschutzgebiete liegen mit sechs von insgesamt neun NSG vor allem im Regierungsbezirk Freiburg.

91 % der bis zum 1. Januar 2006 ausgewiesenen NSG wurden als Gebiete nach der Fauna-Flora-Habitat (FFH)-Richtlinie gemeldet.

**8.1.1.2 LANDSCHAFTSSCHUTZGEBIETE**

Die Gesamtfläche der Landschaftsschutzgebiete (LSG) ist seit Inkrafttreten des Naturschutzgesetzes von 540 143 ha auf 799 317 ha gestiegen. Damit stehen heute über 22 % der Landesfläche unter Landschaftsschutz (Abb. 8-4).

Annähernd 9 % der LSG sind als Teile kombinierter Natur- und Landschaftsschutzgebiete ausgewiesen und erfüllen dabei die Funktion einer Pufferzone zwischen den Naturschutzgebieten und intensiver genutzten Flächen oder fördern die Schutzziele der jeweiligen Naturschutzgebiete. Bei den bis zum 1. Januar 2006 ausgewiesenen Landschaftsschutzgebieten liegt der Flächenanteil der Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung im Sinne der FFH-Richtlinie bei 20 %.

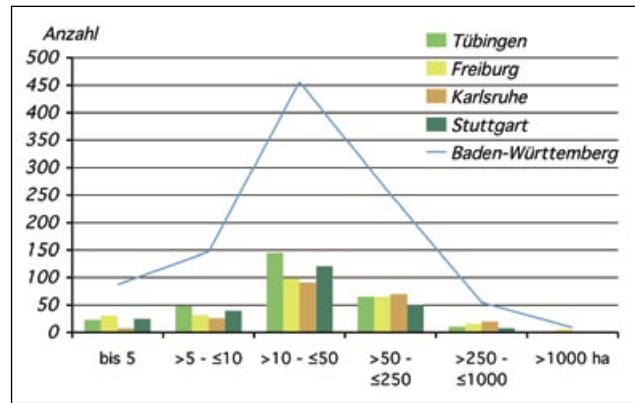


Abb. 8-3: Anzahl der Naturschutzgebiete nach Flächengrößen 2004. Quelle: LUBW 2006

**8.1.1.3 NATURDENKMALE**

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. Landesweit existieren 14 659 Naturdenkmale auf rund 6 129 ha (Abb. 8-5).

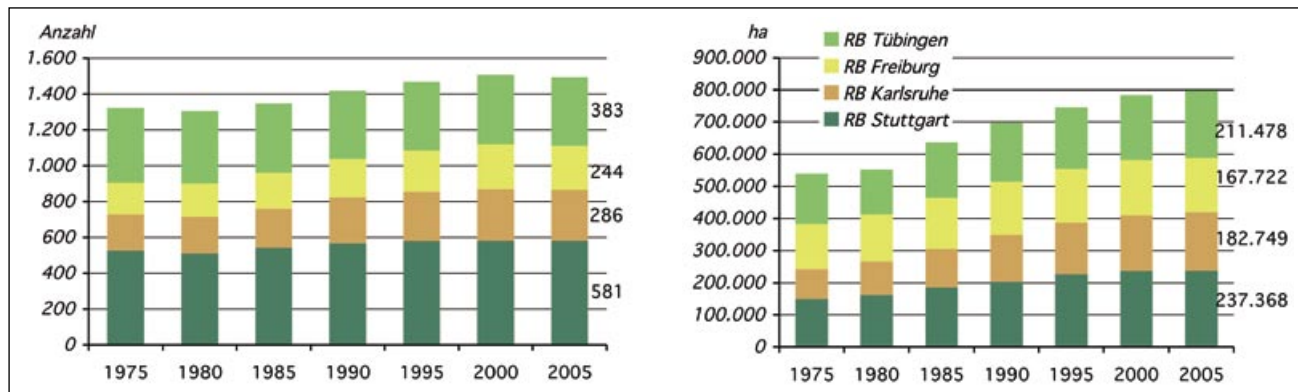


Abb. 8-4: Landschaftsschutzgebiete in den Regierungsbezirken (RB) Baden-Württembergs nach Anzahl und Flächen. Quelle: LUBW 2006

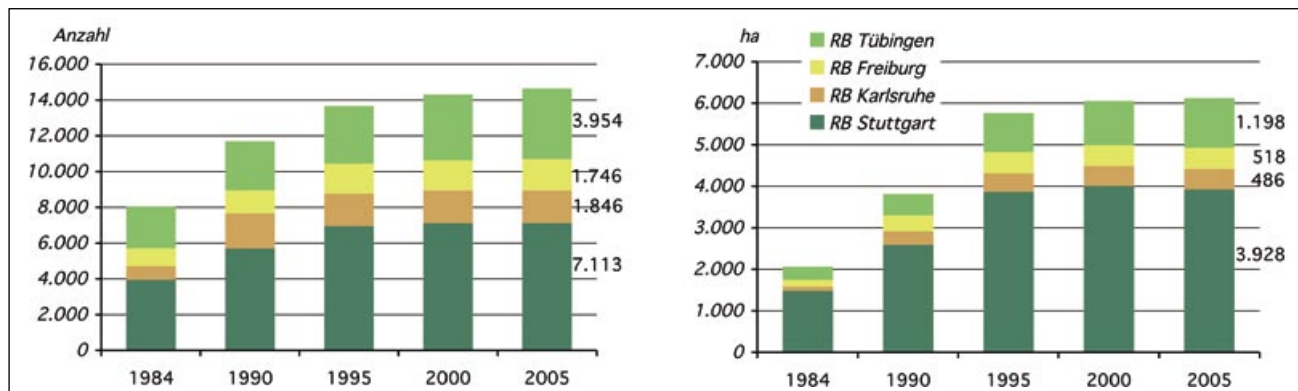


Abb. 8-5: Naturdenkmale in den Regierungsbezirken (RB) Baden-Württembergs nach Anzahl und Flächen. Quelle: LUBW 2006

### 8.1.1.4 NATURPARKE

Bis Ende 2005 gab es in Baden-Württemberg sieben Naturparke (Tab. 8-2). Im nördlichen Schwarzwald liegt der jetzt größte deutsche Naturpark Schwarzwald Mitte/Nord mit 374 000 ha Fläche. Zusammen mit dem Naturpark Südschwarzwald ist damit fast der gesamte Schwarzwald als Naturpark ausgewiesen. Im Jahr 2006 feiert die Naturpark-idee ihren 50. Geburtstag.

Tab. 8-2: Naturparke in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW 2006

	NP-Fläche in ha	in % der Landesfläche
Schönbuch	15.564	0,4
Stromberg-Heuchelberg	32.821	0,9
Neckartal-Odenwald	129.200	3,6
Obere Donau	135.019	3,8
Schwäbisch-Fränkischer Wald	90.400	2,5
Südschwarzwald	333.000	9,3
Schwarzwald Mitte/Nord	374.000	10,5
Baden-Württemberg	1.110.004	31,1

### 8.1.1.5 BESONDERS GESCHÜTZTE BIOTOPE IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Das Naturschutzgesetz nennt unter § 32 (bisher § 24a) Biotoptypen, die einen unmittelbaren gesetzlichen Schutz genießen. Es handelt sich dabei um besonders wertvolle

und gefährdete Lebensräume, wie z. B. Moore, Nasswiesen und Trockenrasen. Im Offenland wurden diese „Besonders geschützten Biotope“ im Auftrag der Unteren Naturschutzbehörden von 1992 bis 2005 kartiert. Die Kartieranlei-tung wurde von der LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg ent-wickelt, die auch für die landesweite Koordination und zen-trale Zusammenführung der erhobenen Daten zuständig ist. Im Wald wurden die § 32-Biotope im Rahmen der Waldbiotopkartierung im Auftrag der Forstverwaltung er-hoben. Abbildung 8-6 zeigt die räumliche Verteilung der kartierten §32-Biotope anhand deren Anteilen an der Ge-meindefläche. Die absoluten Flächendimensionen einzel-ner Gruppen der kartierten Biotope sind in Abbildung 8-7 dargestellt. Zusammen mit dem Biotopschutzwald nach § 30a LWaldG, der ebenfalls durch die Waldbiotopkartie-rung erfasst wird, nehmen die gesetzlich geschützten Bio-toppe etwa 3,5 % der Landesfläche ein (Tab. 8-3). Durch die Novelle des Naturschutzgesetzes sind einige Biotoptypen hinzugekommen, die noch zu kartieren sind. Der Anteil der geschützten Biotope an der Landesfläche wird sich aber dadurch nicht wesentlich erhöhen.

Tab. 8-3: Biotope in Baden-Württemberg 2005. Quelle: LUBW 2006

	Anzahl Biotope	Fläche Biotope in ha	Anteil an Landesfläche in %
§ 32-Kartierung Offenland	151.284	69.120	1,9
Waldbiotopkartierung	49.990	80.205	2,2
davon gesetzlich geschützt		ca. 57.000	1,6

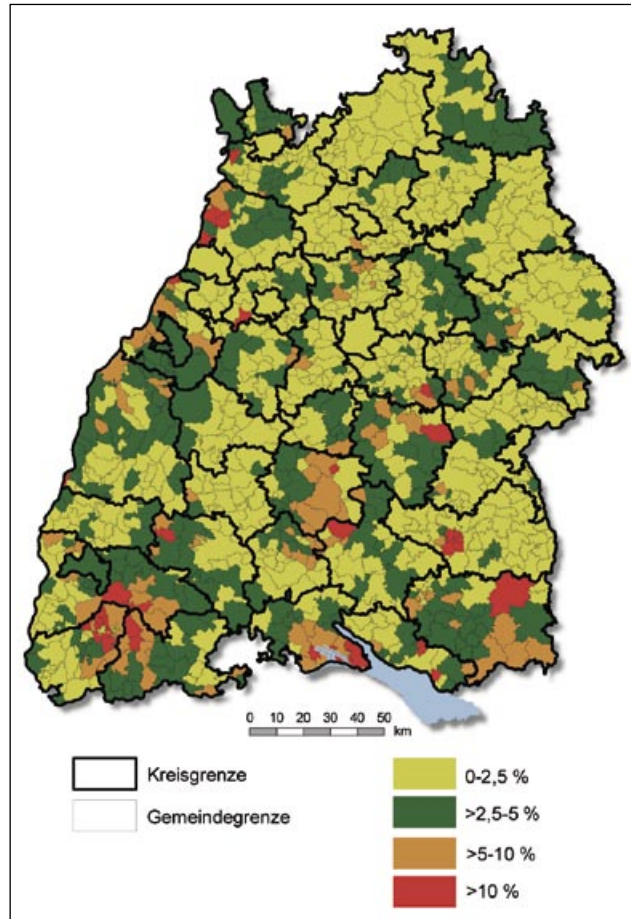


Abb. 8-6: Anteil der § 32-Biotopfläche an der Gemeindefläche. Quelle: LUBW 2006

### 8.1.2 NATURSCHUTZFÖRDERPROJEKTE DES BUNDES UND DER EU

#### 8.1.2.1 NATURSCHUTZGROSSPROJEKTE DES BUNDES IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Mit dem Bundesprogramm zur „Errichtung und Sicherung schutzwürdiger Teile von Natur und Landschaft mit gesamtstaatlich repräsentativer Bedeutung“ fördert das Bundesumweltministerium national bedeutsame Natur- und Kulturlandschaften als Beitrag zum Schutz des nationalen Naturerbes und zur Erfüllung supranationaler Naturschutz-verpflichtungen. In Baden-Württemberg sind bisher drei Projekte abgeschlossen, zwei sind derzeit in Umsetzung (Tab. 8-4). Der Fördersatz des Bundes liegt für die laufen-den Projekte bei 65 %, der Anteil des Landes beträgt 25 %.

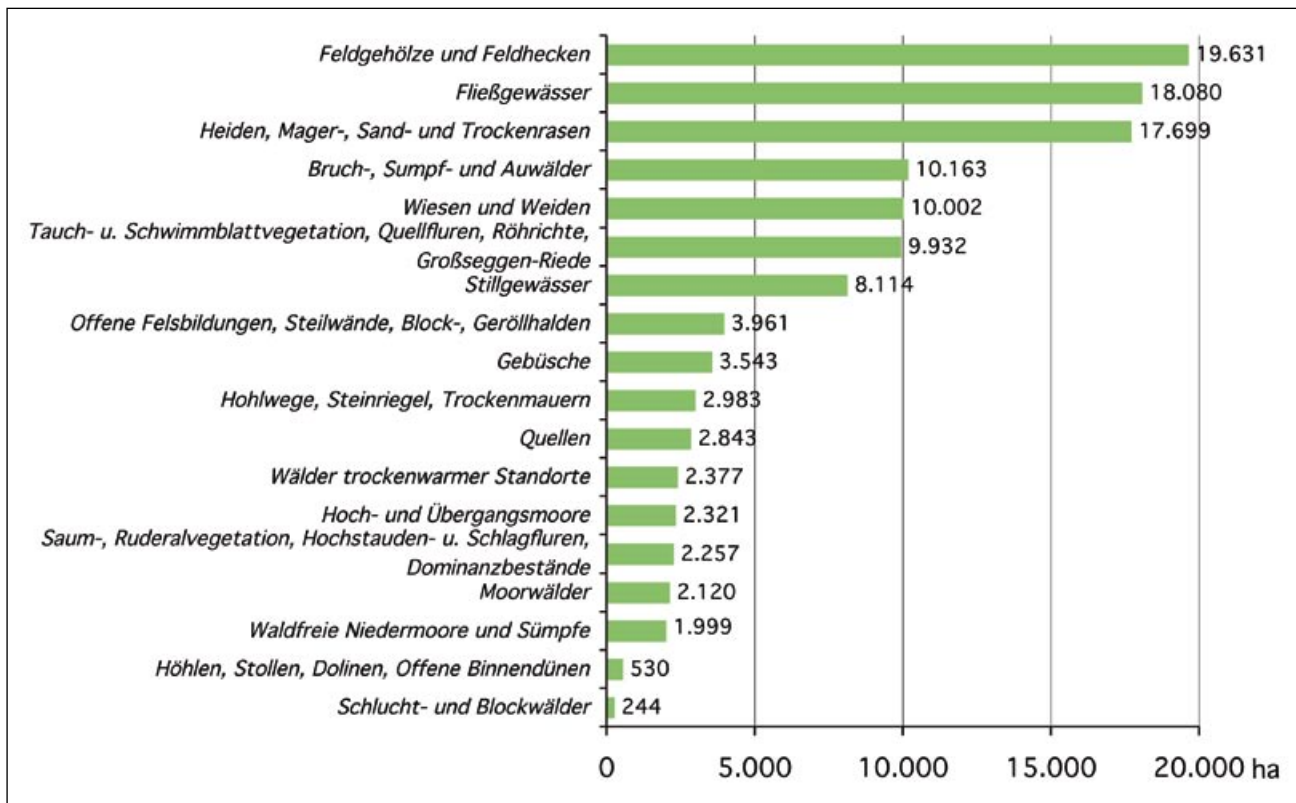


Abb. 8-7: Besonders geschützte Biotope nach § 32 NatSchG in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW 2006

Tab. 8-4: Übersicht über die Naturschutzgroßprojekte des Bundes in Baden-Württemberg. Quelle: MLR 2006

Name	Vorkommende Biotoptypen	Zeitraum	Größe in ha	Finanzvolumen in €
Badberg-Haselschacher Kalk-Magerrasen		1990-1994	136	0,44 Mio.
Buck				
Wurzacher Ried	Hochmoor, Zwischenmoor, Niedermoor, Kalkflachmoor	1987- 997	1.731	15 Mio.
Wollmatinger Ried	Röhricht, Streuwiesen	1989-1997	767	1,44 Mio.
Feldberg-Belchen-Oberes Wiesental	montane Buchen-Tannen-Wälder, Fichten-Forst, Borstgrasrasen, Flügelnisterheiden, Karssee	2002-2012	10.074	6,17 Mio.
Pfrunger-Burgweiler Ried	Grünland, Bruchwald, Hochmoor, Moorwald (Spirken, Birken)	2002-2012	1.453	6,7 Mio.

### 8.1.2.2 LIFE-FÖRDERPROJEKTE IN BADEN-WÜRTEMBERG

Die EU fördert mit dem seit 1992 bestehenden LIFE-Programm (LIFE: L'Instrument Financier pour l'Environnement)

Maßnahmen im Umweltbereich. LIFE-Natur soll spezifisch zum Schutz der Lebensräume und der Natur beitragen und hat die Aufgabe, die Umsetzung der Vogelschutz- und der FFH-Richtlinien der Gemeinschaft voranzubringen. In Baden-Württemberg wurden bisher sechs Projekte abgeschlossen, drei sind noch in der Umsetzung (Tab. 8-5). Der Fördersatz liegt in der Regel bei ca. 50 %.

Das LIFE-Programm läuft Ende 2006 aus, ein modifiziertes Nachfolgeprogramm (LIFE+) wird derzeit bei der EU erarbeitet.

Tab. 8-5: Übersicht über die LIFE-geförderten Projekte in Baden-Württemberg. Quelle: MLR 2006

Gebiet	Projekttitel	Zeitraum	Größe in ha	Finanzvolumen in €
NSG Elzwiesen	Wiesenlebensraum Elzwiesen	1996-1999	411	127.510
(Bereich RP Freiburg und Tübingen)	Schutzprogramm für gefährdete Libellenarten	1997-2001		156.314
FFH Federsee und Blinder See bei Kanzach	Sicherung und Entwicklung der Natur in der Federseelandschaft	1997-2002	3300	498.642
Feldberggebiet	Integraler Habitatschutz für Raufußhühner im Schwarzwald	1998-2002		114.326
Teile FFH Bodanrück und westlicher Bodensee	Lebensraumverbund Westlicher Untersee	1999-2004	1100	1.009.290
FFH Wilder See - Hornisgrinde und weitere	Gründenschwarzwald	2001-2005	2375	1.786.914
Teile von FFH Feuchtgebiete um Altshausen	Lebensraumoptimierung Blitzenreuter Seenplatte	2002-2007	420	1.156.850
FFH Rheinaue zw. Wintersdorf und Karlsruhe, Rheinaue zw. Karlsruhe und Philippsburg und weitere	Lebendige Rheinauen bei Karlsruhe	2004-2010	7545	7.000.000
FFH Oberer Hotzenwald und angrenzende	Oberer Hotzenwald	2005-2011	2105	1.691.852

### 8.1.3 NATURA 2000

Natura 2000 ist ein Instrument zur Schaffung eines europäischen Netzes von Schutzgebieten zur Erhaltung bedeutsamer Lebensräume sowie seltener Tier- und Pflanzenarten. Die rechtlichen Grundlagen dieses grenzüberschreitenden Netzwerks bilden die Vogelschutz- und die FFH-Richtlinie der Europäischen Union. Nach den Vorgaben dieser Richtlinien benennt jeder Mitgliedstaat Gebiete, die für die Erhaltung seltener Tier- und Pflanzenarten sowie typischer oder einzigartiger Lebensräume wichtig sind. In Baden-Württemberg kommen 51 Lebensraumtypen und 55 Tier- und Pflanzenarten (gemäß Anhang I und II der FFH-Richtlinie) sowie 75 Vogelarten (gemäß der Vogelschutzrichtlinie) vor, zu deren Erhaltung besondere Schutzgebiete ausgewiesen werden. Das Schutzgebietsnetz Natura 2000 in Baden-Württemberg umfasst mit Stand Januar 2006 333 Gebiete, die rund 13 % der Landesfläche einnehmen (Tab. 8-6, Abb. 8-8).

Ca. 75 % der in Baden-Württemberg vorkommenden Arten des Anhangs II der FFH-Richtlinie sind im Land ausgespro-

chen selten und konnten nur in wenigen Gebieten (maximal 10 %) gemeldet werden. Einige wenige Arten (wie z. B. Grünes Besenmoos, Großes Mausohr, Groppe und Gelbbauchunke) haben dagegen in Baden-Württemberg ihren Verbreitungsschwerpunkt und sind dementsprechend häufig in der FFH-Gebietsmeldung des Landes (Abb. 8-9) berücksichtigt. Die Abbildungen 8-10 und 8-11 zeigen exemplarisch die Verbreitungssituation einer in Baden-Württemberg weit verbreiteten Art (Gelbbauchunke) im Vergleich zu einer Art (Heldbock), die nur regional in einem Naturraum (Oberrhein-Tiefland) vorkommt.

Tab. 8-6: Natura 2000-Gebiete: Flächen und Schutzgebietsanteil zum 31.12.2005. Quelle: LUBW 2006

Schutzstatus	FFH-RL		Vogelschutz-RL		Natura 2000	
	260 Gebiete		73 Gebiete		333 Gebiete	
	[ha]	%	[ha]	%	[ha]	%
<b>Baden-Württemberg</b>	414.009	11,6	174.495	4,9	468.799	13,1
davon NSG	74.385	18,0	39.981	23,0	75.057	16,0
LSG	161.210	39,0	73.380	42,1	182.756	39,0
Naturpark	51.878	12,5	26.970	15,5	70.923	15,1
sonstige	126.572	30,6	33.788	19,4	139.726	29,8
Zusätzlich Bodensee <sup>1)</sup>	12.201		5.624		12.299	
Meldefläche <sup>2)</sup>	426.210		180.119		481.098	

<sup>1)</sup> Wasserfläche des Bodensees gehört statistisch nicht zum Land Baden-Württemberg  
<sup>2)</sup> Überlagerung Vogelschutz-Gebiete mit FFH-Gebieten 119 705 ha, verbleiben 54 790 ha nur Vogelschutzgebiete, ohne Bodenseefläche

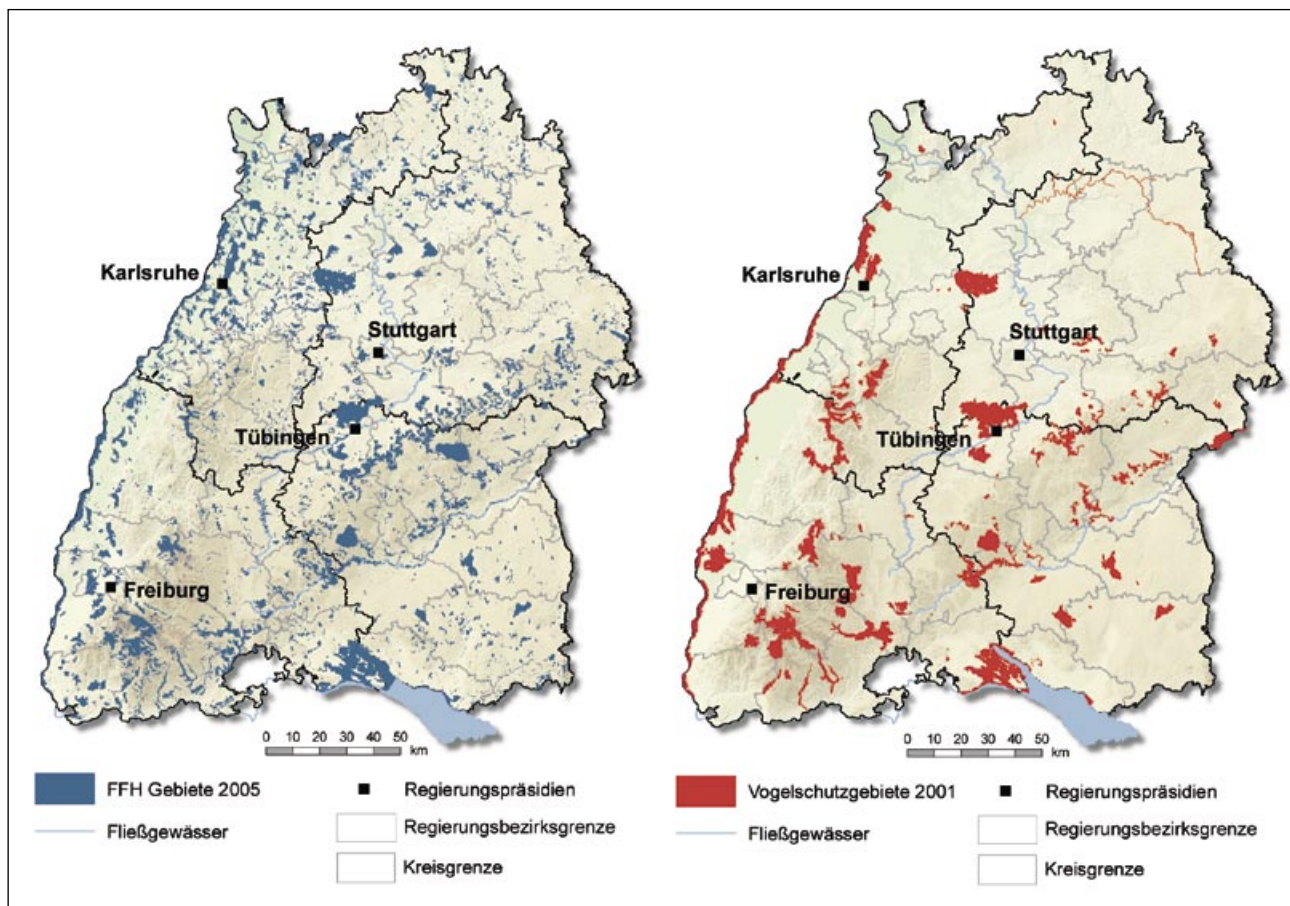


Abb. 8-8: Übersichtskarten der Natura 2000-Gebiete in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW 2006

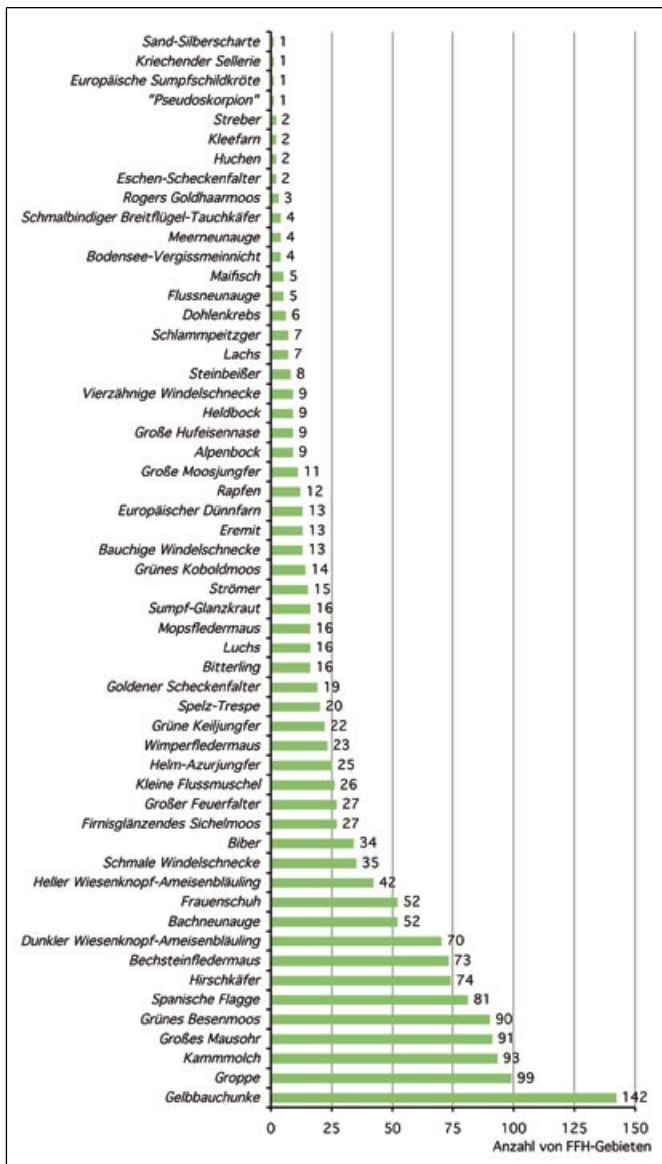


Abb. 8-9: Anzahl von insgesamt 260 FFH-Gebieten in denen die einzelnen Arten gemeldet wurden. Quelle: LUBW, Stand 2/2006

Während die Auswahl und Meldung von Gebieten nach der FFH-Richtlinie abgeschlossen ist, soll die Liste der Vogelschutzgebiete noch ergänzt werden. Eine Liste mit weiteren Vogelschutzgebieten, die zusätzlich rund 4 % der Landesfläche umfassen, befindet sich im Beteiligungsverfahren.

Die Sicherung der Natura 2000-Gebiete kann mit verschiedenen Instrumenten erreicht werden:

- Vertragliche Vereinbarungen mit den Nutzungsberechtigten (Landschaftspflegeleitlinie, Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich (MEKA), Förderrichtlinie „Naturnahe Waldwirtschaft“),
- Verfügungsbefugnis eines öffentlichen Trägers,
- Arten- und Biotopschutzprogramme und
- Schutzgebietsausweisung.

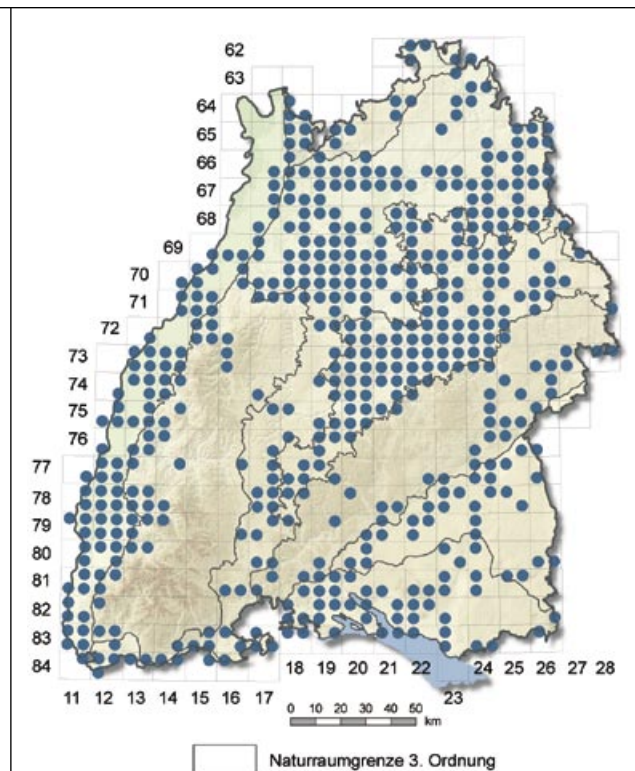


Abb. 8-10: Verbreitungssituation der Gelbbauchunke in Baden-Württemberg ab 1990. Quelle: LUBW, Stand 2/2006

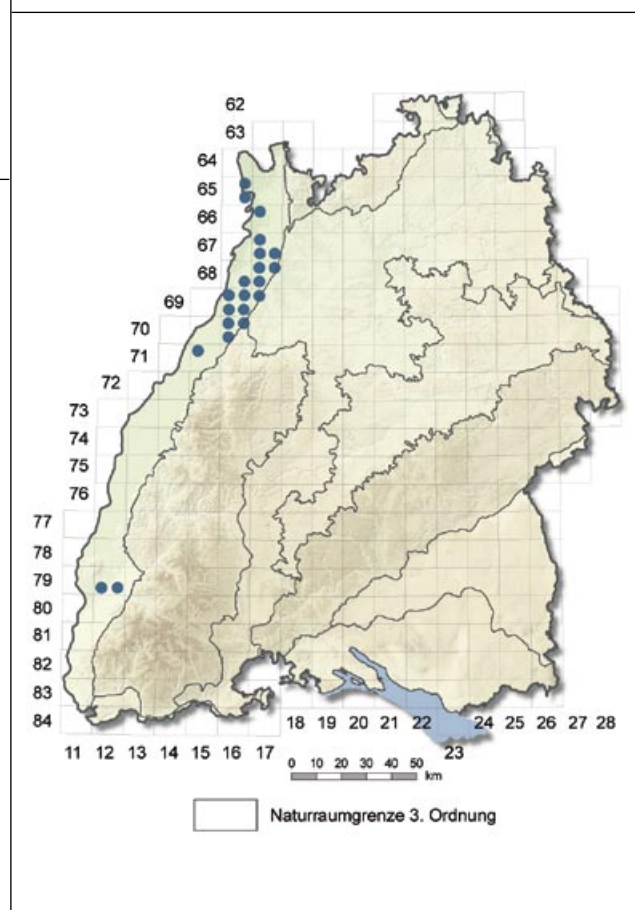


Abb. 8-11: Verbreitungssituation des Heldbocks in Baden-Württemberg ab 1990. Quelle: LUBW, Stand 2/2006



Vertragliche Regelungen mit den Landnutzern haben in Baden-Württemberg Vorrang vor Schutzgebietsausweisungen. Eine Ausweisung als Schutzgebiet soll nur dann erfolgen, wenn das Schutz- und Erhaltungsziel auf anderem Weg nicht erreicht werden kann.

Grundlage für die Sicherung der Natura 2000-Gebiete werden Pflege- und Entwicklungspläne (PEPL) sein. Im Rahmen dieser Fachpläne werden die Lebensraumtypen und die relevanten Arten erfasst, bewertet und Erhaltungs- und Entwicklungsziele sowie die zugehörigen Maßnahmen erarbeitet. Die Inhalte der Pflege- und Entwicklungspläne sind Grundlage für vertragliche Vereinbarungen mit den Landbewirtschaftern. Bei der Erstellung der PEPL werden Kommunen, Verbände und Betroffene beteiligt. Entwicklungsmaßnahmen in FFH-Gebieten können in kommunale Öko-Konten aufgenommen werden. Dadurch stehen für Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen nach dem Naturschutzrecht besonders geeignete Flächen zur Verfügung. Im Jahr 2005 und 2006 wurden jeweils acht Pilot-PEPL in Auftrag gegeben (Tab. 8-7) bzw. ausgeschrieben.

Tab. 8-7: Natura 2000-Gebiete mit Erarbeitung von Pflege- und Entwicklungsplänen. Quelle: LUBW 2006

Reg.b ez.	Name	Größe FFH in ha	Größe SPA- Anteil(e) in ha	
2004/05	S Stromberg	11.788	10.169	
			142	
		Taubergrund bei Creglingen	919	--
	Ka Neckartal und Wald Obrigheim	1.426	--	
		Hardtwald zwischen Graben und Karlsruhe	4.713	3.740
	Fr Neckartal zwischen Rottweil und Sulz	2.141	10	
				214
		Rohrhardsberg, Obere Elz und Wilde Gutach	4.003	4.906
	Tü Albrauf zwischen Mösingen und Gönningen	3.526	39	
		Umlachtal und Riß südlich Biberach	693	46
2005/06	S Jagsttal bei Schöntal und Klosterwald	1.264	--	
		Rotachtal	592	--
	Ka Sandgebiete zwischen Mannheim und Sandhausen	1.766		
		Odenwald bei Schriesheim	830	
		Bergstraße Dossenheim-Schriesheim		361
	Fr Klettgaurücken	1.463		
		Schauinsland	910	
		Südschwarzwald (Teilfläche)		(wie FFH)
	Tü Oberes Donautal zwischen Beuron und Sigmaringen	2.700		
		Südwestalb und Oberes Donautal (Teilfläche)		(wie FFH)
	Gebiete um Trochtelfingen	693		

#### 8.1.4 PLENUM

PLENUM (Projekt des Landes zur Erhaltung und Entwicklung von Natur und Umwelt) strebt eine naturschutzorientierte Regionalentwicklung in naturschutzfachlich hochwertigen Landschaftsbereichen an und fördert damit eine nachhaltige Entwicklung und Stärkung der Regionen.

Mit Hilfe von Projekten, die von der Bevölkerung initiiert werden, will PLENUM den Naturschutz von „unten nach oben“ entwickeln und die einzelnen Regionen stärken. PLENUM ist ein Förderprogramm des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum. Es wird derzeit in fünf Projektgebieten auf 13 % der Landesfläche umgesetzt. Die LUBW ist zuständig für Betreuung und Controlling.

#### 8.1.4.1 FÖRDERSCHEWERPUNKTE

Projekte werden überwiegend in den Handlungsfeldern Land- und Forstwirtschaft, Verarbeitung und Vermarktung, Tourismus und Umweltbildung gefördert. Eine Maßnahme kann unterstützt werden, wenn sie dazu beiträgt, PLENUM-Ziele zu erreichen. Die PLENUM-Erzeugungskriterien stellen zudem die Grundlage für eine Projektförderung bei land- und forstwirtschaftlichen Produktions- und Vermarktungsprojekten dar. Nachfolgend sind einige Projektansätze von bisherigen Förderschwerpunkten aufgeführt:

#### EXTENSIVE GRÜNLANDNUTZUNG

Wertvolle Grünlandflächen wurden bisher gesichert durch tierschonende Mähsysteme, neue Beweidungseinrichtungen und Stallbauten für Rinder, Schafe und Ziegen, Triebwegkonzeptionen für Wanderschäferie, Bau und Einrichtung dezentraler Schlachtereien, Konzeptionen für Fleischvermarktung und Öffentlichkeitsarbeit zum gesamten Themenkomplex.

#### STREUOBST

Für die Erhaltung von Streuobstbeständen reicht die Palette der Projekte von der Obstwart-Ausbildung, dem Kauf von Hochstammbäumen, Auflesemaschinen oder Obstpressen, der Entwicklung neuer Streuobstprodukte wie Likör aus Süßkirschen, vielfältiger Vermarktungsförderung zur Förderung von Streuobstsaften bis zu Streuobst-Internetbörsen.

#### NATURVERTRÄGLICHER ACKERBAU

Beim Getreideanbau entstanden durch die Anlage von Ackerrandstreifen und reduziertem Pflanzenschutzmitteleinsatz verbesserte Lebensbedingungen für Pflanzen und Tiere der Feldflur. Durch gezielte Öffentlichkeitsarbeit wurde dem Kunden beim Müller und Bäcker der Mehr-

wert für die Natur und die gleichzeitig höhere Produktqualität mit dem Ziel vermittelt, dass er höhere Erzeugerpreise und damit Verkaufspreise akzeptiert.

### SANFTER TOURISMUS UND UMWELTBILDUNG

Innovative naturschonende Tourismus- und Umweltbildungsangebote wurden entwickelt wie neue Touren für Radfahrer oder Wanderreiter von Hof zu Hof einschließlich Reiseführer oder die Ausbildung von Landschaftsführern. Besonders vorteilhaft für die Kunden war die Vernetzung der bestehenden Angebote in Projektgebieten und deren Präsentation im Internet.

#### 8.1.4.2 EVALUATION

Eine Studie zu potenziellen ökologischen Wirkungen zeigt, dass die Mehrzahl der häufig durch das PLENUM-Programm geförderten Projekttypen in den einzelnen Handlungsfeldern positive bis sehr positive Auswirkungen auf Natur und Landschaft hat [BREUNIG et al. 2004]. Die Untersuchungsergebnisse des Instituts für Ländliche Strukturforchung (IfLS) an der Goethe-Universität Frankfurt verdeutlichen die sozioökonomischen Erfolge der Initiierungsphase des PLENUM-Programms. Die in dieser Phase umsetzbaren Ziele wurden in hohem Maße erreicht [GEHRLEIN, KULLMANN 2005].

Abbildung 8-12 zeigt die PLENUM-Förderung und die Projektkosten pro Handlungsfeld. Die höchste finanzielle Anstoßwirkung wurde mit den Projekten in der Landwirtschaft erreicht. Eine höhere Wirkung wurde jedoch wegen der größeren Zahl der Beteiligten durch konzeptionelle Projekte bei der Vermarktung und im Tourismus erzielt.

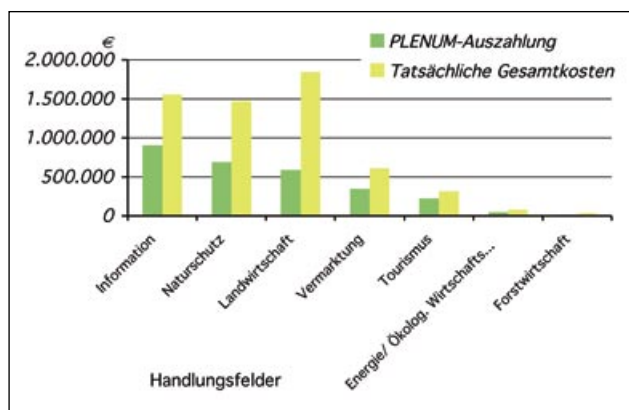


Abb. 8-12: PLENUM-Förderung und Projektkosten von 2003 bis 2005. Quelle: LUBW 2006



Abb. 8-13: PLENUM-Logo

### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Verzeichnis der Natur- und Landschaftsschutzgebiete (Schutzgebietsverzeichnis):

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/11385/>

Regierungspräsidium Freiburg/Brsg. (Hrsg.) (2004):

Naturschutzgebiete im Regierungsbezirk Freiburg. Ostfildern. 2. überarb. u. erw. Aufl. 679 S. m. zahlr. Farbabb.

Regierungspräsidium Karlsruhe (Hrsg.) (2005):

Die Naturschutzgebiete im Regierungsbezirk Karlsruhe. Ostfildern. Nachdr. 654 S. m. 450 Farbfotos.

Regierungspräsidium Tübingen (Hrsg.) (2006):

Naturschutzgebiete im Regierungsbezirk Tübingen. Ostfildern. Ca. 520 S. ca. 400 farbige Abb. in Bearbeitung.

Wolf, R. (Hrsg.) (2002): Naturschutzgebiete im Regierungsbezirk Stuttgart. Ostfildern. 720 S. 550 farbige Abb.

Schutzgebiete in Umwelt-Datenbanken und -Karten online der LUBW:

<http://brsweb.lubw.baden-wuerttemberg.de/brs-web/home.cweb>

Naturschutzfachinformationen:

<http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/nafaweb/>

Kartieranleitung:

[http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/nafaweb/berichte/pag\\_n02/krt2.htm](http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/nafaweb/berichte/pag_n02/krt2.htm)

PLENUM:

<http://www.plenum-bw.de>

## 8.2 ARTENSCHUTZ

### 8.2.1 ARTENSCHUTZPROGRAMM

Nach § 42 des baden-württembergischen Naturschutzgesetzes (NatSchG) ist die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz verpflichtet, unter Mitwirkung anderer betroffener Landesbehörden, der Naturschutzvereine und sachkundiger Bürger ein Artenschutzprogramm zu erstellen und fortzuschreiben. Ziel ist die Erhaltung, Pflege und Entwicklung der wild lebenden Tier- und Pflanzenarten.

#### 8.2.1.1 BAUSTEINE DES ARTENSCHUTZPROGRAMMS

##### ARTENVERZEICHNISSE

In Deutschland kommen ca. 40 000 bis 50 000 Tierarten und etwa 20 000 Pflanzenarten vor, von denen aufgrund seiner geologischen und klimatischen Vielfalt rund 75 % in Baden-Württemberg vertreten sind. Im Rahmen des

Artenschutzprogramms werden Verzeichnisse der im Landesgebiet vorkommenden wild lebenden Tier- und Pflanzenarten erstellt und in der Regel gemeinsam mit den Roten Listen der gefährdeten Arten veröffentlicht.

### ROTE LISTE GEFÄHRDETER TIER- UND PFLANZENARTEN

Ergebnisse der landesweiten Bestandsaufnahmen und Zustandsbewertungen sind die Roten Listen bedrohter Tier- und Pflanzenarten. Die LUBW initiiert, koordiniert und veröffentlicht die Roten Listen, die von Experten der jeweiligen Artengruppen erstellt werden. Rote Listen geben Auskunft über Grad und Umfang der Gefährdung unserer heimischen Tier- und Pflanzenarten und werden auch als Begründungshilfe für den rechtlichen Schutz von Arten sowie als wichtige Entscheidungshilfe bei der Durchführung von Planungen herangezogen. Aus den bis-

her veröffentlichten Roten Listen folgt, dass etwa 40 % der Landesfauna und -flora im Bestand als gefährdet einzustufen sind (Abb. 8-14).

### GRUNDLAGENWERKE ZUM ARTENSCHUTZPROGRAMM

Die mit dem Artenschutzprogramm beabsichtigte Erhaltung der einheimischen wild lebenden Tier- und Pflanzenarten setzt eine Zustandserfassung und -bewertung der Vorkommen und konkrete Vorschläge für Schutz- und Hilfsmaßnahmen voraus. Daher fördert das Land die Bestandsaufnahmen von Fauna und Flora sowie die Erhebung zahlreicher ökologischer Daten. Diese werden in den Grundlagenwerken zum Artenschutzprogramm mit umfassender Beschreibung und Darstellung der Arten wie Angaben zur Biologie, Ökologie, Verbreitung und Gefährdung veröffentlicht. Die fachliche Betreuung ob-

liegt seit 1993 der ehemaligen LfU (seit 2006 LUBW). Unverzichtbare Partner bei der Erstellung sind die Staatlichen Museen für Naturkunde Stuttgart und Karlsruhe sowie zahlreiche ehrenamtliche Autoren und Mitarbeiter.

Die bereits erschienenen Grundlagenwerke (Tab. 8-8) machen es möglich, die Verbreitung und Gefährdungssituation einer großen Zahl heimischer Tier- und Pflanzenarten im Land auf wissenschaftlicher Grundlage zu beurteilen und enthalten wichtige Vorschläge für Schutz- und Pflegemaßnahmen.

#### 8.2.1.2 ZIEL UND UMSETZUNG DES ARTENSCHUTZPROGRAMMS

Das Artenschutzprogramm Baden-Württemberg hat zum Ziel, die Populationen der vom Aussterben bedrohten und hochgradig gefährdeten Arten zu erhalten und in ihrem Bestand durch Pflegemaßnahmen zu fördern. Verlust und Veränderung des Lebensraumes sind in Kombination mit besonders speziellen Habitatsprüchen ein Hauptgrund für die Seltenheit dieser Arten. Von ihrem Schutz profitiert in der Regel die gesamte Lebensgemeinschaft der vorwiegend seltenen Biotope.

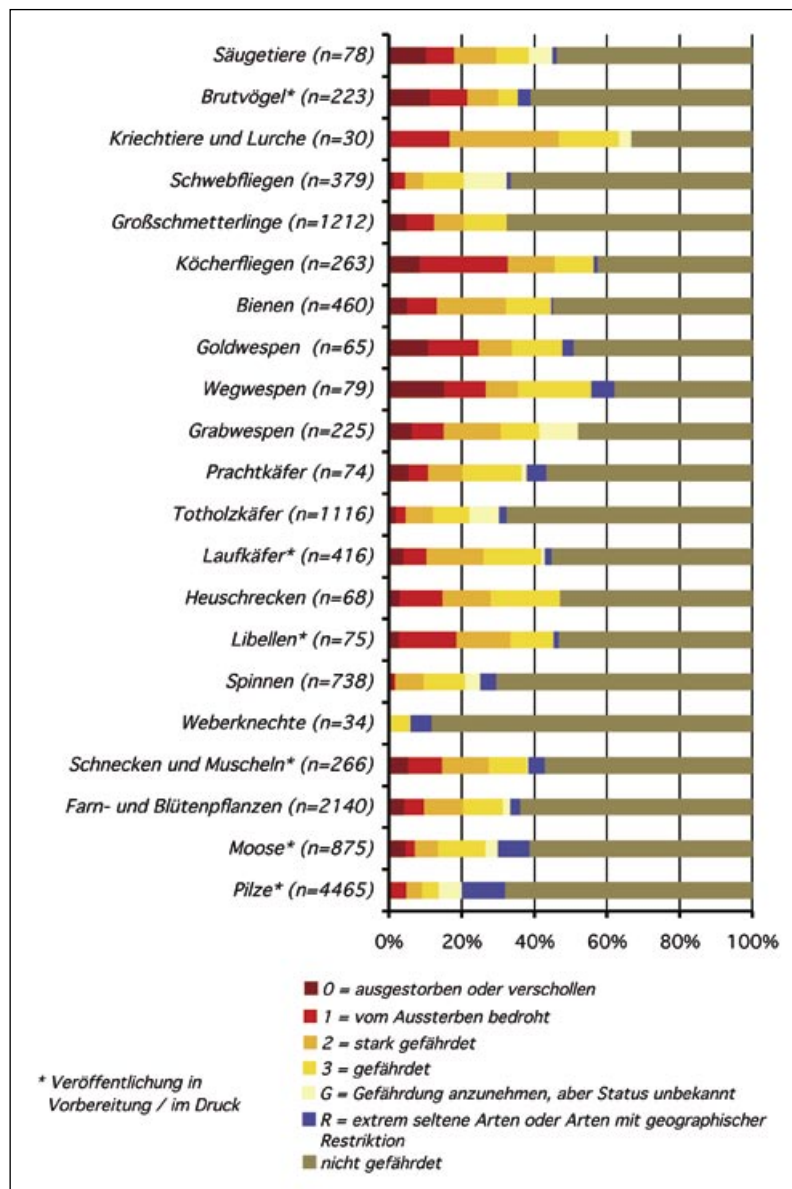


Abb. 8-14: In Baden-Württemberg gefährdete Tier- und Pflanzenarten ausgewählter Artengruppen. Quelle: LUBW, Stand 2/2006

Die Grundlagenwerke zum Artenschutzprogramm Baden-Württembergs bilden mit ihrem gesammelten Experten-

Tab. 8-8: Die Grundlagenwerke zum Artenschutzprogramm Baden-Württemberg. Quelle: LUBW, Stand 2/2006

Grundlagenwerk	erschienene Bände	Bände in Bearbeitung
Die wildlebenden Säugetiere Baden-Württembergs	2	
Die Vögel Baden-Württembergs	10	1
Die Amphibien und Reptilien Baden-Württembergs		1
Die Köcherfliegen Baden-Württembergs		1
Die Wildbienen Baden-Württembergs	2	
Die Schmetterlinge Baden-Württembergs	10	
Die Pracht- und Hirschkäfer Baden-Württembergs	1	
Die Heuschrecken Baden-Württembergs	1	
Die Libellen Baden-Württembergs	2	
Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs	8	
Die Moose Baden-Württembergs	3	
Die Flechten Baden-Württembergs	2	
Die Großpilze Baden-Württembergs	4	1
<b>Bände gesamt</b>	<b>45</b>	<b>4</b>

wissen die fachwissenschaftliche Basis des Artenschutzprogramms, das sich organisatorisch in die „Auswertung“ und die „Umsetzung“ der Grundlagenwerke gliedert. Bei der „Auswertung“, fachlich koordiniert durch die LUBW (ehemals LfU), werden die durch Expertenkonvention jährlich für jede Artengruppe festgelegten prioritären Arten im Gelände erhoben. Umfassende Detaildaten zur Population, inkl. Gefährdungsursachen und Maßnahmenvorschläge werden in Erhebungsbögen festgehalten, die dann zur „Umsetzung“ an die Referate 56 Naturschutz und Landschaftspflege der Regierungspräsidien (ehemals Bezirksstellen für Naturschutz und Landschaftspflege) weitergeleitet werden. Diese führen konkrete Schutz- und Pflegemanagement inklusive Erfolgskontrollen durch. Das Artenschutzprogramm wird in dieser Form seit 1992 durchgeführt. In Abhängigkeit von der Bearbeitungszeit der einzelnen Artengruppen und der Art der Fundmeldungen differiert die Summe der jeweiligen Erhebungen (Abb. 8-15). Fundorte sind flächig über das gesamte Land

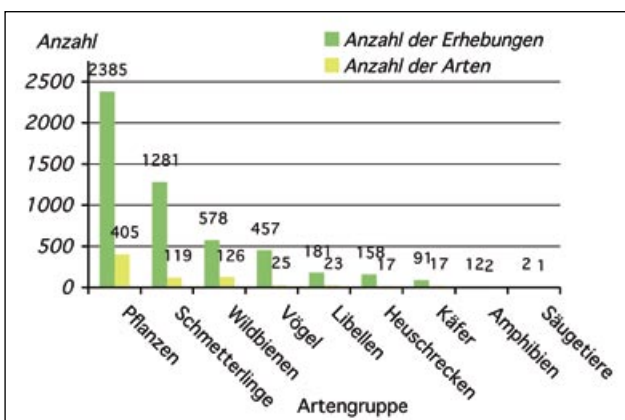


Abb. 8-15: Übersicht über den Bearbeitungsstand des Artenschutzprogramms Baden-Württemberg von 1992 bis 2005. Quelle: LUBW, Stand 2/2006

verteilt, wobei in Gebieten mit besonders reichhaltiger Naturraumausstattung, wie z.B. Kaiserstuhl, Oberrheinische Tiefebene, Südschwarzwald, Schwäbische Alb, nördliches Tauberland, Hegau und Oberschwaben starke Konzentrationen auftreten (Abb. 8-16).

### 8.2.2 BRUTVOGEL-MONITORING

Das Brutvogel-Monitoring Baden-Württemberg dient nicht nur der Datensammlung und Dokumentation von Entwicklungen der Vogelbestände, sondern hat eine herausragende Bedeutung als Frühwarnsystem von Veränderungen und Gefährdungen der Vogelwelt. Es ist damit ein wichtiger Indikator für den Zustand der Umwelt. Handlungsbedarf zum Ergreifen von Schutzmaßnahmen wird frühzeitig erkennbar.

Das Brutvogel-Monitoring Baden-Württemberg dient nicht nur der Datensammlung und Dokumentation von Entwicklungen der Vogelbestände, sondern hat eine herausragende Bedeutung als Frühwarnsystem von Veränderungen und Gefährdungen der Vogelwelt. Es ist damit ein wichtiger Indikator für den Zustand der Umwelt. Handlungsbedarf zum Ergreifen von Schutzmaßnahmen wird frühzeitig erkennbar.

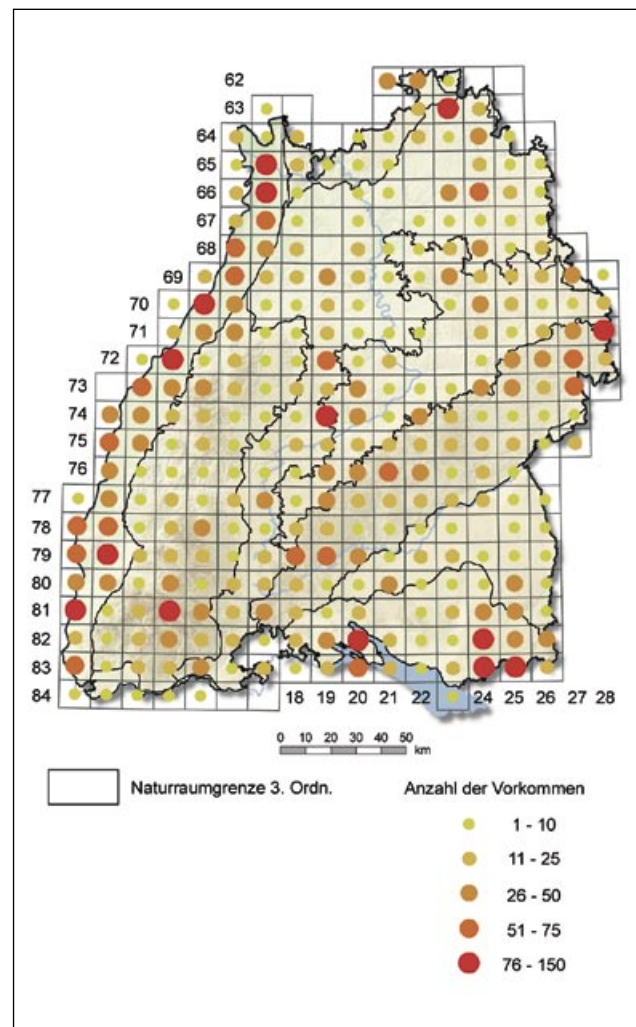


Abb. 8-16: Verbreitung der im Rahmen des Artenschutzprogramms Baden-Württemberg erhobenen Pflanzen- und Tiervorkommen, für die Umsetzungsmaßnahmen begonnen wurden. Quelle: LUBW, Stand 2/2006

Seit 1992 führt das Land Baden-Württemberg ein Brutvogel-Monitoring zur Erfassung der „häufigeren“ Vogelarten in der Normallandschaft durch. In den Jahren 1992 bis 1999 von der inzwischen aufgelösten Staatlichen Vogelschutzwarte betreut, übernahm die ehemalige LfU ab 2001 diese Aufgabe. 2003/2004 hat der Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA) im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) eine bundesweite Methodik für das „Monitoring von Vogelarten in der Normallandschaft“ erarbeitet. In diesem Zusammenhang wurden vom Statistischen Bundesamt für Baden-Württemberg rund 400 von bundesweit 2 637 Stichprobenflächen mit einem Quadratmeter Rastergröße ermittelt, die soweit fachlich sinnvoll auch Grundlage für weitere Monitoringprogramme des Landes darstellen. Der Kern dieses Stichprobenpools besteht aus 101 Flächen für das bundesweite Monitoring. Zur Widerspiegelung einer landesweiten Repräsentativität wurde dieser Pool mit Landesstichprobenflächen aufgefüllt. Insgesamt wird in Baden-Württemberg bisher auf 88 Flächen (Stand 2005) im Rahmen des „Monitoring häufiger Brutvögel“ kartiert (Abb. 8-17). Die Monitoringflächen aus den Jahren 1992 bis 2003 werden in einer Übergangszeit parallel mitbearbeitet, um die „alten“ Daten später durch

Vergleiche mit den nach der neuen Methodik gewonnenen Ergebnissen statistisch auswerten zu können.

Seit 2004 ist Baden-Württemberg durch Anwendung dieser bundesweit standardisierten Methodik Teil des nationalen „Monitoring von Vogelarten in der Normallandschaft“, sowie wichtiger Baustein für den Atlas deutscher Brutvogelarten (ADEBAR). Weiterhin basiert die Ermittlung des nationalen Nachhaltigkeitsindicators für die Artenvielfalt – ein Indikator für den Zustand von Natur und Landschaft in Deutschland - auf diesem Programm.

### 8.2.3 BIBER IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Nach fast 150jähriger Abwesenheit hat der Biber (*Castor fiber*) durch Zuwanderung aus den Nachbarregionen Bayern, Schweiz und Elsass Mitte der 1970er Jahre erstmals wieder Baden-Württemberg erreicht. Der aktuelle Bestand (Januar 2006) wird auf 700 Tiere in ca. 185 Ansiedlungen geschätzt – mit steigender Tendenz. Schwerpunktgebiete sind der Hochrhein im Südwesten sowie die Donau und deren größere Nebenflüsse in den östlichen Landesteilen (Abb. 8-18).

Der Biber gehört zu den streng geschützten Tierarten; er ist in den Anhängen II und IV der FFH-Richtlinie aufgeführt.

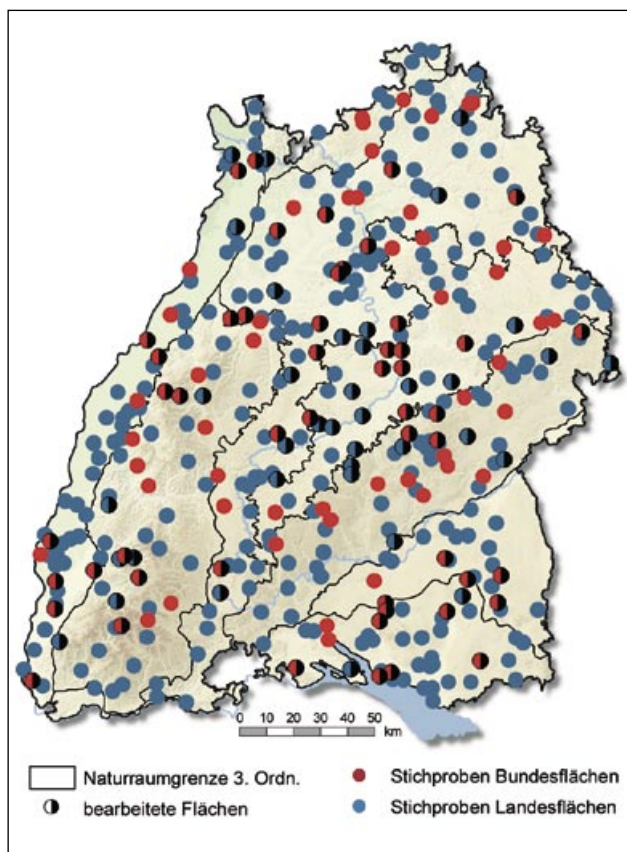


Abb. 8-17: Netz der Stichprobenflächen für das Monitoring häufiger Brutvögel in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW, Stand 2/2006

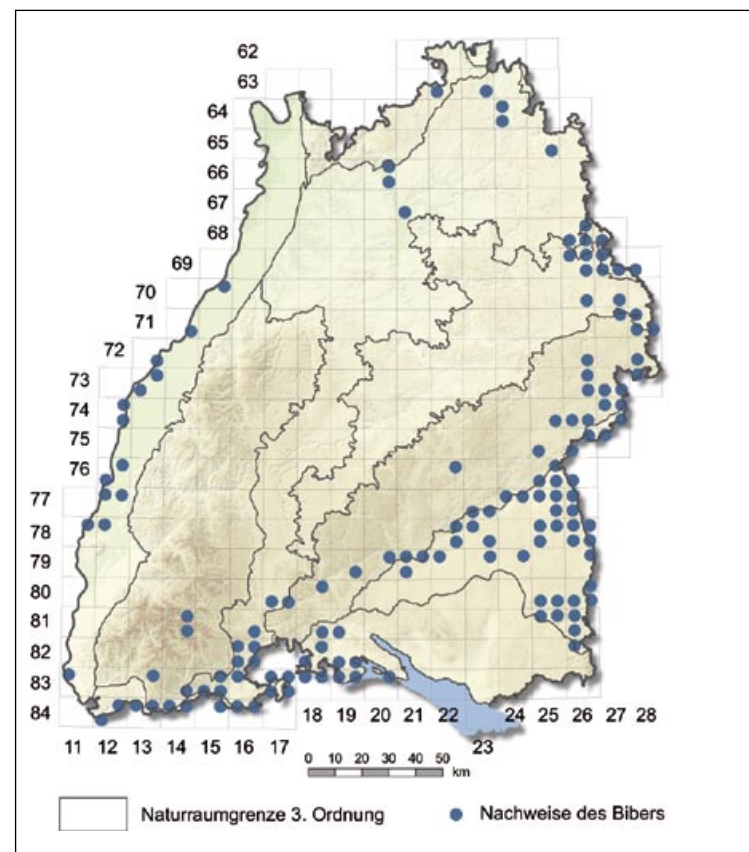


Abb. 8-18: Verbreitungssituation des Bibers in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW, Stand: 2/2006

Insgesamt 34 FFH-Biberschutzbereiche wurden vom Land an die EU gemeldet. Zum Management sich abzeichnender Konflikte zwischen Mensch und Biber ist ein Netzwerk ehrenamtlicher Biberberater im Aufbau.

### 8.3 MEDIENÜBERGREIFENDE UMWELTBEOBACHTUNG

Baden-Württemberg ist ein hoch industrialisiertes, intensiv genutztes und dicht besiedeltes Land. Zur Wahrung eines attraktiven Lebensumfeldes sowie zur Schaffung gesunder Arbeits- und Standortbedingungen ist es auf eine nachhaltige Entwicklung und die Reduzierung von Umweltbelastungen angewiesen.

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts stellen die sich abzeichnenden Entwicklungen in unserer Umwelt - wie beispielsweise der Klimawandel - die Umweltpolitik vor neue Aufgaben und Herausforderungen. Mit erheblichen finanziellen Aufwendungen und Anstrengungen konnten bisher in vielen Bereichen große Erfolge erzielt werden. Dennoch sind in einigen Bereichen noch Defizite zu erkennen. Hierzu gehören z. B. Waldschäden, Rückgang der biologischen Vielfalt, nachteilige Landschaftsveränderungen sowie Boden- und Gewässerbelastungen mit organischen Schadstoffen wie chlorierte Pestizide, polychlorierte Biphenyle (PCB), Methyl-tertiär-Butylether (MTBE) sowie polybromierte Diphenylether (PBDE).

#### 8.3.1 ÖKOLOGISCHES WIRKUNGSKATASTER

##### BADEN-WÜRTTEMBERG

Die Wirkungen von Umweltbelastungen sind vielfältig und medienübergreifend. Das Land Baden-Württemberg hat die Problematik bereits 1984 mit dem Aufbau und Betrieb eines landesweiten biologischen Messnetzes, dem „Ökologischen Wirkungskataster Baden-Württemberg“ (ÖKWI), aufgegriffen. Im ÖKWI werden Wirkungen von Umweltbelastungen mit Hilfe von Bioindikatoren (Pflanzen, Tiere) erfasst und bewertet (Tab. 8-9). Begleitend werden chemisch-physikalische Daten in Boden, Wasser und Luft erhoben bzw. berücksichtigt. Damit war es möglich, Zeitreihen zum Zustand des Naturhaushaltes sowie eine räumliche Differenzierung der Belastungssituation zu erarbeiten. Die Untersuchungen zum ÖKWI finden landesweit auf ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen sowie -stellen in Wald, Grünland und Fließgewässern statt (Abb. 8-19). Daneben erfolgen Erhebungen in Ballungsgebieten oder an ausgewählten Belastungsschwerpunkten.

Tab. 8-9: Bioindikation im Rahmen des Ökologischen Wirkungskatasters Baden-Württemberg. Quelle: LFU 2005

Erhebungen in regelmäßigen Abständen	
	Zustand, Nähr- und Schadstoffgehalte von Waldbäumen (Buche, Tanne, Fichte)
	Flechtenvorkommen zur Beschreibung der Luftqualität
	Schadstoffgehalte von Vogeleiern
	Auswirkungen der Versauerung auf Amphibien und deren Laichgewässer
	Bestände und Schadstoffgehalte von Bachforellen im Hinblick auf Gewässerversauerung
	Artenspektren und Zustand wirbelloser Wassertiere (inkl. Biotests)
	Artenspektren und Schadstoffgehalte von Moosen
	Pflanzengesellschaften zur Beschreibung von Wald- und Grünlandstandorten
	Artenspektren bzw. Schadstoffgehalte von Bodenlebewesen (Regenwürmer, Springschwänze)

#### 8.3.2 WEITERENTWICKLUNG DES ÖKOLOGISCHEN WIRKUNGSKATASTERS

Ursprünglich im Zusammenhang mit Themen wie Waldsterben, saurer Regen und Bodenversauerung ins Leben gerufen, lag der Schwerpunkt des Ökologischen Wirkungskatasters in den ersten Jahren auf der Ermittlung und Bewertung der Wirkungen von anorganischen Schadstoffen auf Ökosysteme wie Schwefeldioxid, Stickoxiden und Schwermetallen. In den Folgejahren wurde das Untersu-

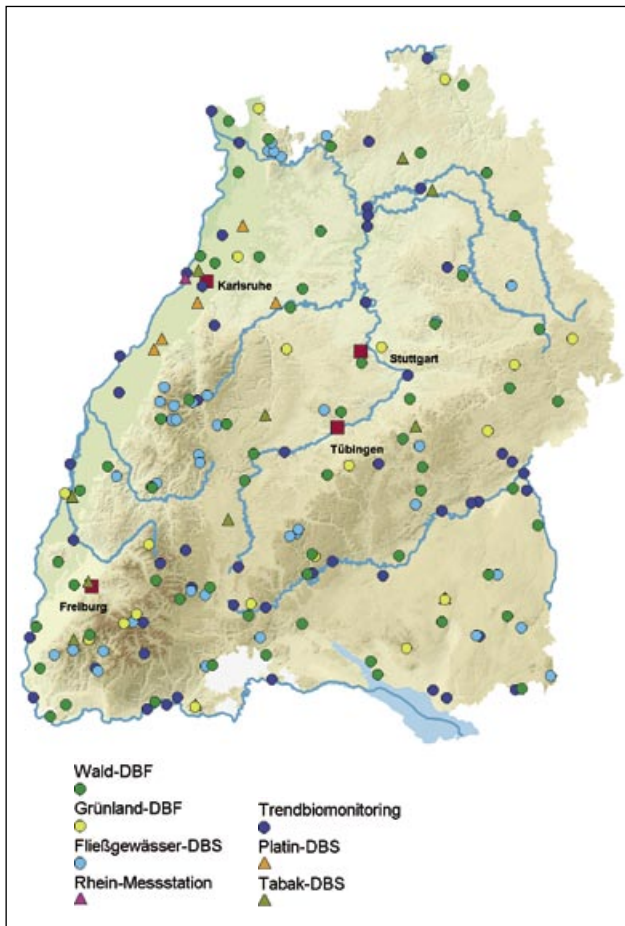


Abb. 8-19: Messnetze des Ökologischen Wirkungskatasters Baden-Württemberg (DBS = Dauerbeobachtungsstellen, DBF = Dauerbeobachtungsflächen).  
Quelle: LFU 2005

chungsprogramm auf umweltrelevante organische Schadstoffe, z. B. auf die für Mensch und Tier gesundheitsschädlichen Organohalogenverbindungen, ausgedehnt und ökotoxikologische Bewertungen nahmen immer größeren Raum ein.

Zukünftig soll die Verknüpfung von biologischen, chemisch-physikalischen und Meta-Daten aus verschiedenen, sektoralen Messnetzen noch stärker berücksichtigt werden, um eine integrative, medienübergreifende Datenauswertung zu gewährleisten. Hierzu stellt das ÖKWI Ausgangspunkt und Keimzelle beim Aufbau der medienübergreifenden Umweltbeobachtung (MUB) in Baden-Württemberg dar. Die MUB widmet sich aktuell drei Schwerpunktthemen:

- den Wirkungen von Klimaveränderungen,
- der Anreicherung und Wirkung chemischer Stoffe in der Umwelt,
- den Auswirkungen neuer Technologien.

Wirkungen von Klimaveränderungen auf die belebte Umwelt werden seit 1994 bearbeitet. Verschiedene Beobachtungen und Befunde bestätigen, dass der Klimawandel bereits stattfindet. Über die Wirkungen von Klimaveränderungen wird in Kapitel 3.4 berichtet. Es ist davon auszugehen, dass sich der Klimawandel in den nächsten 20 Jahren verstärken und medienübergreifend auswirken wird.

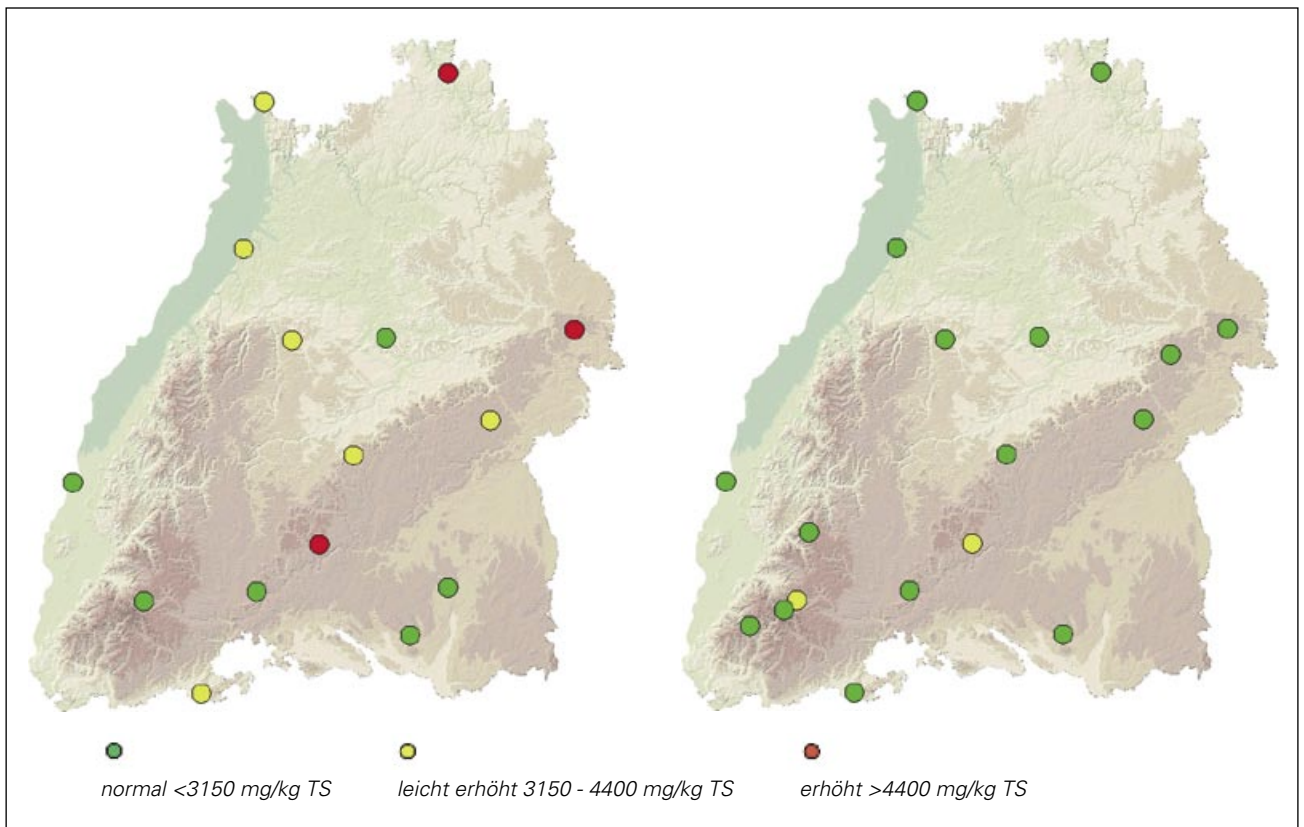


Abb. 8-20: Schwefelgehalte in Grünlandpflanzen in den Jahren 1988 (linke Karte) und 2003 (rechte Karte). Quelle: LFU 2005

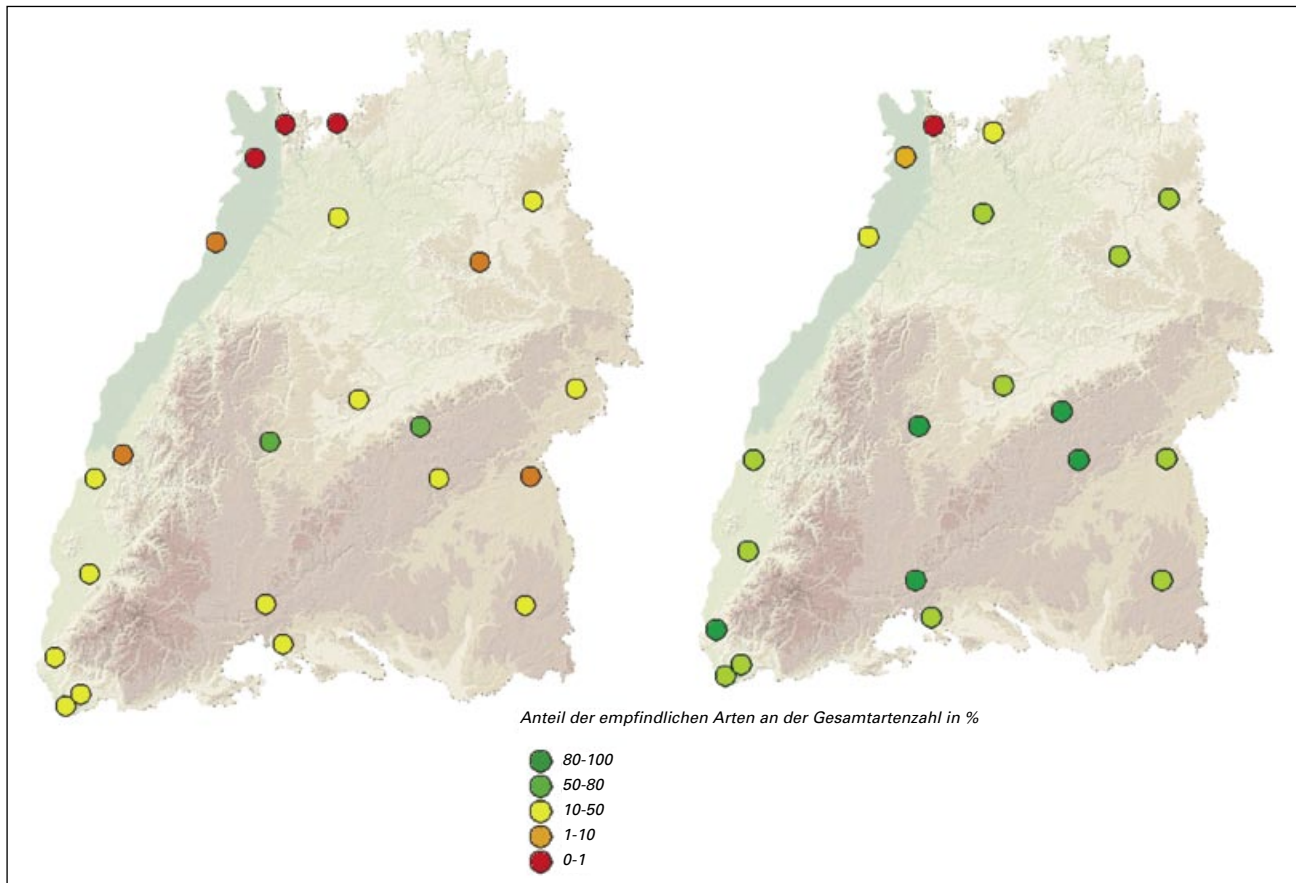


Abb. 8-21: Entwicklung der empfindlichen Moosarten auf den Wald-Dauerbeobachtungsflächen in den Jahren 1989 (linke Karte) und 2003 (rechte Karte). Quelle: LFU 2005

### 8.3.3 ANREICHERUNG UND WIRKUNG CHEMISCHER STOFFE IN DER UMWELT

Zum Schwerpunktthema „Anreicherung und Wirkung chemischer Stoffe in der Umwelt“ liegen z. T. langjährige Zeitreihen vor. Eine Ergebnisauswahl wird im Folgenden vorgestellt.

#### 8.3.3.1 SCHWEFELDIOXID

Schwefeldioxid ist maßgeblich an der Entstehung des „Sauren Regens“ beteiligt. Der Rückgang der Schwefeldioxidemissionen zeigt sich in der Abnahme der Schwefelkonzentrationen im Wald und im Grünland (Abb. 8-20), aber auch in der veränderten Artenzahl und im Artenspektrum der epiphytischen Flechten- und Moosflora (Abb. 3-21 und 8-22). Neben Amphibien und Fischen lassen auch andere Bioindikatoren (u. a. Kieselalgen, Wassermoose, wirbellose Wassertiere) eine Verbesserung der Versauerungssituation in Fließ- und Stehgewässern erkennen. Die exemplarisch ausgeführte medienübergreifende Auswertung zur Versauerungssituation im Nordschwarzwald belegt den Rückgang an versauernd wirkenden Luftschadstoffen und eine insgesamt positive Entwicklung im Bereich der Oberflächengewässer.

#### 8.3.3.2 STICKSTOFF

Stickstoffeinträge, hauptsächlich aus dem Kfz-Verkehr und aus landwirtschaftlichen Quellen, sind nach wie vor ein Belastungsfaktor für die Umwelt. Für Waldpflanzen kann auch 2004 ein Trend zu höheren Stickstoffgehalten festgestellt werden. Flechtenkartierungen ergaben eine Zunahme von stickstofftoleranten und stickstoffliebenden Flechtenarten (Abb. 8-22).

#### 8.3.3.3 SCHWERMETALLE

Die Schwermetallbelastung ist in den letzten 20 Jahren landesweit erheblich zurückgegangen. Der Rückgang des Bleigehaltes in den Pflanzen der Dauerbeobachtungsflächen in Wald und Grünland sowie in Regenwürmern um z.T. 90 % des Ausgangswertes im Jahr 1985 ist beeindruckend (Abb. 8-23). Mit der stufenweisen Einführung von bleifreiem Benzin seit Ende der 1970er Jahre reduzierten sich die Blei-Emissionen und -Immissionen landesweit deutlich.

Der Rückgang von Cadmium in der Umwelt wurde insbesondere durch die deutliche Verringerung der Emissionsbelastung aus Feuerungsanlagen, Kraft- und Heizwerken erreicht. Auch die mit Hilfe eines neuen ökotoxikologischen



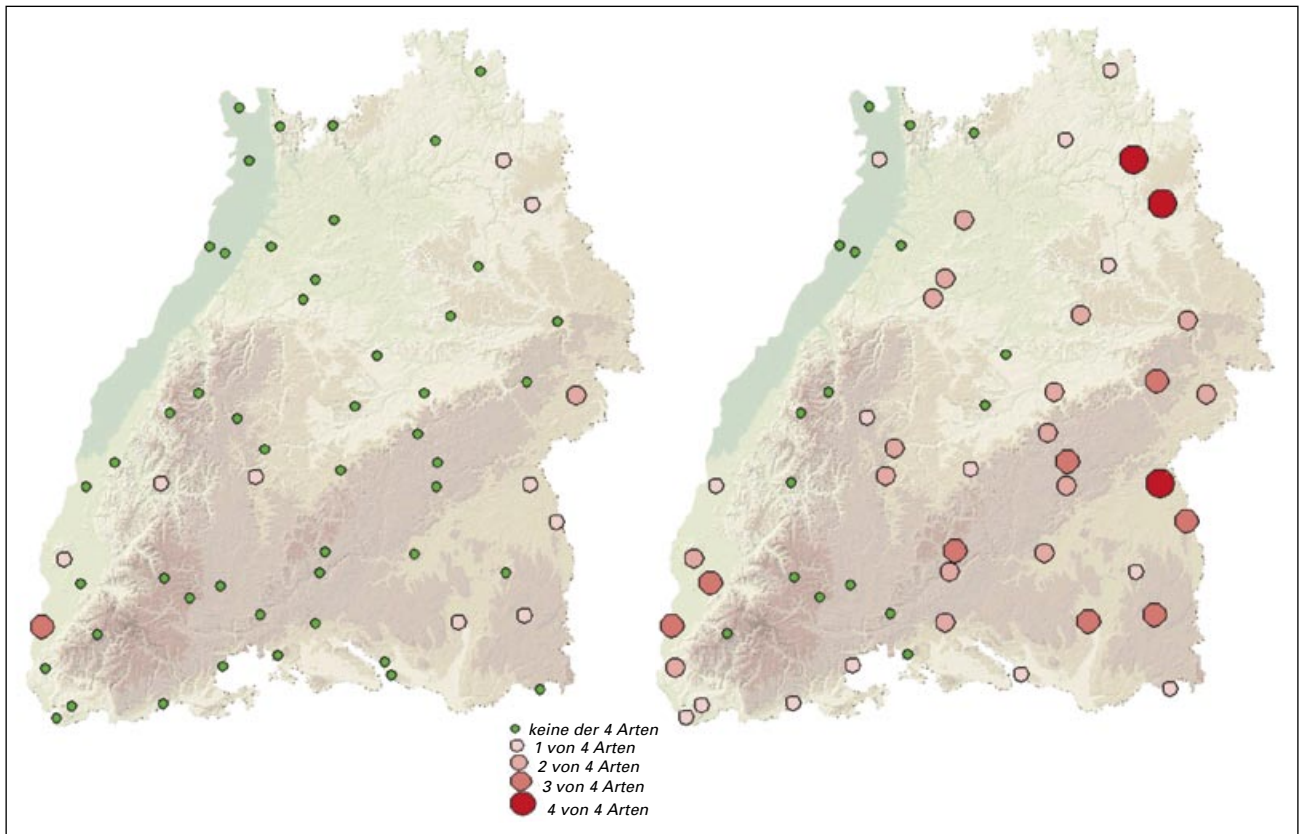


Abb. 8-22: Stickstoffliebende Flechtenarten auf den Wald-Dauerbeobachtungsflächen in den Jahren 1985 (linke Karte) und 2002 (rechte Karte). Quelle: LFU 2005

Bewertungsverfahren erzielte Einordnung der Schwermetallbelastung im Oberboden der untersuchten Wald-Dauerbeobachtungsflächen ergab keine bis geringe Belastungen für die Metalle Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel und Zink.

#### 8.3.3.4 ORGANOHALOGENVERBINDUNGEN

Organohalogenverbindungen können die Umwelt schwer belasten und erhebliche Schäden hervorrufen. Mit Hilfe des Bioindikators „Wanderfalke“ ist es möglich, diese Schadstoffe an Hand so genannter Resteier (Eier ohne Bruterfolg) in der Umwelt nachzuweisen. Als Auswirkung

von Verwendungsverböten und anderen Minderungsmaßnahmen haben die Konzentrationen der Stoffe DDT, DDE, Heptachlorepoxyd, Hexachlorbenzol, Hexachlorcyclohexan und PCB seit den 1980er Jahren merklich abgenommen (Abb. 8-24). Eine Entwarnung kann noch nicht gegeben werden, denn DDT/DDE bewirkt über eine Störung des Kalzium-Stoffwechsels eine Ausdünnung der Eischalen und dadurch einen verminderten Bruterfolg. Das DDT-Anwendungsverbot hat mit dazu beigetragen, das Aussterben des Wanderfalken zu verhindern. Dies wird durch den parallel aufgetragenen Schalenindex (Abb. 8-24) sowie die Dicke der Eischalen deutlich, die mit dem Rückgang der Kontamination zunimmt. Im Vergleich zur DDE-Kontamination der Falkeneier früherer Jahre erscheint das derzeitige erreichte Niveau gering. Für andere Stoffe lassen sich zum Teil jedoch noch hohe Konzentrationen nachweisen und Vergleichswerte für Lebensmittel werden bis zu 1000fach überschritten. So wurden PCB als besonders kritische Schadstoffgruppe identifiziert, weil sie als einzige der untersuchten Schadstoffe die Wirkungsschwelle beim Bioindikator „Wanderfalke“ überschreiten. Bei einem regionalen Vergleich der Belastungen mit DDT bzw. PCB zeichnen sich der Kraichgau/Stromberg und der Nördliche Oberrheingraben aufgrund der Besiedlungsdichte sowie

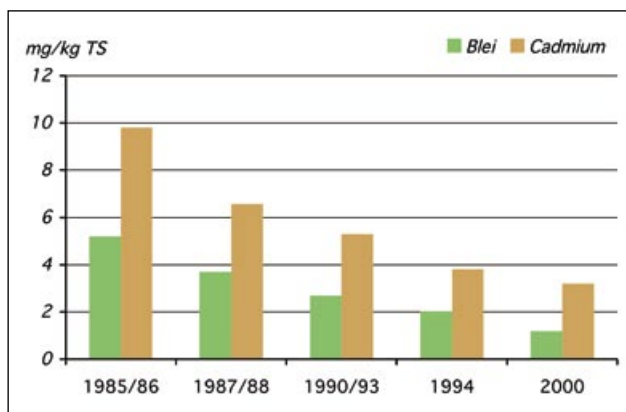
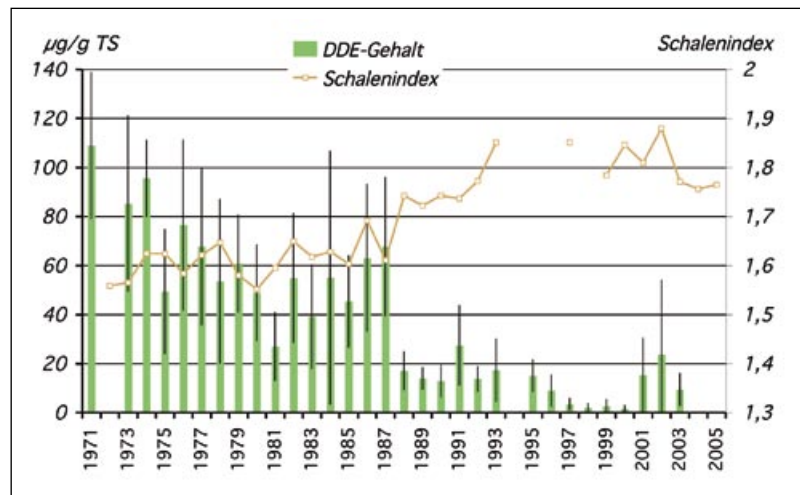


Abb. 8-23: Entwicklung der Medianwerte von Blei und Cadmium in Regenwürmern (*L. rubellus*) in den Jahren 1985/86 bis 2000. Quelle: LFU 2005

der Hochschwarzwald und die Schwäbische Alb aufgrund ihrer Höhenlage als am stärksten belastete Regionen aus (dunkler markierte Flächen in Abb. 8-25). Der Einfluss der Höhenlage kann mit der Theorie der globalen Destillation erklärt werden, wonach persistente, schwerflüchtige Stoffe durch Verdunstung und Verdriftung global verteilt werden und sich durch Ausfrieren an den Polen und in Gebirgsregionen anreichern.



### 8.3.3.5 PLATINGRUPPENELEMENTE

Die Umweltbeobachtung trägt dazu bei, die potenziellen Auswirkungen neuer Technologien auf die Umwelt, wie die Katalysortechnik in Kraftfahrzeugen und die Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen in die Umwelt zu erfassen und zu bewerten.

Zur Immission und Wirkung von Platingruppenelementen aus Kfz-Abgaskatalysatoren wurden an den Autobahnen

Abb. 8-24: DDE-Gehalt in µg/g Trockensubstanz (TS) in Wanderfalkeneiern aus Baden-Württemberg mit Standardabweichung. Schalenindex ermittelt nach SCHILLING & WEGNER (2001) und WEGNER et al. (2005).  
Quelle: LFU 2005

A5 und A8 Untersuchungen mit dem Bioindikator „Weidelgras“ durchgeführt (Abb. 8-26). Die festgestellten Konzentrationen sind für den Menschen nicht gesundheitsge-

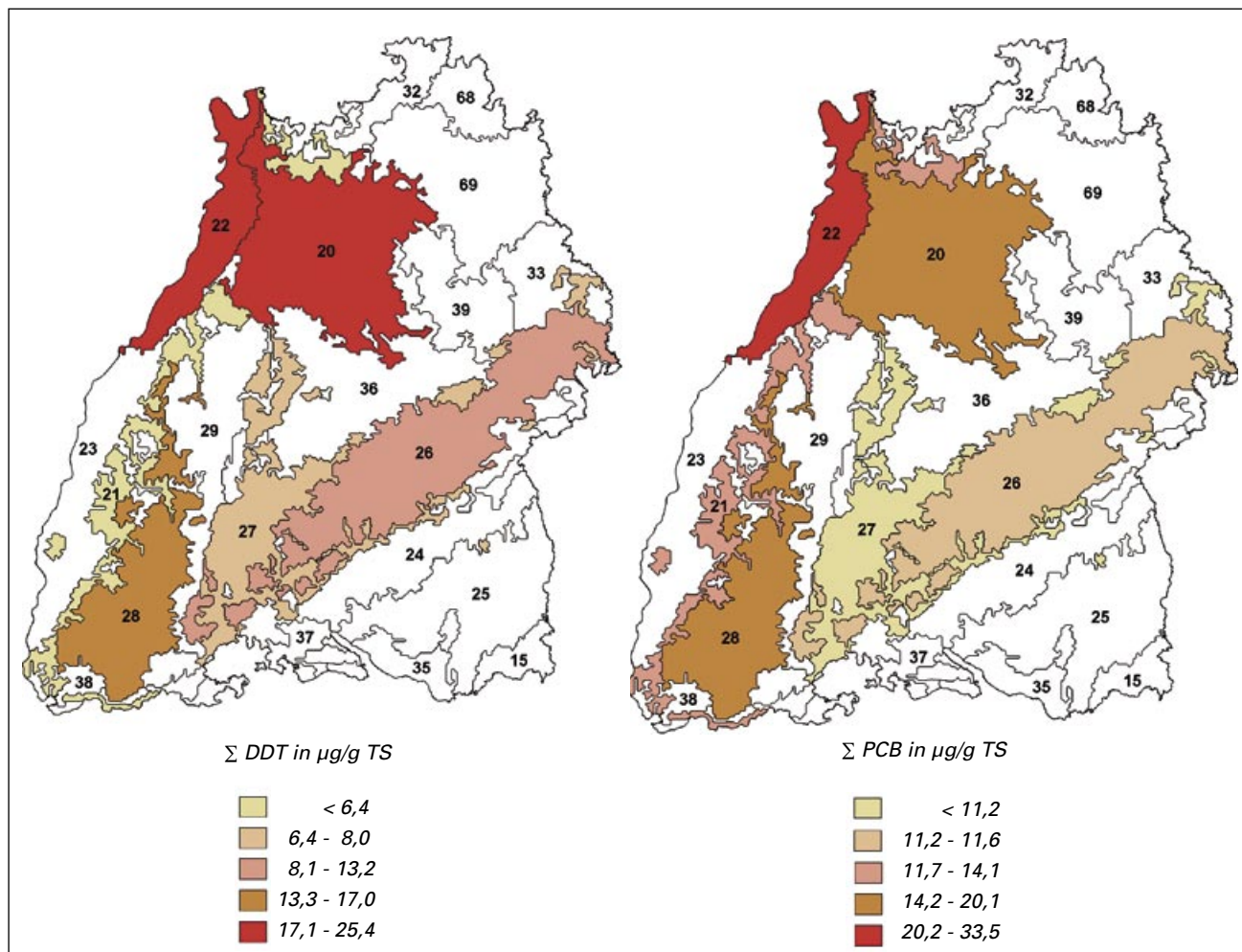


Abb. 8-25: Regionale Belastungsunterschiede der mittleren DDT- bzw. PCB-Gehalte von Wanderfalkeneiern in den Jahren 2001 bis 2003. Quelle: LFU 2005



Abb. 8-26: Graskulturen an der Autobahn. Foto: K. Wildenmann

fähernd. Wegen der sensibilisierenden und katalytischen Wirkung des Platins und des Palladiums ist eine Beobachtung des weiteren zeitlichen Verlaufs der Edelmetallkonzentrationen in der Umwelt angezeigt.

### 8.3.3.6 GENTECHNISCH VERÄNDERTE ORGANISMEN

Durch die Zulassung gentechnisch veränderter Pflanzen für den Anbau in der Landwirtschaft ist es notwendig geworden, gentechnisch veränderte Organismen (GVO) und deren Wirkung auf die Umwelt zu beobachten. Hierfür wird von der LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg ein Monitoringprogramm für gentechnisch veränderte Organismen aufgebaut. Die Grünland-Dauerbeobachtungsflächen (Abb. 8-20) bilden das Basismessnetz für die Beobachtung der Umweltwirkungen von GMO. Neben vegetationskundlichen Erhebungen werden, in Kooperation mit der Universität Hohenheim, derzeit Bodenproben aus dem direkten Umfeld der Grünland-Dauerbeobachtungsflächen untersucht.

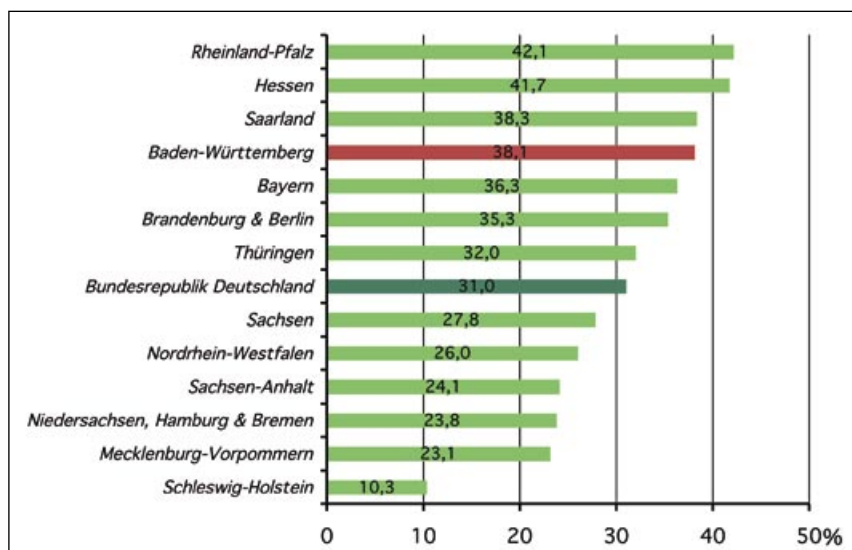


Abb. 8-27: Bewaldungsprozente der einzelnen Bundesländer. Quelle: BMVEL; Stand 2004

Dadurch sollen mögliche Wirkungen auf den Boden und die Bodenflora erfasst werden.

## INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Signale aus der Natur

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/14556/>

## 8.4 WALD

Der Wald ist eines der wertvollsten großflächigen Land-ökosysteme in Europa. Er entfaltet vielfältige Schutz- und Erholungswirkungen und ist Lebensraum für viele wildlebende Pflanzen- und Tierarten. Zugleich liefert er den nachwachsenden und umweltfreundlichen Rohstoff Holz und ist Einkommensquelle und Arbeitsplatz (zu Holz als nachwachsendem Rohstoff vgl. Kap. 2.1.2).

Dementsprechend regelt das baden-württembergische Waldgesetz, den Wald so zu behandeln, dass auch für zukünftige Generationen seine vielfältigen Wirkungen und Leistungen erhalten bleiben. Dieser umfassende Ansatz wird international im Rahmen des „forstlichen Nachhaltigkeitsbegriffs“ definiert.

### 8.4.1 WALDFLÄCHE UND -EIGENTUM

Baden-Württemberg weist eine Waldfläche von rund 1,39 Mio. ha auf, das sind 39 % der Landesfläche. Das Land zählt damit zu den walddreichen Bundesländern (Abb. 8-27).

Der Wald verteilt sich jedoch nicht gleichmäßig über die Landesfläche. Sehr walddreichen Landschaften, wie dem Schwarzwald, Odenwald oder Schwäbisch-Fränkischen Wald, stehen die walddärmeren Ballungsräume Stuttgart, Karlsruhe, Heidelberg-Mannheim-Ludwigshafen und das Rheintal gegenüber.

#### 8.4.1.1 WALDEIGENTUM

Baden-Württemberg ist ein Land des Körperschafts- und Privatwaldes. 38 % des Waldes sind im Eigentum der Städte und Gemeinden, 24 % gehören als Staatswald dem Land Baden-Württemberg und 1 % der Bundesrepublik Deutschland. Der Privatwald macht 37 % der Gesamtwaldfläche aus.

### 8.4.1.2 ENTWICKLUNG DER WALDFLÄCHE

Die Waldfläche Baden-Württembergs nimmt seit Ende des 19. Jahrhunderts kontinuierlich zu (seit dem Jahr 1968 insgesamt über 13 000 Hektar) (Abb. 8-28). Dem Verlust durch Rodung und Umwandlung in eine andere Nutzungsart (vorwiegend Verkehrs-, Infrastruktur- sowie Gewerbeflächen) stehen höhere Waldflächengewinne durch Neuaufforstungen oder natürliche Wiederbewaldung durch Sukzession ehemals landwirtschaftlicher Flächen gegenüber. Während die Waldflächenzugewinne überwiegend im ländlichen Raum liegen, sind die Verdichtungsräume aufgrund der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung überdurchschnittlich stark von Waldflächenverlusten betroffen. Die Erhaltung des Waldes mit seinen vielfältigen Wohlfahrtsfunktionen ist gerade in diesen stark belasteten Räumen eine vordringliche Aufgabe der Landesforstverwaltung.

### 8.4.2 SCHUTZ- UND ERHOLUNGSFUNKTION DER WÄLDER

#### 8.4.2.1 WÄLDER MIT BESONDERER BEDEUTUNG FÜR DEN BIOTOP- UND ARTENSCHUTZ

In unserem dicht besiedelten und hoch industrialisierten Land haben die Wälder eine große Bedeutung für den Biotop- und Artenschutz. Ihre Großflächigkeit und die naturnahe Bewirtschaftung haben sie zu Rückzugsstätten und Lebensräumen für viele Tier- und Pflanzenarten gemacht. Landesweit unterliegt rund ein Viertel der Waldfläche einer naturschutzrechtlichen Zweckbindung, über 30 bzw.

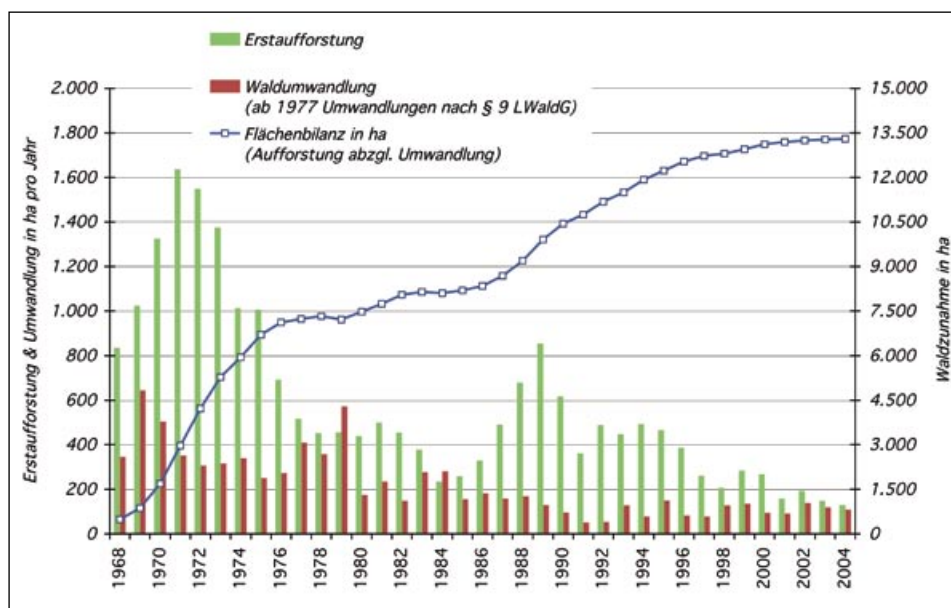


Abb. 8-28: Entwicklung der Waldfläche in Baden-Württemberg: Erstaufforstungen und Waldumwandlungen. Quelle: MLR/Landesforstverwaltung; Stand 2005

Tab. 8-10: Naturschutzwichtige Flächen im Wald. Quelle: MLR/Landesforstverwaltung; Stand 2005

		Hektar	% der Waldfläche	Anzahl
Naturschutzwichtige Flächen im Wald insgesamt (ohne Überlagerungen)		949.906	68,5	
Waldschutzgebiete nach § 32	Bannwald	6.685	0,5	108
	Schonwald	18.395	1,3	376
Landeswaldgesetz insgesamt		25.080	1,8	484
Wald in Schutzgebieten nach Naturschutzgesetz	Wald in Naturschutzgebieten	45.464	3,2	
	Wald in Landschaftsschutzgebieten	430.069	31	
Waldbiotope	Wald in Naturparks	635.617	45,7	
	Waldbiotope nach § 32 Naturschutzgesetz	39.634	2,9	
	Waldbiotope nach § 30a Landeswaldgesetz	17.637	1,2	
	Sonstige seltene Waldbiotope	22.801	1,6	
Wald in Natura 2000-Gebieten	FFH-Gebiete	267.000	18,7	
	Vogelschutzgebiete	119.000	8,5	

45 % liegt in Landschaftsschutzgebieten oder Naturparks. Der sehr hohe Waldanteil von über 60 % in den Flächenmeldungen zum europäischen Schutzgebietsnetz Natura 2000 dokumentiert die besondere Bedeutung des Waldes für den Naturschutz auch international (Tab. 8-10).

Weitere rund 45 000 Hektar öffentlichen Waldes sind zur extensiven Bewirtschaftung ausgewiesen und haben einen hohen Stellenwert für den Waldnaturschutz.

Das Waldschutzgebietsprogramm der Landesforstverwaltung umfasst die Ausweisung, den Schutz und die Pflege von Bann- und Schonwäldern. Diese Waldschutzgebiete auf der Grundlage des Landeswaldgesetzes dienen dem Schutz bestimmter Waldgesellschaften und der wissenschaftlichen Erforschung natürlicher Abläufe in Urwäldern. Ihr Anteil soll langfristig 2 % der Gesamtwaldfläche umfassen, wobei eine repräsentative Verteilung auf Großlandschaften (Wuchsgebiete) angestrebt wird.

Rund 6 % der Gesamtwaldfläche entfallen auf seltene und hochwertige Waldbiotope. Hinsichtlich des gesetzlichen Schutzes werden drei Gruppen unterschieden:

1. nach § 32 Landesnaturschutzgesetz besonders geschützte Biotope,

2. nach § 30a Landeswaldgesetz geschützter „Biotop-schutzwald“,
3. Biotope, die keinem unmittelbaren gesetzlichen Schutz unterliegen, aber weitere, für den Biotop- und Artenschutz besonders wichtigen Bereiche im Wald darstellen.

Die Waldbiotopkartierung bildet eine wichtige Planungsgrundlage für die Waldwirtschaft, indem sie Hinweise auf erforderliche Schutz- oder Pflegemaßnahmen bietet. Eine Ersterfassung der Waldbiotope nach festgelegten Kriterien „Seltenheit“ und „Gefährdung“ konnte 1998 abgeschlossen werden. Die Waldbiotopkartierung wird laufend aktualisiert und präzisiert. Die vorkommenden Einzelstrukturen werden in zwölf so genannten Leitbiototypen zusammengefasst (Tab. 8-11).

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 Oberreintal mit den typischen Biotopen der Aue sowie im übrigen Gebiet des Rheintals mit den Trockenbiotopen.

#### 8.4.2.2 BODENSCHUTZWALD

Wälder auf erosionsgefährdeten Standorten sind nach dem Landeswaldgesetz als Bodenschutzwald geschützt und müssen besonders schonend bewirtschaftet werden. Dazu gehören insbesondere rutschgefährdete Hänge, felsige oder

Tab. 8-11: Auswertung der Waldbiotopkartierung nach Leitbiototypen. Quelle: MLR/Landesforstverwaltung; Stand 2005

<u>Leitbiototypen</u>	<u>Hektar</u>
Seltene, naturnahe Waldgesellschaften (v.a. <u>trockene bzw. nasse Extremstandorte</u> )	19.302
<u>Trockenbiotope</u>	4.604
<u>Moorbereiche und Feuchtbiotope</u>	6.105
<u>Stillgewässer mit Verlandungsbereich</u>	1.837
<u>Fließgewässer mit naturnaher Begleitvegetation</u>	14.471
<u>Waldränder</u>	662
Waldbestände mit schützenswerten Tierarten	4.047
Waldbestände mit schützenswerten Pflanzenarten	4.582
<u>Strukturreiche Waldbestände</u>	8.813
Waldbestände mit Resten historischer Bewirtschaftungsformen	823
<u>Sukzessionsflächen</u>	4.088
<u>Naturgebilde (v.a. Felsen und Blockhalden)</u>	10.338
<u>insgesamt</u>	<u>79.672</u>

flachgründige Steilhänge, zur Verkarstung neigende Standorte und Flugsandböden, landesweit insgesamt 17,2 % der Waldfläche. Bodenschutzwald ist kraft Gesetzes begründet und bedarf somit keiner besonderen Ausweisung. Waldbesitzer sind verpflichtet, eine standortgerechte, ausreichende Dauerbestockung zu erhalten.

#### 8.4.2.3 WASSERSCHUTZWALD

Wälder tragen wesentlich zur Reinhaltung des Grund- und Oberflächenwassers bei, da i.d.R. Verschmutzungsquellen fehlen und kein Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln stattfindet. Außerdem wirken Wälder ausgleichend und stabilisierend auf den Wasserhaushalt. Die Wasserspeicherkapazität von Waldböden verhindert weitgehend oberflächennahe Abflüsse und Hochwasserspitzen und sorgt für eine stetige Wasserspende in niederschlagsarmen Zeiten.

#### 8.4.2.4 KLIMASCHUTZWALD

Wälder gleichen Temperaturextreme aus. Zusammenhängende Waldflächen in der Nähe von Siedlungsschwerpunkten können daher das Siedlungsklima günstig beeinflussen. Derartige regionale Klimaschutzwälder werden aufgrund spezieller Klimagutachten ausgewiesen. Lokale Klimaschutzwälder (z.B. zur Vermeidung von Kaltluftschäden an landwirtschaftlichen Sonderkulturen oder als Windschutzwald vor Erholungsschwerpunkten) werden durch die Waldfunktionenkartierung erfasst.

#### 8.4.2.5 IMMISSIONSSCHUTZWALD

Aufgrund der großen Oberfläche ihrer Nadel- und Blattoberflächen können Waldbäume große Mengen an Schadstoffen und (Fein-)Stäuben aus der Luft herausfiltern. Wälder, die großräumig eine Verringerung der Luftschadstoffe bewirken, wurden in der Waldfunktionenkartierung als Regionale Immissionsschutzwälder erfasst. Dagegen wurden Lokale Immissionsschutzwälder in der direkten Umgebung einzelner schadstoffintensiver Emittenten wie frequentierten Verkehrsanlagen, Zementfabriken oder Steinbrüchen ausgewiesen. Der Wald hat hier die Aufgabe, angrenzende Siedlungen, Erholungsgebiete, Krankenhäuser usw. vor Luftverschmutzung sowie Geruchs- und Lärmbelästigungen zu schützen.

#### 8.4.2.6 ERHOLUNGSWALD

Die frische und mit Duftstoffen angereicherte Luft, ein ausgeglichenes Klima, freie Zugänglichkeit und die große Flächenausdehnung machen den Wald als Erholungsraum bei der Bevölkerung sehr beliebt. Die Waldfunktionenkartierung hat deshalb Waldflächen, die in Siedlungs-, in

Erholungsgebieten und an besonderen Anziehungspunkten besonders stark in Anspruch genommen werden, als Erholungswald erfasst (Abb. 8-29). Entsprechend der Frequentierung werden zwei Intensitätsstufen unterschieden. Außerdem können besonders stark besuchte Wälder als gesetzlicher Erholungswald ausgewiesen werden.

#### 8.4.3 BEWIRTSCHAFTUNG DES WALDES

Durch die Bewirtschaftung der Wälder steht der Volkswirtschaft der in seiner Ökobilanz herausragende nachwachsende Rohstoff Holz zur Verfügung. Das Landeswaldgesetz Baden-Württemberg verpflichtet zur nachhaltigen, pflegli-

auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht die Grundvoraussetzung.

Das Konzept „Naturnahe Waldwirtschaft“ umfasst im Einzelnen die folgenden Ziele und Maßnahmen:

- **Naturnähe der Baumarten:** Die Baumartenzusammensetzung der Wirtschaftswälder soll sich am Naturwald orientieren. Dadurch werden die Lebensräume zahlreicher Tier- und Pflanzenarten, die sich im Zuge der Evolution an die heimischen Baumarten angepasst haben, nachhaltig gesichert.
- **Gemischte und stufige Wälder:** Grundsätzlich werden Mischbestände angestrebt. Da jede Baumart spezifische

Bodenschichten, Nährstoff- und Wasserreserven erschließt, sind gemischte Wälder i.d.R. stabiler und nutzen das naturräumliche Potenzial besser aus.

- **Natürliche Waldverjüngung:** Das Potenzial der Wälder zur natürlichen Verjüngung wird konsequent genutzt. Kahlschläge werden weitestgehend vermieden. Die Entnahme einzelner Bäume oder Baumgruppen orientiert sich an den Absterbe- und Zerfallspro-

zesse mitteleuropäischer Urwälder und bewahrt das für die Verjüngung wichtige Waldinnenklima.

- **Pflege der Wälder:** Pflegemaßnahmen sorgen für eine Vielfalt der Strukturen und Arten und stellen sicher, dass die angestrebte Baumartenmischung erreicht wird. Zudem beeinflussen sie entscheidend die Entwicklung qualitativ hochwertiger und damit ertragsreicher Bäume.
- **Wald- und wildgerechte Jagd:** Angepasste Wildbestände sind für eine naturnahe Waldwirtschaft unabdingbar. Eine effiziente und wildgerechte Bejagung verhindert Wildschäden an jungen Forstpflanzen und teure Schutzmaßnahmen.
- **Integrierter Waldschutz:** Die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel im Wald kommt nur als letztes Mittel bei Kalamitäten in Betracht, um schwerwiegende Gefahren und wirtschaftliche Schäden abzuwenden. Eine konsequente Vorbeugung sowie Kombinationen biologischer und technischer Verfahren werden bevorzugt.

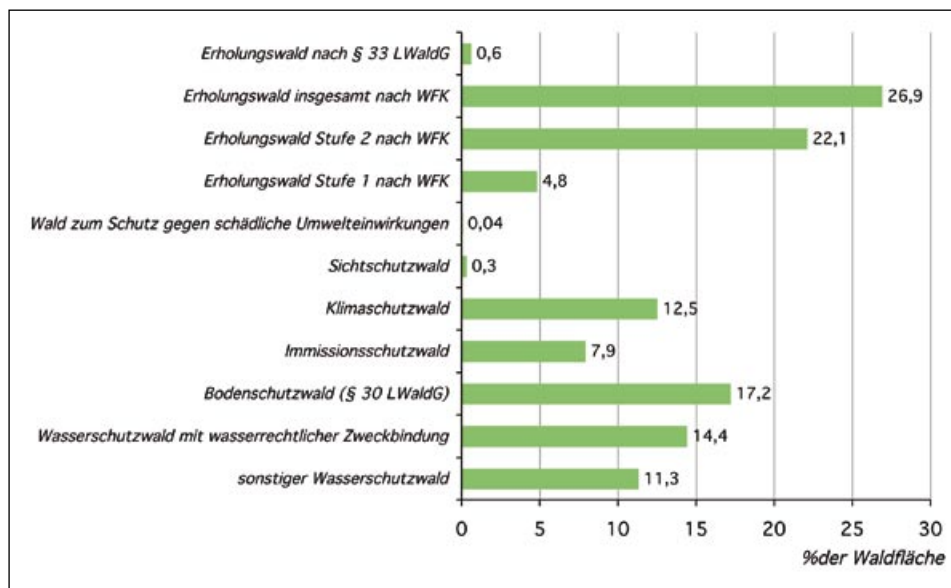


Abb. 8-29: Schutz- und Erholungswald nach der Waldfunktionskartierung bzw. dem Landeswaldgesetz – Anteil an der Gesamtwaldfläche. Quelle: MLR/Landesforstverwaltung; Stand 2005

chen, planmäßigen und sachkundigen Bewirtschaftung des Waldes nach anerkannten forstlichen Grundsätzen. Dabei sind Belange der Umweltvorsorge ebenso zu berücksichtigen wie die Erhaltung von Vielfalt und natürlicher Eigenart der Landschaft.

##### 8.4.3.1 KONZEPT „NATURNAHE WALDWIRTSCHAFT“

Seit Ende der 1970er Jahre verfolgt das Land das Konzept „Naturnahe Waldwirtschaft“. Es umfasst ein umfangreiches Maßnahmenbündel zum Aufbau naturnaher Wälder und strebt den harmonischen Ausgleich der unterschiedlichen Ansprüche auf der gesamten Waldfläche an. Leitbild der naturnahen Waldwirtschaft ist ein gepflegter Wirtschaftswald, der gleichzeitig, gleichrangig und dauerhaft seine Schutz- und Erholungsfunktion erfüllt. Ausreichende ökologische und physikalische Stabilität der Wälder sind dabei

- Pflégliche Waldarbeit: Schäden am Waldboden und an Bäumen bei der Holzernte werden soweit wie möglich reduziert, indem schwere Maschinen den Waldboden nicht flächig befahren dürfen, sondern sich auf einem festgelegten Erschließungs- und Wegenetz bewegen müssen.
- Naturschutz und Landschaftspflege: Besondere Waldpflégemaßnahmen, wie die Ausweisung und Pflege von Waldbiotopen und Schutzgebieten, die Waldinnen- und Waldaußenrandgestaltung oder die Anreicherung von Totholz erhöhen die Stabilität des Waldökosystems und berücksichtigen die Empfindlichkeit des Naturhaushalts und des Landschaftsbildes.

#### 8.4.3.2 ERFOLGE NATURNAHER WALDWIRTSCHAFT

Was wir heute an Wäldern vorfinden, wurde bereits vor Jahrzehnten und Jahrhunderten begründet, meist unter völlig anderen gesellschaftlichen Vorzeichen, oft auch wegen großer Holznot. Aufgabe einer naturnahen Waldwirtschaft ist es, die vorhandenen Wälder so fortzuentwickeln, dass sie ihre Funktionen bestmöglich und dauerhaft erfüllen können. Dazu wurden geeignete waldbauliche Verfahren und Techniken entwickelt. Pläne und Kartierungen wie die Forsteinrichtung, die Waldbiotop-, Waldfunktionen- und Standortkartierung und Waldbaurichtlinien liefern wichtige Entscheidungsgrundlagen für die Waldwirtschaft. Im Privatwald wird eine naturnahe Waldentwicklung mit entsprechenden Fördermitteln des Landes unterstützt. Periodische Waldinventuren wie die Bundeswaldinventur (BWI) liefern Informationen über Waldverhältnisse und forstliche Produktionsmöglichkeiten und zeigen Veränderungen der Waldentwicklung auf.

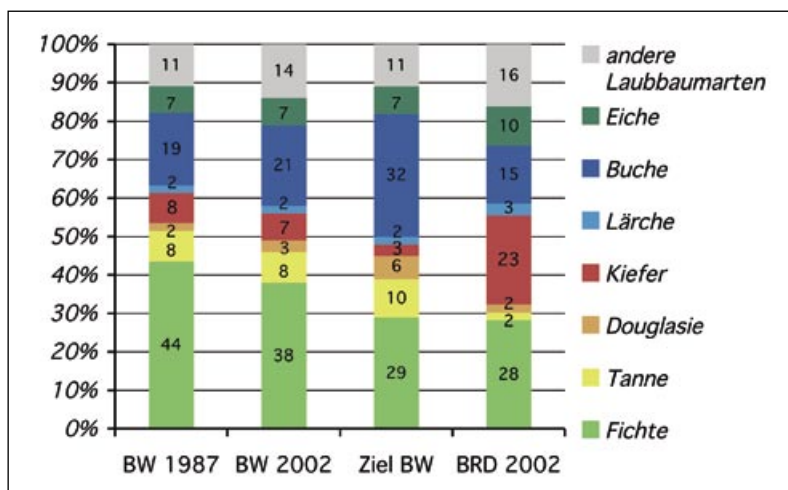


Abb. 8-30: Vergleich Baumartenanteile im Gesamtwald und langfristige Baumartenplanung im öffentlichen Wald Baden-Württembergs (BW). Quelle: MLR/Landesforstverwaltung, Bundeswaldinventur 2004

Für den öffentlichen Wald besteht das Ziel, langfristig ein Verhältnis Laub- zu Nadelbäumen von 50 : 50 zu erreichen. Allein von 1987 bis 2002 haben die Laubbäume in Baden-Württembergs Wäldern um sieben Prozentpunkte auf 43 % der Waldfläche zugenommen (Abb. 8-30). Mit Blick auf die langen Entwicklungszeiträume der Wälder ist das eine starke Veränderung.

Zum einen haben Orkane, wie die Jahrhundertstürme „Lothar“, „Vivian“ oder „Wiebke“ ihren Anteil daran. Aber auch die Forstwirtschaft hat die Überführung der ursprünglich oftmals reinen Fichtenwälder in Laub- und Mischwälder aktiv vorangetrieben. So bleibt die Fichte zwar mit 38 % nach wie vor Hauptbaumart, muss den angestammten Boden jedoch mehr und mehr mit Buche (21 %), Esche und Ahorn teilen.

Die Zahlen der Bundeswaldinventur erlauben konkrete qualitative Aussagen zum Zustand der Wälder: So wurden fast 50 % der Wälder in Baden-Württemberg als naturnah und sehr naturnah eingestuft.

Auch der Anteil der für den Naturschutz wichtigen alten Wälder und dicker Einzelbäume ist stark gestiegen. 43 % des Eichenholzes und des Tannenholzes, 28 % des Buchenvorrates sind Bäume über 50 cm Durchmesser. Die Totholzvorräte im Wald, Lebensräume für spezielle Tier- und Pflanzenarten, erreichen infolge der Stürme einen Durchschnittswert von 19 m<sup>3</sup>/ha, mehr als das Doppelte bisheriger Schätzungen.

Die Mischbestände haben deutlich an Fläche gewonnen. Im Jahr 2004 bestehen gut zwei Drittel der Wälder aus Mischbeständen mit mindestens drei Baumarten und 30 % Mischungsanteil. Unter den Reinbeständen befinden sich zu rund einem Drittel auch naturtypische Laubbaumreinbestände. Insbesondere der Anteil der Fichten- und Kiefernreinbestände ist zurückgegangen.

Auch die natürliche Waldverjüngung hat sich in den vergangenen 30 Jahren etablieren können: Die junge Waldgeneration mit Bäumen bis zu vier Meter Höhe nimmt 28 % der Waldfläche ein. Rund 80 % dieser jungen Wälder wachsen dabei nicht auf Kahlfächen sondern unter dem Schutz älterer Bäume. Der Anteil der natürlich angesamten Bäume liegt bei fast 90 %. Die junge Waldgeneration besteht zu 65 % aus Laubbäumen, vorwiegend aus Buchen. Damit hat auch die Stufigkeit des Waldes zugenommen.

#### 8.4.4 WALD ALS CO<sub>2</sub>-SPEICHER

Beim Wachstum entziehen Pflanzen der Atmosphäre CO<sub>2</sub>. Vor dem Hintergrund immer deutlicherer Folgen der CO<sub>2</sub>-Konzentrationserhöhung in der Atmosphäre steigt die Bedeutung der in Wäldern gespeicherten Kohlenstoff-Mengen. Über die Nutzung von Holz, die Ausdehnung der Waldflächen und über die waldbauliche Behandlung können Forst- und Holzwirtschaft Einfluss auf die Kohlenstoffbilanz von Wäldern nehmen. Auswertungen der Bundeswaldinventuren I und II zufolge wirken die Wälder Baden-Württembergs zurzeit als Nettosenke für CO<sub>2</sub>. Der in den Bäumen gespeicherte Kohlenstoff hat von 1987 bis 2002 um 8 Mio. auf rund 171 Mio. t zugenommen. Diese Senkenwirkung entspricht ungefähr 2,5 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Landes im selben Zeitraum.

Indem Kohlenstoff in Holzprodukten lange Zeit gebunden wird, bleibt das CO<sub>2</sub> für die Lebensdauer dieser Produkte der Atmosphäre entzogen. Schließlich können durch Holz fossile Energieträger (z. B. Heizöl, Kohle, Erdgas) oder energieaufwändig produzierte Stoffe (z. B. Beton, Stahl, Aluminium) ersetzt und dadurch zusätzlich hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden werden (Material- und Energie-Substitution).

#### 8.4.5 GESUNDHEITZUSTAND DER WÄLDER

Eine Vielzahl natürlicher und anthropogener Faktoren beeinflusst den Gesundheitszustand von Wäldern. Der Zustand der europäischen Wälder wird durch ein umfassendes Monitoringnetz überwacht.

Dessen wesentlicher Bestandteil ist die jährliche Terrestrische Waldschadensinventur (TWI), die von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt in Freiburg (FVA) durchgeführt wird. Mit der TWI werden seit 1983 die Vitalität der Waldbäume im Hinblick auf den aktuellen Kronenzu-

stand, d.h. den Nadel-/Blattverlust und die Vergilbung der Blätter eingeschätzt und bewertet.

Das aktuelle Schadensniveau der Wälder Baden-Württembergs ist demnach mit über 40 % deutlich geschädigter Waldfläche (> 25 % Nadel-/Blattverluste, Schadstufen 2-4) sehr hoch (Abb. 8-32). Die Vitalität der Wälder hat sich nach einer Phase langjähriger Stabilität infolge des Trockensommers 2003 signifikant verschlechtert.

Die durch die TWI ermittelten Schadenswerte erlauben jedoch keine weitergehenden Aussagen zu den Ursachen von Schäden an Vegetation und Waldböden. Mit einem Netz verschiedener Mess- und Beobachtungseinrichtungen versucht die Landesforstverwaltung, das Ausmaß von Veränderungen und die dabei ablaufenden Prozesse zu erkennen und aus den Ergebnissen gezielte Maßnahmen abzuleiten, um die Waldökosysteme langfristig zu stabilisieren. Abbildung 8-33 verdeutlicht die Struktur des Waldschadenmonitorings.

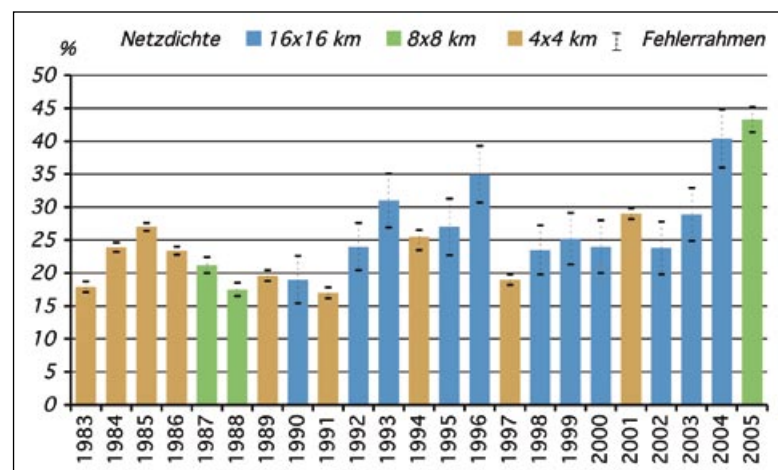


Abb. 8-32: Entwicklung des Anteils der deutlich geschädigten Waldfläche (Kombinationsschadstufe 2-4).

Quelle: FVA 2005

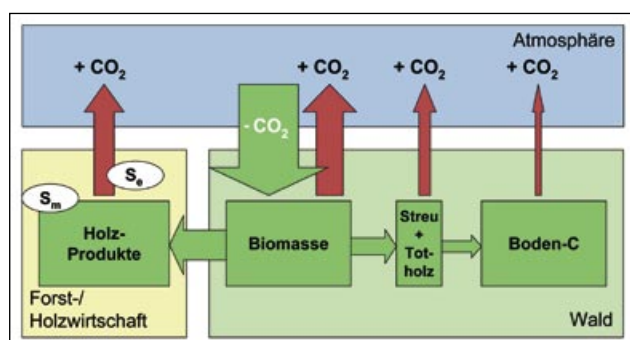


Abb. 8-31: Kohlenstoff in Wald und Holz; CO<sub>2</sub>-Speicher, CO<sub>2</sub>-Fluss (Grün: Bindung und Umverteilung von Kohlenstoff, Rot: Verluste), Ellipsen bezeichnen Material- und Energie-Substitution (nach SCHULZ 2005).

#### 8.4.5.1 WITTERUNGSEINFLÜSSE

Erhöhte CO<sub>2</sub>-Emissionen führen zum Treibhauseffekt und verändern unser Klima. Häufigere Klimaextreme, wie Sturmereignisse, Temperaturextreme, Veränderung der Vegetationsperioden und Verschiebung der jährlichen Niederschlagsmengen wirken sich direkt auf die Wasser- und Nährstoffversorgung der Waldökosysteme aus, belasten die Vitalität der Bäume und machen sie anfälliger für Folgeschäden. Indirekte Einflüsse, wie z.B. eine Veränderung der Populationsdynamik von Schadinsekten, verschärfen die Situation zusätzlich.



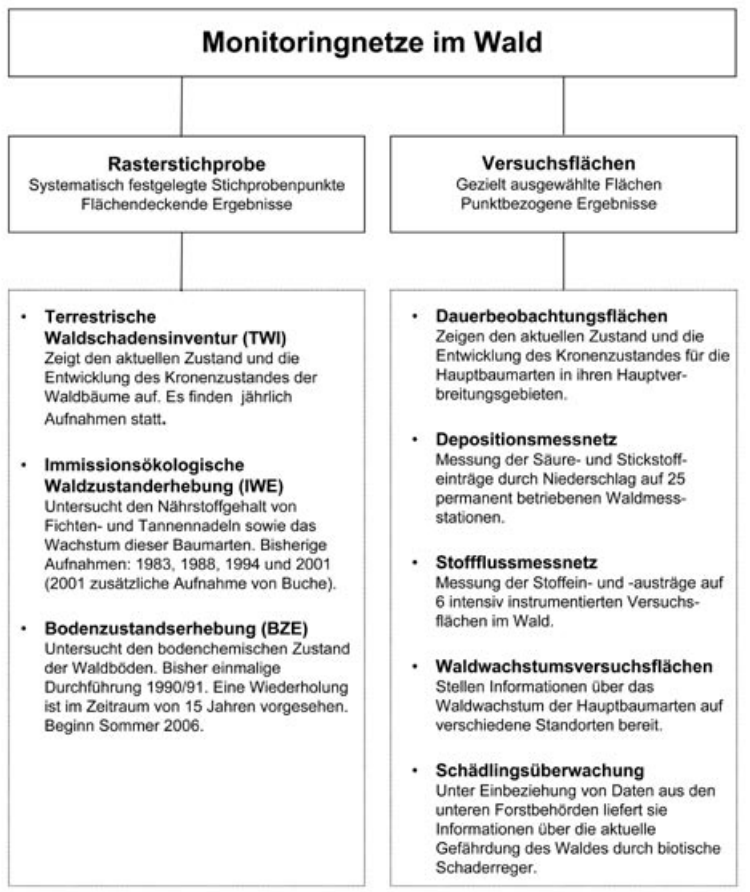


Abb. 8-33: Waldschadensmonitoring der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.  
Quelle: FVA 2005

#### 8.4.5.2 SCHADSTOFFE IN DER LUFT UND IM NIEDERSCHLAG

Die Schwefeldioxidimmissionen sind seit Ende der 1980er Jahre deutlich zurückgegangen. Trotzdem stellen die unverändert hohen Säure- und Stickstoffeinträge aus Verkehr, Industrie und Landwirtschaft eine große Belastung für die Waldökosysteme dar. Obwohl hohe Stickstoffeinträge zunächst das Wachstum der Bäume fördern, kommt es in der Folge zu Ungleichgewichten im Nährstoffhaushalt und Mangelerscheinungen mit entsprechenden Schadenssymptomen.

Hohe Konzentrationen von bodennahem Ozon beeinflussen insbesondere in den Sommermonaten in den Hochlagen der Mittelgebirge den Stoffumsatz in Nadeln und Blättern der Waldbäume.

#### 8.4.5.3 MASSNAHMEN ZUR SCHADENSBEKÄMPFUNG

Bodenschutzkalkungen im Wald stellen eine umwelttechnische Vorsorgemaßnahme dar. Sie bewirken eine Kompensation der aktuellen Säureeinträge, führen Böden und Vegetation notwendige, zuvor ausgewaschene Nährstoffe wieder zu und mildern den Trend zur Gewässerversauerung. Derartige vitalitätsfördernde Maßnahmen von Seiten der Waldbesitzer können die Ursache der Schädigungen nicht beseitigen. Sie ersetzen in keiner Weise eine konse-

quente Luftreinhaltepolitik; Politik und Gesellschaft sind aufgerufen Schadstoffeinträge auf ein ökosystemverträgliches Maß zu senken.

#### 8.4.6 ZERTIFIZIERUNG

Mit einer Zertifizierung der nachhaltigen Waldwirtschaft verpflichtet sich ein Forstbetrieb, bei seiner Produktion bestimmte Qualitäts- oder Umweltstandards einzuhalten. Dies wird mit einem Zertifikat dokumentiert und von einer unabhängigen Zertifizierungsstelle überprüft. Der Betrieb kann bei der Vermarktung seiner Produkte mit diesem Zertifikat werben und dadurch Marktanteile sichern und im Einzelfall Mehrerlöse generieren.

Angesichts der anhaltenden Zerstörung von Mio. Hektar an Tropenwald wurde in der Folge der Umweltkonferenz 1992 in Rio de Janeiro (UNCED) die weltweite Zertifizierung nachhaltiger Forstwirtschaft als ein Mittel angesehen, um die globale Waldzerstörung zu stoppen. Um dem Endverbraucher nachzuweisen, dass Holzprodukte aus zertifizierten Wäldern stammen, ist die Dokumentation der gesamten Verarbeitungskette des Holzes notwendig. Daher wurden in den vergangenen Jahren auch in Europa und in Deutschland große Waldflächen zertifiziert.

Im Jahr 2006 sind in Baden-Württemberg rund 81 % der Waldfläche zertifiziert. Rund 1,1 Mio. ha Wald (98 %) sind nach dem Zertifizierungssystem PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes) und 25 700 Hektar Wald (2 %) nach dem Zertifizierungssystem FSC (Forest Stewardship Council) zertifiziert.

Mehrere unabhängige Studien belegen, dass beide Zertifizierungssysteme in Baden-Württemberg bezüglich ihrer hohen ökologischen Anforderungen und Standards vergleichbar sind und auch mit dem „Konzept Naturnahe Waldwirtschaft“ übereinstimmen.

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum/Landesforstverwaltung:

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

Informationsdienst Wald, Forstwirtschaft, Jagd:

<http://www.wald-online-bw.de>

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Freiburg:

<http://www.fva-bw.de>

Ergebnisse und Berichte zur Bundeswaldinventur:

<http://www.bundeswaldinventur.de>

# 9 Abfallwirtschaft

## 9.1 PARADIGMENWECHSEL IN DER ABFALLWIRTSCHAFT

Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) legte 1996 die Hierarchie in der Abfallwirtschaft fest:

1. Vermeiden
2. Verwerten
3. Beseitigen

Die Abfallwirtschaft der letzten 15 Jahre war vor allem von der Getrenntsammlung und der stofflichen Verwertung von Abfällen geprägt. Die rechtlichen Grundlagen hierzu wurden u. a. durch die Verpackungsverordnung, die Bioabfallverordnung, die Gewerbeabfallverordnung, die Batterieverordnung, die Altholzverordnung, die Altfahrzeugverordnung und das im März 2005 in Kraft getretene Elektro-Gesetz geschaffen.

Die Ablagerung von Abfällen auf Deponien soll zukünftig in der Abfallwirtschaft nur noch eine untergeordnete Bedeutung besitzen. Ein einschneidender Schritt hierzu, ist das Ablagerungsverbot für unbehandelte Abfälle seit dem 1. Juni 2005 nach 12 Jahren Übergangszeit. Seitdem dürfen nur noch vorbehandelte, weitgehend mineralisierte Abfälle auf Deponien abgelagert werden. Bis zum 1. Juni 2005 konnte zum Beispiel auch Restabfall aus Haushalten ohne Vorbehandlung deponiert werden.

Die Zeiten der Entsorgungsengpässe der 1980er und 90er Jahre sind wahrscheinlich überwunden. Die auf Beseitigung ausgelegten Entsorgungsanlagen (z. B. Deponien) werden zukünftig eher weniger beaufschlagt und es wird daher schwierig sein, solche Anlagen in Zukunft wirtschaftlich zu betreiben.

Die LUBW hat im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg, ein Positionspapier zur Deponiebewirtschaftungsplanung in Baden-Württemberg erstellt. Die Studie soll den Stadt- und Landkreisen eine Hilfestellung im Hinblick auf den Weiterbetrieb ihrer Siedlungsabfalldeponien sein. Die geringer werdende Bedeutung der Deponien für die Beseitigung von Abfällen in Baden-Württemberg spiegelt sich nicht nur an den auf Siedlungsabfalldeponien abgelagerten Abfallmengen wider (vgl. Kapitel 9.3), sondern auch am Rückgang der Anzahl der Siedlungsabfalldeponien. So ging die Zahl der Siedlungsabfalldeponien in Baden-Württemberg von 48 im Jahr 2001 auf 32 im Jahr 2005 zurück (Abb. 9-1). Das Positionspapier der LUBW zur Deponiebewirtschaftungsplanung kommt zum Ergebnis, dass

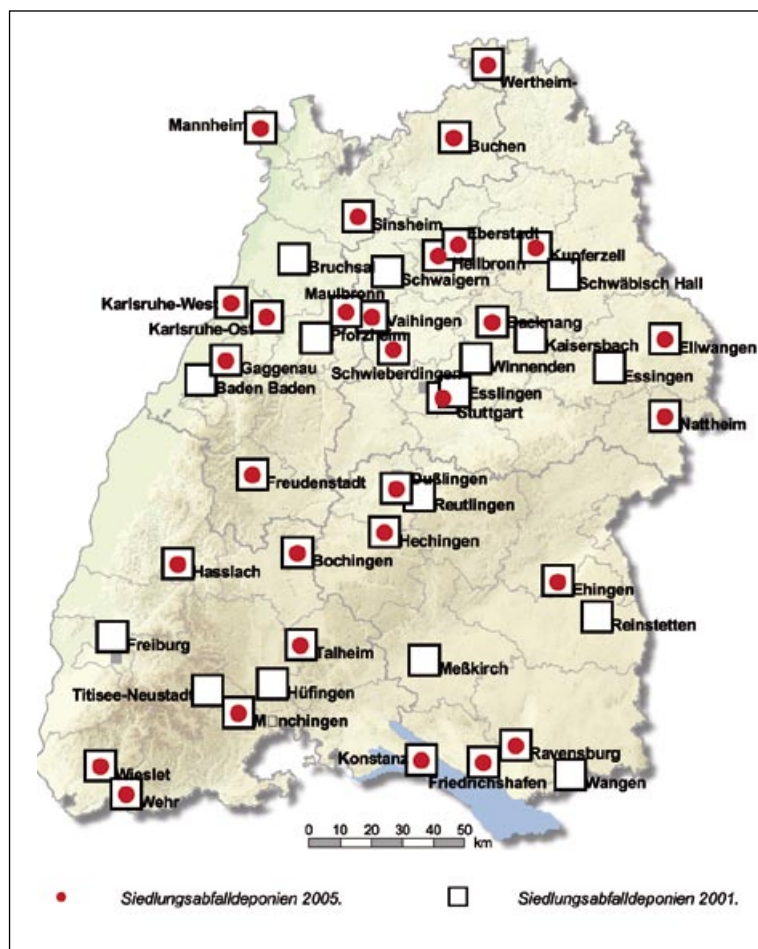


Abb. 9-1: Rückgang der Anzahl der Siedlungsabfalldeponien in Baden-Württemberg von 2001 bis 2005.  
Quelle: LUBW 2005

langfristig 12 Deponien in Baden-Württemberg für die Entsorgungssicherheit ausreichen.

## 9.2 ABFALLAUFKOMMEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Das gesamte Abfallaufkommen in Baden-Württemberg betrug im Jahr 2005 etwa 35,6 Mio. t, wobei der größte Anteil von rund 25,9 Mio. t aus Bauabfällen (Bodenaushub, Bauschutt, Straßenaufbruch) besteht. Damit ist das gesamte Abfallaufkommen im Vergleich zum Vorjahr in etwa gleich geblieben. Ob der seit 1999 andauernde rückläufige Trend damit zum Stillstand gekommen ist, bleibt abzuwarten.

Für die Umweltpolitik und die Öffentlichkeit sind die Abfallmengen, die den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (öRE) zur Entsorgung überlassen werden (kommunales

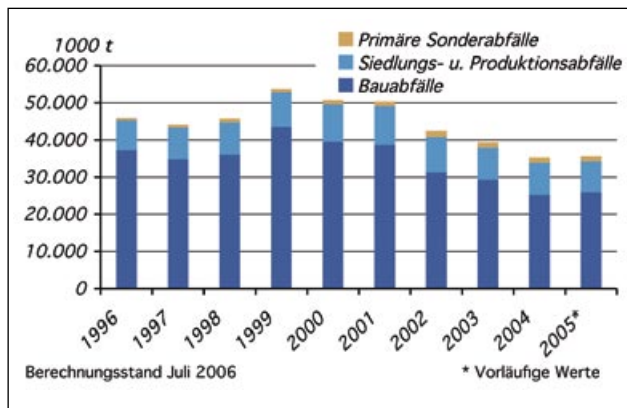


Abb. 9-2: Gesamtaufkommen an Abfällen in Baden-Württemberg von 1996 bis 2005. Quelle: Statistisches Landesamt 2006

Abfallaufkommen) und die als besonders überwachungsbedürftige Abfälle (Sonderabfälle) anfallen, von besonderem Interesse. In Baden-Württemberg ist das kommunale Abfallaufkommen seit 1994 um mehr als 40 % zurückgegangen und betrug im Jahr 2005 nur noch knapp 12,7 Mio. t. Den größten Anteil am Siedlungsabfallaufkommen haben auch hier die Baumassenabfälle, obwohl sie von über 15 Mio. t im Jahr 1994 auf 6,6 Mio. t im Jahr 2005 zurückgegangen sind. Auch der Haus- und Sperrmüll hat seit 1994 von 1,9 Mio. t auf etwa 1,6 Mio. t im Jahr 2005 abgenommen. Demgegenüber haben die Grün- und Bioabfälle sowie die Wertstoffe seit 1994 zugenommen (Abb. 9-3).

Das Abfallaufkommen ist von vielen Faktoren abhängig wie zum Beispiel von den rechtlichen Rahmenbedingungen, dem Wirtschaftswachstum, der Bevölkerungsentwicklung, dem Umweltbewusstsein der Bevölkerung, dem Sammelkomfort usw. Für Vergleiche bietet sich an, die Abfallmengen normiert in Kilogramm pro Einwohner und Jahr [kg/E-a] anzugeben.

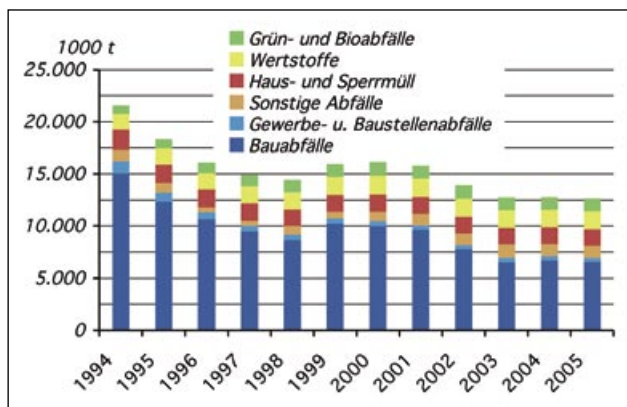


Abb. 9-3: Mengenentwicklung des kommunalen Abfallaufkommens in Baden-Württemberg von 1994 bis 2005. Quelle: Statistisches Landesamt 2006

In Baden-Württemberg ist das Haus- und Sperrmüllaufkommen von 190 kg/E-a im Jahr 1994 auf 146 kg/E-a im Jahr 2005 zurückgegangen. Aufgrund der zunehmenden Getrenntsammlung von Wertstoffen und Bioabfällen ist dagegen bei diesen Abfallarten eine Zunahme pro Einwohner zu verzeichnen. Die gesamte Pro-Kopf-Menge (Haus- und Sperrmüll, Wertstoffe aus Haushalten, Bioabfälle) bewegt sich seit 1994 zwischen 335 und 362 kg/E-a (Abb. 9-4).

Bis zum Jahr 2000 lässt sich eine Zunahme der getrennt erfassten Wertstoffmengen pro Einwohner beim Papier sowie bei den sonstigen Wertstoffen, wie zum Beispiel Kunststoffe, Metalle, Holz, Verbunde und Textilien beobachten. Seitdem sind die Mengen wieder leicht zurückgegangen (Abb. 9-5).

Als Sonderabfälle werden Abfälle bezeichnet, die nach ihrer Art, Beschaffenheit oder Menge in besonderem Maße gesundheits-, luft- oder wassergefährdend, explosibel oder brennbar sind oder Erreger übertragbarer Krankheiten enthalten oder hervorbringen können (§ 41 Abs. 1 KrW-/AbfG). Die Entsorgung von Sonderabfällen unterliegt einer strengen Nachweispflicht, weshalb sie auch als besonders überwachungsbedürftige Abfälle bezeichnet werden. Das gesamte Sonderabfallaufkommen in Baden-Württemberg hat sich seit 1994 von rund 600 000 t auf 1,9 Mio. t im Jahr 2004<sup>1</sup> mehr als verdreifacht. Bei den in Baden-Württemberg erzeugten Sonderabfällen (primäre Sonderabfälle) ist seit 2002 ein leichter Rückgang zu beobachten. Eine ähnliche Entwicklung zeigen die Importe aus anderen Bundesländern. Die Importe aus dem Ausland sind mengenmäßig nicht relevant (Abb. 9-6). Die Mengenentwicklung der primären Sonderabfälle wird von einer Reihe von Faktoren beein-

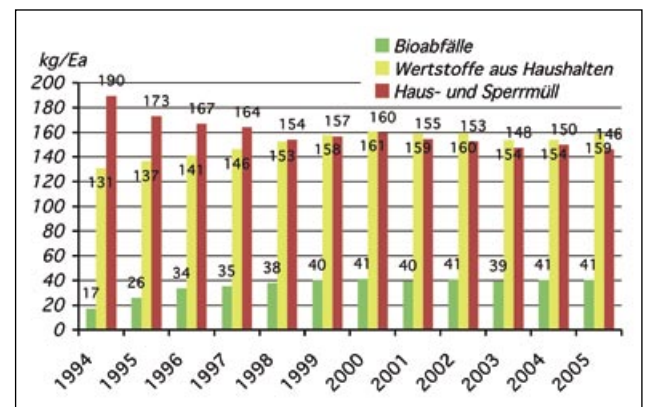


Abb. 9-4: Mengenentwicklung von Haus- und Sperrmüll, Bioabfällen und Wertstoffen aus Haushalten in Baden-Württemberg von 1994 bis 2005. Quelle: Statistisches Landesamt 2006

flusst. Sie ist sowohl von der wirtschaftlichen Entwicklung im Land als auch von Änderungen im Abfallrecht abhängig. So ist der Anstieg der primären Sonderabfallmengen seit 2002 vor allem auf die am 1. Januar 2002 in Kraft getretene Abfallverzeichnisverordnung zurückzuführen. Durch die Verordnung wurden einige Abfallarten, die bisher nicht besonders überwachungsbedürftig waren, nun als besonders überwachungsbedürftig eingestuft und zählen damit zu den Sonderabfällen. Die Entwicklung des Abfallaufkommens danach bestätigt dies. Außerdem sind infolge kostengünstiger externer Entsorgungsmöglichkeiten innerbetriebliche Behandlungsanlagen zunehmend unrentabel geworden. Betriebe, die bisher ihre erzeugten Abfälle selbst aufbereiteten, stellten vermehrt auf externe Entsorgung um, was zu einem Anstieg der durch Begleitscheine erfassten Sonderabfallmengen führte.

<sup>1</sup> Daten für 2005 zu Importen von Sonderabfällen lagen bei Redaktionsschluss noch nicht vor, deshalb kann das gesamte Sonderabfallaufkommen nur für 2004 angegeben werden.

### 9.3 ENTSORGUNG VON ABFÄLLEN

Abfälle müssen vor der Verwertung oder Beseitigung in der Regel aufbereitet oder behandelt werden. Hierzu steht eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren zur Verfügung. Im Einzelnen sind zu nennen:

- Mechanische Aufarbeitung (z. B. Sortieren, Zerlegen, Sieben, Sichten, Zerkleinern)
- Biologische Behandlung (Rotten, Kompostieren und Vergären)
- Chemische und/oder physikalische Behandlung (z. B. Filtration, Destillation, Entwässerung, Fällung, Neutralisation)
- Thermische Behandlung (Abfallverbrennung, Pyrolyse, Vergasung, Mitverbrennung z. B. in Zementöfen- und Kohlekraftwerken)

Nicht verwertbare und nicht thermisch oder mechanisch-biologisch behandelbare Abfälle müssen letztlich durch Ablagerung auf Deponien (oberirdische Deponie, Untertagedeponie) entsorgt werden.

Ein deutlicher Wandel in den Entsorgungswegen ist vor allem bei der Ablagerung von Abfällen auf Siedlungsabfalldeponien festzustellen. Zwischen 1994 und 2004 ist die abgelagerte Abfallmenge auf Hausmülldeponien von rund 3 Mio. t auf knapp 1,5 Mio. t zurückgegangen. Im Jahr 2005 hat sich die abgelagerte Hausmüllmenge gegenüber 2004 noch einmal fast halbiert, da seit 1. Juni 2005 nur noch

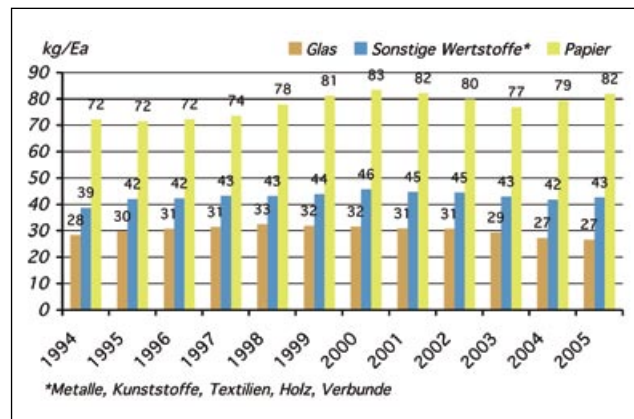


Abb. 9-5: Mengenentwicklung von Wertstoffen in Baden-Württemberg von 1994 bis 2005.  
Quelle: Statistisches Landesamt 2006

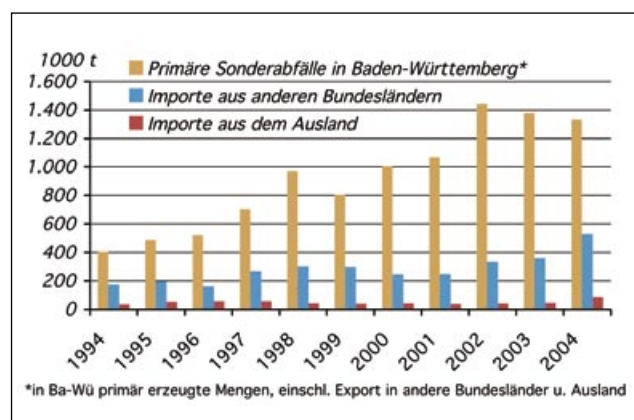


Abb. 9-6: Mengenentwicklung der Sonderabfälle in Baden-Württemberg von 1994 bis 2004.  
Quelle: Statistisches Landesamt 2006

weitestgehend mineralisierte Abfälle auf Deponien abgelagert werden dürfen. Im Zeitraum 1994 bis 2005 nahm die stoffliche Verwertung um rund 25 % von 1,6 Mio. t auf über 2,1 Mio. t zu. Eine ähnliche Entwicklung ist bei der biologischen Behandlung zu beobachten. Die Menge der biologisch behandelten Abfälle (insbesondere zu Kompost) stieg

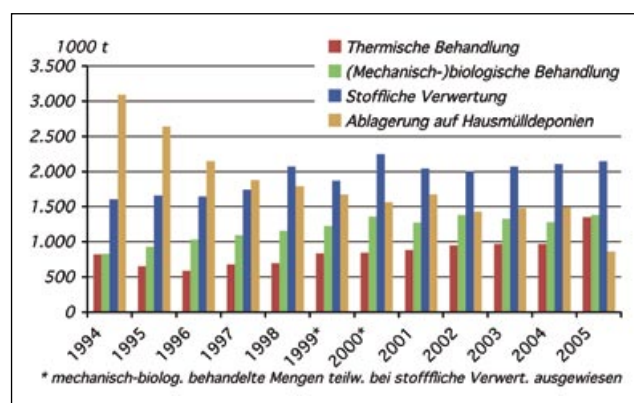


Abb. 9-7: Mengenentwicklung des kommunalen Abfallaufkommens in Baden-Württemberg von 1994 bis 2005 nach Art der Entsorgung.  
Quelle: Statistisches Landesamt 2006

von über 800 000 t im Jahr 1994 auf knapp 1,4 Mio.t im Jahr 2005, was einer Zunahme um 40 % entspricht. Die Menge der thermisch behandelten Abfälle nahm von 820 000 t im Jahr 1994 auf knapp 1,4 Mio. t im Jahr 2005 zu. Dieser vor allem seit 2004 zu verzeichnende Anstieg ist ebenfalls auf das Ablagerungsverbot für nicht vorbehandelte Abfälle zurückzuführen.

### 9.3.1 ENTSORGUNG VON KLÄRSCHLAMM

Auch der in den über 1 100 kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg anfallende Klärschlamm zählt zur Gruppe der Siedlungsabfälle. So fielen im Jahr 2005 bei der Abwasserreinigung knapp 280 000 t Klärschlamm (Trockenmasse) an. Davon wurden knapp 176 000 t verbrannt, 97 000 t stofflich verwertet (Landwirtschaft, Landschaftsbau, Kompostierung und Sonstige) und etwa 7 000 t deponiert. Die Deponierung von Klärschlamm ist seit 1. Juni 2005 nach den Bestimmungen der Abfallablagerungsverordnung nicht mehr möglich. Aus Sicht der Landesregierung Baden-Württemberg sollte Klärschlamm in erster Linie thermisch behandelt werden, und es ist erklärter Wille, dass Klärschlamm zukünftig nicht mehr in der Landwirtschaft oder im Landschaftsbau verwertet wird. Dieser Trend zur thermischen Behandlung von Klärschlamm ist seit Mitte der 1990er Jahre zu erkennen (Abb. 9-8).

### 9.3.2 ENTSORGUNGSANLAGEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG

In Baden-Württemberg gibt es eine Vielzahl von Anlagen, in denen Abfälle verwertet oder beseitigt werden. Die Anlagen können in folgende Typen unterteilt werden:

- biologische Behandlungsanlagen für Bio- und Grünabfälle,
- chemisch-physikalische Behandlungsanlagen,
- mechanische Sortier- und Zerlegeanlagen, Stoffstromanlagen,
- mechanisch-biologische Behandlungsanlagen für Restabfälle und
- thermische Behandlungsanlagen.

Mechanisch-biologische Behandlungsanlagen werden zur Aufbereitung von Restabfällen auf der Deponie Sansenhecken (Neckar-Odenwald-Kreis), in Heilbronn und zukünftig auch auf der Deponie Kahlenberg (Ortenaukreis) eingesetzt.

So genannte Stoffstromanlagen dienen zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen und zur Aussortierung von Wertstoffen aus Restabfällen. In Baden-Württemberg sind derzeit sechs solcher Anlagen in Bruchsal, Burgrieden, Mögglingen, Eschbach, Heilbronn und Karlsruhe in Betrieb; eine weitere Anlage ist in Mannheim geplant.

Thermische Behandlungsanlagen befinden sich in Böblingen, Eschbach (bei Freiburg), Göppingen, Mannheim, Stuttgart und Ulm.

Die in Baden-Württemberg im Jahr 2004 betriebenen 105 biologischen und 32 chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen sowie 111 Sortier- und Zerlegeeinrichtungen sind über das ganze Land verteilt.

Außerdem gibt es noch über 500 Deponien für Baumaschinenabfälle (Bauschutt, Bodenaushub, Straßenaufbruch), 32 Siedlungsabfalldéponien, eine Untertagedéponie in Heilbronn und eine Sonderabfalldéponie in Billigheim (Neckar-Odenwald-Kreis).

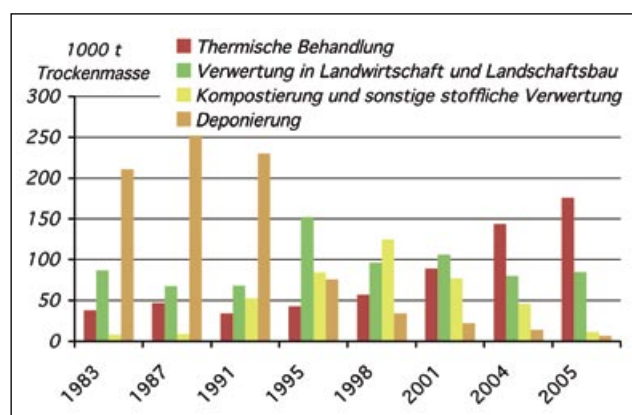


Abb. 9-8: Entsorgung kommunaler Klärschlämme in Baden-Württemberg von 1983 bis 2005. Quelle: Statistisches Landesamt 2006

## 9.4 DIE ZUKUNFT DER ABFALLWIRTSCHAFT - VON DER ABFALLWIRTSCHAFT ZUR RESSOURCENWIRTSCHAFT

Im Mittelpunkt der klassischen Abfallwirtschaft standen die Städtehygiene und der Beseitigungsgedanke. Abfällen wollte man sich schnell und kostengünstig entledigen (Ablagerung auf Deponien, Verbrennung ohne Energienutzung). Mittlerweile hat man erkannt, dass Abfall Rohstoff, Wertstoff oder auch Energieträger sein kann und es daher ökologisch sinnvoller ist, Abfälle zu verwerten (Kreislaufwirtschaft). Man unterscheidet folgende Verwertungswege:

- rohstoffliche Verwertung, wie z. B. Methanolverwertung aus organischen Abfällen,

- stoffliche Verwertung, wie z. B. Recycling von Bauabfällen, Altglas, Altpapier,
- energetische Verwertung, wie z. B. Einsatz der heizwertreichen Abfallfraktion aus dem Restabfall als Brennstoffsubstitut.

Selbst die Abfälle, die über die Restabfalltonne erfasst werden, können nach Vorbehandlung energetisch oder auch stofflich genutzt werden. Nach Vorbehandlung durch biologische Trocknung, Zerkleinerung und Sortierung kann Restabfall in folgende Wertstoff- und energiereiche Abfallfraktionen aufgetrennt werden:

- 50 bis 55 Masseprozent heizwertreiche Abfallfraktion mit einem Heizwert von 15 bis 18 MJ/kg und somit auf dem Niveau von Braunkohle,
- 12 bis 18 Masseprozent mineralische Fraktion (Keramik, Steine, Porzellan, Glas usw.),
- 4 bis 5 Masseprozent Metalle (Eisen- und Nichteisenmetalle).

Der Rest des Restabfalls besteht aus Wasser, das im Rahmen der biologischen Vortrocknung entfernt wird.

Die Entsorgung von Abfällen muss für die Umwelt schadlos erfolgen. Das bedeutet vor allem, dass es im Stoffkreislauf zu keinen Anreicherungen und Transfers von Schadstoffen kommen darf. Beim Baustoffrecycling zum Beispiel kann dies durch die Einhaltung von strengen Grenzwerten gewährleistet werden.

Aufgrund der weiteren Verteuerung von Rohstoffen und fossilen Energieträgern wird schon in naher Zukunft Abfall als Rohstoff- und Energiequelle eine besondere Bedeutung erlangen. Somit können Abfälle natürliche Ressourcen er-

setzen. Die steigenden Preise für fossile Energieträger und Rohstoffe werden zur Folge haben, dass es sich auch wirtschaftlich lohnt, Abfälle aufzubereiten und als Sekundärrohstoffe bzw. -energieträger zu vermarkten. Die rohstoffliche und energetische Verwertung von Abfällen wird dabei im Mittelpunkt stehen. Die stoffliche Verwertung wird ihre Bedeutung nur behalten können, falls für die erzeugten Produkte ein positiver Marktwert zu erzielen und der Energieaufwand für das Recycling gering ist. So ist bereits heute in vielen Fällen die energetische Verwertung von Kunststoffen die bessere Alternative zur stofflichen Verwertung. Nur bei sortenreinen Kunststoffgemischen und einer direkter Wiederverwendung (z. B. PET-Flaschen) ist eine stoffliche Verwertung sinnvoll.

Neue innovative Sortier- und Behandlungstechniken ermöglichen zukünftig, die Getrenntsammlung von Abfällen auf wenige Abfallfraktionen zu beschränken. Eine Getrenntsammlung unter logistischen und stofflichen Aspekten ist zum Beispiel weiterhin bei Glas, Papier und Bioabfällen sinnvoll.

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Informationen zur Abfallwirtschaft beim Umweltministerium Baden-Württemberg:

<http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/2745/>

Abfallbilanzen seit 1999:

<http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/2913/>

Informationen zur Abfallwirtschaft bei der LUBW:

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/1174/>

# 10 Anlagensicherheit

Die in diesem Beitrag zusammengefassten Angaben beziehen sich auf die in Baden-Württemberg existierenden Betriebsbereiche unter dem Geltungsbereich der Störfall-Verordnung (StörfallV). Die Daten werden von den Regierungspräsidien erhoben und sind in einem landesweiten Berichtssystem zusammengefasst.

Die Störfall-Verordnung gehört zum Rechtsbereich der technischen Sicherheit und konkretisiert Anforderungen der so genannten Seveso-II-Richtlinie (RL 96/82/EG) hinsichtlich der Gefahrenvorsorge und der Gefahrenabwehr.

Die Anwendung der Störfall-Verordnung ist ausschließlich abhängig vom Vorhandensein bestimmter Mengen an gefährlichen Chemikalien. Sie enthält hierzu im Anhang I konkrete Mengenschwellen für namentlich aufgeführte Stoffe wie z. B. Chlor oder Propylenoxid sowie für Kategorien von Stoffen mit bestimmten gefährlichen Eigenschaften. Die so genannten Grundpflichten gelten für alle Betreiber, die die Mengenschwelle des Anhangs I, Spalte 4 erreichen oder überschreiten. Die so genannten „erweiterten Pflichten“ gelten bei Erreichen oder Überschreiten der Mengenschwelle in Spalte 5.

## 10.1 ANZAHL DER BETRIEBSBEREICHE IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Anhand der im Berichtssystem eingetragenen Mengen an gefährlichen Stoffen nach Anhang I, StörfallV wurde, unter Anwendung der so genannten Quotientenregel<sup>1</sup>, die Anzahl der Betriebsbereiche mit den jeweils anzuwendenden Pflichten ermittelt. Insgesamt fallen in Baden-Württemberg 229 Betriebsbereiche unter die Störfall-Verordnung (Tab. 10-1).

<sup>1</sup> StörfallV, Anhang I, Anwendbarkeit der Verordnung, Nr. 5

Die Verteilung der Betriebsbereiche unter den Regierungspräsidien ist aus nachfolgendem Bild ersichtlich (Abb. 10-1).

Tab. 10-1: Betriebsbereiche unter der Störfall-Verordnung. Quelle: LUBW 2006

	Freiburg	Karlsruhe	Stuttgart	Tübingen	Baden-Württemberg
Grundpflichten	32	40	56	18	146
Erweiterte Pflichten	18	23	28	14	83
Gesamt	50	63	84	32	229

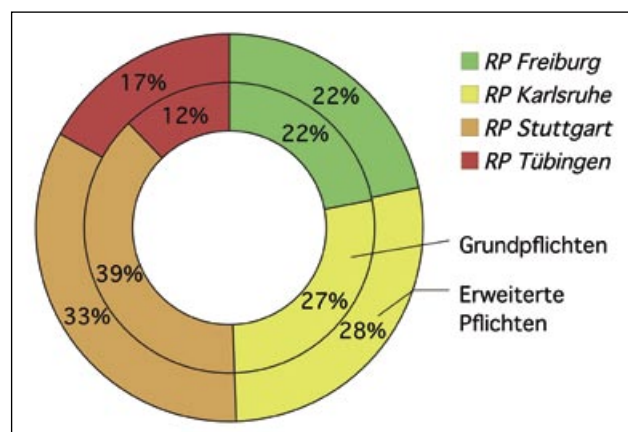


Abb. 10-1: Betriebsbereiche mit Grund- und erweiterten Pflichten. Quelle: LUBW 2006

Es sind hierbei im inneren Ring die Betriebsbereiche mit Grundpflichten und im äußeren Ring solche mit erweiterten Pflichten abgebildet.

Über ein Drittel der Betriebsbereiche sind im Regierungsbezirk Stuttgart angesiedelt, etwa die Hälfte der Betriebsbereiche verteilt sich zwischen dem Regierungsbezirk Freiburg und dem Regierungsbezirk Karlsruhe. Im Regierungsbezirk Tübingen sind deutlich weniger Betriebsbereiche vorhanden.

In den Regierungsbezirken Freiburg und Karlsruhe sind die jeweiligen prozentualen Anteile von Grund- und erweiterten Pflichten praktisch gleich. Im Bezirk Tübingen überwiegen Betriebe mit erweiterten Pflichten während im Bereich Stuttgart der Anteil mit Grundpflichten etwas größer ist.

## 10.2 STANDORTE DER BETRIEBSBEREICHE IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Die nachfolgende Übersichtskarte (Abb. 10-2) zeigt die Standorte der 229 Betriebsbereiche unter der Störfall-Verordnung in Baden-Württemberg. Ersichtlich sind Schwerpunkte in den industriellen Ballungsräumen Baden-Württembergs – Mittlerer Neckar/Stuttgart, Rhein-Neckar/Mannheim, Mittlerer Oberrhein/Karlsruhe und am südlichen Oberrhein. Im ländlichen Raum (Schwarzwald, Schwäbische Alb) sind erwartungsgemäß nur wenige Betriebe unter der Störfall-Verordnung angesiedelt.

Die geografischen Daten sind für eine Reihe von Aufgaben nützlich. Beispielsweise dienen sie dem Vollzug des UN-ECE Ab-

kommen über grenzüberschreitende Industrieunfälle, da hier die Entfernung der Betriebe von der Nationalgrenze bzw. vom Einzugsbereich eines grenzüberschreitenden Flusses maßgeblich ist. Die Daten können weiterhin bei entsprechend angepasstem Maßstab z. B. für die Beurteilung von Domino-Effekten, die Bauleitplanung oder für spezielle Fragestellungen wie z. B. Hochwassergefährdung verwendet werden.

### 10.3 BETRIEBBEREICHE UND IHRE TÄTIGKEITEN

Um eine statistische Aussage über die Tätigkeiten der 229 Betriebsbereiche zu erhalten, wird die Anzahl der Betriebe in den jeweiligen Wirtschaftszweigklassifikationen der Europäischen Union (NACE-Codes) dargestellt. Im NACE-Code werden den Wirtschaftszweigen vier- bzw. fünfstelligen Ordnungsnummern zugeordnet. Die erste Ebene ist eine zweistellige Zahlenkombination und steht für bestimmte Hauptgruppen und Leitbranchen. Zur Erfüllung der Berichtspflichten nach § 14 StörfallV werden Namen und Anschrift der Betriebsbereiche sowie ihre Tätigkeit nach NACE-Code an das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) zur Weiterleitung an die Kommission der Europäischen Gemeinschaften übermittelt.

Unter der Störfall-Verordnung kommen in Baden-Württemberg die in Tabelle 10-2 aufgelisteten Wirtschaftszweige vor.

Tab. 10-2: Wirtschaftszweige unter der Störfall-Verordnung mit Vorkommen in Baden-Württemberg.  
Quelle: LUBW 2006

NACE-Code	Hauptgruppen der Wirtschaftszweige
14	Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau
15	Ernährungsgewerbe
17	Textilgewerbe
21	Papiergewerbe
22	Verlagsgewerbe, Druckgewerbe, Vervielfältigung von bespielten Ton-, Bild-, und Datenträgern
23	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen
24	Chemische Industrie
25	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren
26	Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
27	Metallerzeugung und -bearbeitung
28	Herstellung von Metallerzeugnissen
29	Maschinenbau
31	Herst. von Geräten der Elektrizitätserzeugung, -verteilung u.ä.
32	Rundfunk-, Fernseh- und Nachrichtentechnik
34	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen
40	Energieversorgung
50	Kraftfahrzeughandel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen; Tankstellen
51	Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)
52	Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen)
60	Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen
63	Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr
73	Forschung und Entwicklung
74	Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen
80	Erziehung und Unterricht
85	Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen
90	Abwasser- und Abfallbeseitigung und sonstige Entsorgung
91	Interessenvertretungen sowie kirchliche und sonstige religiöse Vereinigungen

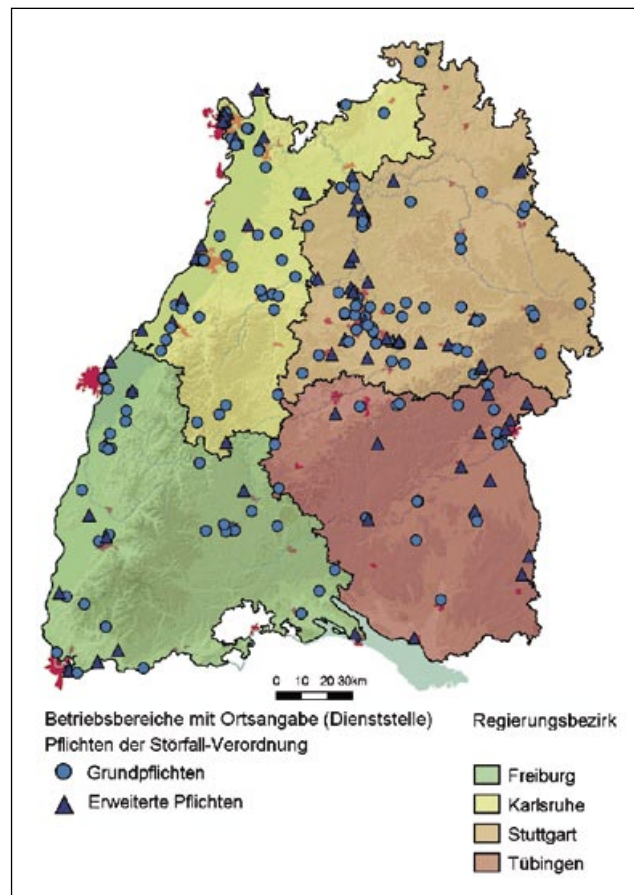


Abb. 10-2: Standorte der Betriebsbereiche in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW 2006

Bei den in Abbildung 10-3 dargestellten Betrieben mit Grundpflichten liegt im Vergleich zu den Betrieben mit erweiterten Pflichten in Abbildung 10-4 ein breiteres Branchenspektrum mit einer größeren Diversifizierung zugrunde. Die metall erzeugenden- und -verarbeitenden Betriebe

(NACE-Code 27 und 28) sind überwiegend dem Bereich der Grundpflichten zugeordnet. Die Zahl der Betriebe dieser Branchen mit erweiterten Pflichten ist vergleichsweise gering. Allerdings sind diese Betriebe entsprechend größer. In einem Fall handelt es sich um ein Stahlwerk.

Bei den Grundpflichten sind auch Betriebsbereiche in Wirtschaftszweigen eingeordnet, die eher untypisch für den industriellen



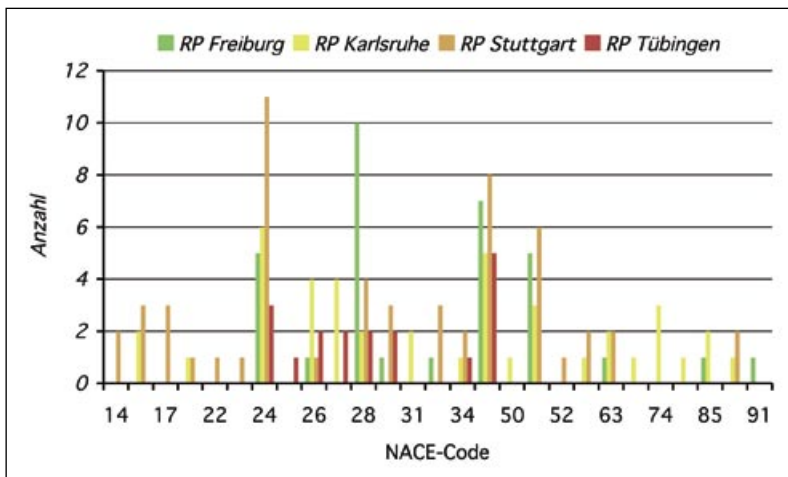


Abb. 10-3: Anzahl der Betriebsbereiche mit Grundpflichten nach NACE-Code. Quelle: LUBW 2006

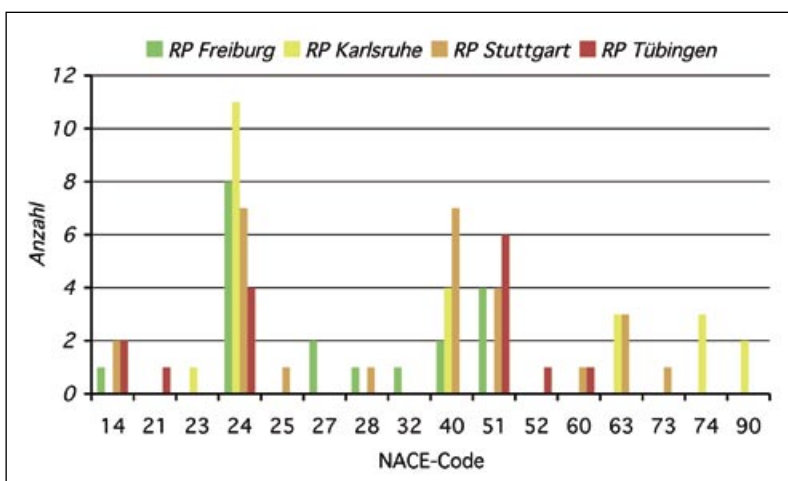


Abb. 10-4: Anzahl der Betriebsbereiche mit erweiterten Pflichten in Baden-Württemberg nach NACE-Code. Quelle: LUBW 2006

Umgang mit gefährlichen Stoffen sind. Als Beispiel sei ein Betriebsbereich mit dem NACE-Code 91 - Interessenvertretungen sowie kirchliche und sonstige religiöse Vereinigungen - genannt. Dort wird in einer Bildungsstätte eine große Flüssiggaslageranlage zur Gebäudeheizung betrieben. Von allen Branchen stellt die Chemische Industrie landesweit einen Schwerpunkt dar, gefolgt von metallherstellenden- und -verarbeitenden Betrieben, Betrieben der Energieversorgung und dem Großhandel. Bei letzterem handelt es sich vorwiegend um Flüssiggasversorgungsunternehmen sowie Chemikalien- und Pflanzenschutzmittelhändler. Für jeden Regierungsbezirk können regionale Schwerpunkte bestimmter Industriezweige abgeleitet werden. So sind für den Bereich der Chemischen Industrie die meisten Betriebe mit erweiterten Pflichten im Regierungsbezirk Karlsruhe angesiedelt, während im Regierungsbezirk Stuttgart die meisten Betriebe mit Grundpflichten vorkommen.

## 10.4 MELDEPFLICHTIGE EREIGNISSE

In den Betrieben und ihren Anlagen treten trotz der getroffenen sicherheitstechnischen und organisatorischen Vorkehrungen Störungen auf. Die Betreiber sind gemäß § 19 Störfall-Verordnung verpflichtet, Ereignisse die bestimmte Kriterien erfüllen, den zuständigen Regierungspräsidien zu melden. Die LUBW ist die zentrale Stelle, die diese Meldungen fachtechnisch auswertet und an das BMU weiterleitet.

Ereignisse mit schweren Personen-, Sach- oder Umweltschäden und Störungen, die mit der Freisetzung, Entzündung oder Explosion größerer Mengen gefährlicher Stoffe einhergehen sowie Ereignisse mit grenzüberschreitenden Schädigungen werden von dort an die EU-Kommission weitergeleitet, sofern die Meldekriterien gemäß Anhang VI, Teil 1, Ziffer I StörfallV erfüllt sind. Gleiches gilt für bestimmte, aus sicherheitstechnischer Sicht besonders bedeutsame Ereignisse entsprechend dem Anhang VI, Teil 1, Ziffer II.

Abbildung 10-5 zeigt für Baden-Württemberg die in den Jahren 1989 bis 2005 gemeldeten Ereignisse. Seit dem Jahr 2000 gilt hierfür die Kategorisierung gemäß Tabelle 10-3.

Tab. 10-3: Kategorisierung meldepflichtiger Ereignisse seit 2000.

Ereigniskategorie seit 2000	Erläuterung
Anhang VI Teil 1, Ziffer I	Störfall (Schwerer Unfall) *)
Anhang VI Teil 1, Ziffer II	Technisch bedeutsame Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs
Anhang VI Teil 1, Ziffer III	Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs mit Stofffreisetzung

\*) Störfall bedeutet hier: Ereignisse mit Freisetzungen großer Mengen von gefährlichen Stoffen oder mit schweren Personen- Umwelt- oder Sachschäden sowie grenzüberschreitende Schädigungen. Siehe Anhang VI StörfallV

Tab. 10-4: Kategorisierung meldepflichtiger Ereignisse bis 2000.

Ereigniskategorie vor 2000	Erläuterung
StörfallV § 11 Abs. 1 Nr. 1	Störfall *)
StörfallV § 11 Abs. 1 Nr. 2a	Ereignis bei dem außerhalb der Anlage Schäden eingetreten sind
StörfallV § 11 Abs. 1 Nr. 2b	Ereignis bei dem Gefahren für die Allgemeinheit oder die

\*) Kategorie vergleichbar mit Anhang VI Teil 1, Ziffer I, Siehe alte StörfallV (vom 20. Sept. 1991)

Vor dem Jahr 2000 galt nach alter Störfall-Verordnung für die meldepflichtigen Ereignisse eine abweichende Einteilung, die aus Tabelle 10-4 ersichtlich wird. Die seit 2000 gültigen Definitionen der Ereigniskategorien ermöglichen eine bessere Differenzierung zwischen Ereignissen nach Ziffer II und III.

Es traten durchschnittlich pro Jahr etwa drei meldepflichtige Ereignisse auf. Eine eindeutig zunehmende oder abnehmende Tendenz ist im betrachteten Gesamtzeitraum nicht erkennbar. Die Jahre 1993 und 2003 ohne meldepflichtige Ereignisse stehen den Jahren 1994, 1999 und 2004 mit sechs bzw. sieben Ereignissen gegenüber.

Die Häufigkeit der Ereignisse deutet auf einen 5-jährigen Zyklus hin, in dem jeweils eine steigende Tendenz besteht. Dieser Verlauf ist stochastisch bedingt und hat keine fachtechnisch erklärbaren Ursachen.

Die Analyse der Ereigniskategorien gemäß Anhang VI Teil 1, Ziffer I und § 11 Abs. 1 Nr. 1 zeigt, dass schwere Unfälle bzw. Störfälle mit schweren Personen-, Umwelt- oder Sachschäden insgesamt einen vergleichsweise niederen Anteil am Gesamtgeschehen haben. Eine Ausnahme hiervon ist das Jahr 2004. Hier gab es zwei Ereignisse mit sehr hohen Sachschäden, die für die Einstufung als schweres Ereignis maßgeblich waren. Im dritten Fall handelte es sich um eine Explosion bzw. einen Brand mit Todesfolge.

Der geänderte Anwendungsbereich der Störfall-Verordnung 2000 hat keinen Einfluss auf die Zahl der jährlich

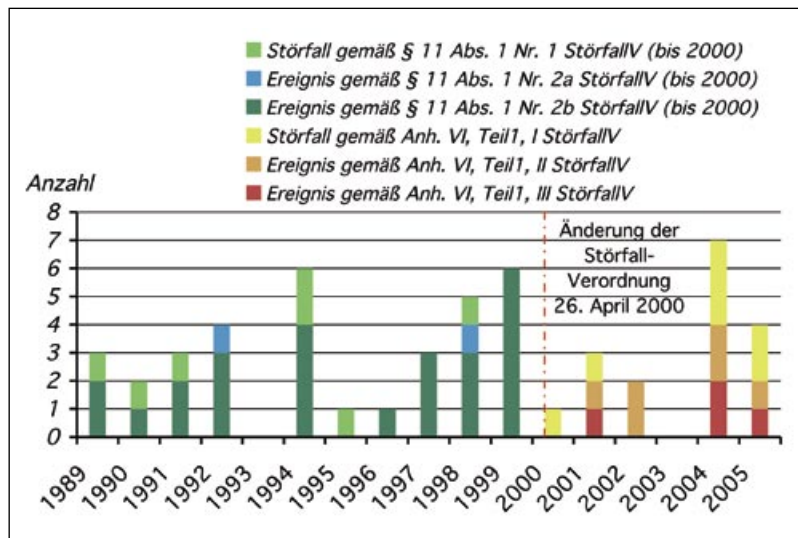


Abb. 10-5: Anzahl der gemeldeten Ereignisse von 1989 bis 2005.  
Quelle: LUBW 2006

gemeldeten Ereignisse. Im Vergleich zu den Ereignissen der Nrn. 2a und 2b (1989-1999) ist eine gleichmäßigere Verteilung zwischen Ereignissen, die technisch bedeutsam eingestuft sind und Ereignissen, bei denen Stofffreisetzungen auftraten erkennbar.

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Vorschriftensammlung der Gewerbeaufsicht im Internet:  
<http://www.gaa.baden-wuerttemberg.de/Vorschriften/Vorschriften.html>

Zentrale Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in verfahrenstechnischen Anlagen (ZEMA):  
<http://www.umweltbundesamt.de/zema/>

# 11 Radioaktivität

Die auf der Erde vorkommenden chemischen Elemente weisen zu einem kleinen Anteil instabile Atomkerne auf. Ihre Kerne wandeln sich nach physikalischen Gesetzmäßigkeiten in andere Kerne um. Bei diesem Vorgang – radioaktiver Zerfall genannt – wird meist energiereiche Strahlung ausgesandt. Wegen dieser Strahlung nennt man instabile Atomkerne auch Radionuklide, also Strahlung aussendende Kerne. Die charakterisierenden Größen sind die Strahlungsart (Abb. 11-1) und die Halbwertszeit, das ist die Zeit, nach der die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Menge umgewandelt ist. Sie ist spezifisch für jedes Radionuklid und reicht von Mikrosekunden bis zu Milliarden von Jahren. Von den auf der Erde natürlich vorkommenden Radionukliden, wie z. B. Uran-238, Thorium-232 und Kalium-40 haben einige Halbwertszeiten in der Größenordnung des Erdalters. Dabei sind Uran-238 und Thorium-232 die Ausgangsnuklide von Zerfallsreihen mit zahlreichen weiteren natürlichen Radionukliden. Von diesen Nukliden werden Radon-222 bzw. Thoron (Radon-220) durch Bodenporen in die Bodenluft freigesetzt. Von dort aus kann das radioaktive Edelgas auch in Gebäude gelangen und sich dort samt seinen Zerfallsprodukten anreichern (vgl. Kap. 11.2.2). Zusätzlich werden durch die Wechselwirkung der aus dem Weltall kommenden kosmischen Strahlung mit der umgebenden Luftschicht Radionuklide wie Krypton-85, Kohlenstoff-14, Beryllium-7 und Tritium ständig neu erzeugt (kosmogene Nuklide). Durch die Aufnahme solcher Radionuklide mit der Atemluft oder der Nahrung kommt es neben der äußeren Strahlenbelastung auch zu einer merklichen inneren Strahlenbelastung des Menschen (vgl. Kap. 11.2).

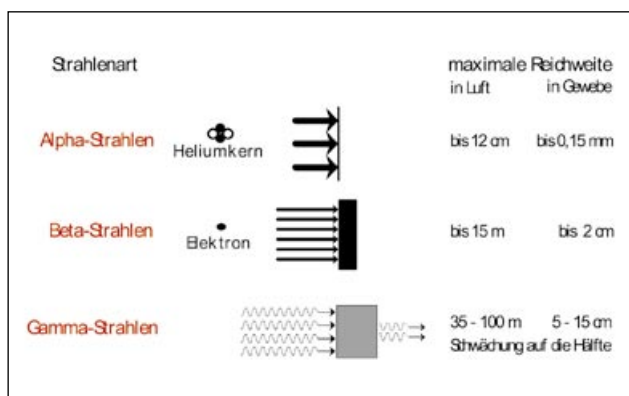


Abb. 11-1: Strahlenarten und ihre Eigenschaften.

Künstlich vom Menschen erzeugte Radionuklide sind zu Hunderten bekannt und unterliegen samt ihren Strahlungen denselben Gesetzmäßigkeiten wie die natürlich vorkommenden Radionuklide. Praktische Bedeutung für die Belastung von Mensch und Umwelt haben jedoch nur wenige Nuklide, nämlich solche mit großen Halbwertszeiten oder hoher Radiotoxizität. Die beim Umgang mit radioaktiven Substanzen in vielen Fällen unvermeidlichen Abgaben (Emissionen) radioaktiver Stoffe an die Umwelt werden bei kerntechnischen Anlagen kontrolliert und bilanziert – sowohl für Abluft als auch für Abwasser. Bei diesen Anlagen findet auch eine umfangreiche Immissionsüberwachung statt, um die Radioaktivitätsgehalte in den für den Menschen wichtigsten Umweltmedien festzustellen und dessen Strahlenbelastung abzuschätzen.

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 hoher Empfindlichkeit. Entscheidend für den Menschen und damit auch für den Strahlenschutz ist die biologische Wirkung, die die ionisierende Strahlung im Organismus hervorruft. Sie wird als Dosis bezeichnet. Um die verschiedenen Einwirkungsmöglichkeiten wie z. B. Ganz- oder nur Teilkörperbestrahlung, äußere oder innere Exposition oder die Wirkungsunterschiede zwischen den Strahlungsarten vergleichbar zu machen, wird die Dosis als ‚effektive Dosis‘, gemessen in Sievert (Sv = Joule/kg), angegeben.

Die Verwaltung des Landes Baden-Württemberg betreibt ein komplexes System zur Überwachung der Radioaktivität. Das Hauptaugenmerk richtet sich auf die kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen im Land an den Standorten



Abb. 11-2: Radiologische Zusammenhänge.

Philippsburg, Neckarwestheim, Obrigheim und Karlsruhe. Immissionsseitig werden zudem die den grenznahen ausländischen Kernkraftwerken Fessenheim (F) und Leibstadt (CH) gegenüber liegenden Regionen im Land überwacht. Neben dieser anlagenbezogenen Radioaktivitätsüberwachung werden auch im übrigen Landesgebiet sowohl der Strahlenpegel gemessen als auch Proben verschiedener Umweltmedien und Nahrungsmittel regelmäßig auf ihren Radioaktivitätsgehalt untersucht. Die Einrichtungen zur Online-Messung der Gamma-Ortsdosisleistung (Strahlenpegel) und zur nuklidspezifischen Messung der Radioaktivität in Schwebstoffen der Luft (Radioaerosole) bilden zusammen mit der Kernreaktor-Fernüberwachung (KFÜ) einen sensiblen Warndienst, der die zuständigen Behörden bei geringsten Veränderungen gegenüber der natürlich vorhandenen Strahlung alarmiert.

## 11.1 RADIOAKTIVITÄTSÜBERWACHUNG

### 11.1.1 ANLAGENBEZOGENE RADIOAKTIVITÄTSÜBERWACHUNG

Beim Betrieb kerntechnischer Anlagen und beim Umgang mit radioaktiven Stoffen sind in vielen Fällen Ableitungen radioaktiver Stoffe über Luft oder Wasser technisch unvermeidlich. Zur Minimierung dieser Emissionen legt die Atomaufsichtsbehörde Grenzwerte fest. Die abgeleiteten Aktivitätsmengen werden kontrolliert und nach Nuklidgruppen getrennt bilanziert.

Zu den in Baden-Württemberg von der Radioaktivitätsüberwachung betroffenen Anlagen gehören jeweils die Kernkraftwerksblöcke I und II der Kernkraftwerke Neckarwestheim (GKN I und GKN II) und Philippsburg (KKP I und II) sowie das Kernkraftwerk Obrigheim (KWO) (seit 11. Mai 2005 in der Stilllegung) und darüber hinaus die Einrichtungen auf dem Gelände des Forschungszentrums Karlsruhe (FZK).

#### 11.1.1.1 ABGABEN MIT DER ABLUFT

Bei kerntechnischen Anlagen wird grundsätzlich die gesamte fortzuleitende Abluft über den Kamin abgeleitet und überwacht. In den Abbildungen 11-3 bis 11-5 sind die Emissionen der Nuklidgruppe Edelgase, die Emissionen beta- und gammastrahlender Aerosole sowie die Emissionen von Tritium(H-3) dargestellt.

Bei Kernkraftwerken setzen sich die Edelgasemissionen vorwiegend aus den kurzlebigen radioaktiven Isotopen der Edelgase Xenon und Krypton zusammen. Die Edelgas-

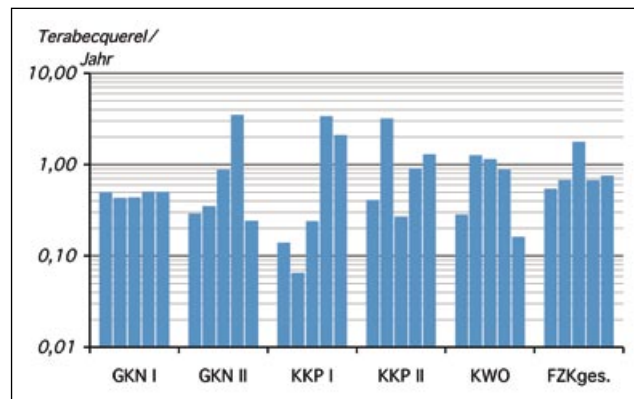


Abb. 11-3: Emissionen radioaktiver Edelgasisotope mit der Abluft. Quelle: Betreiberdaten

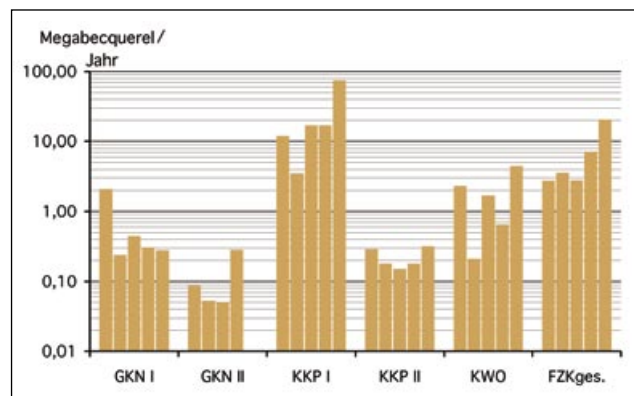


Abb. 11-4: Emissionen beta- und gammastrahlender Aerosole mit der Abluft (GKN II im Jahr 2005 unterhalb der Erkennungsgrenze). Quelle: Betreiberdaten

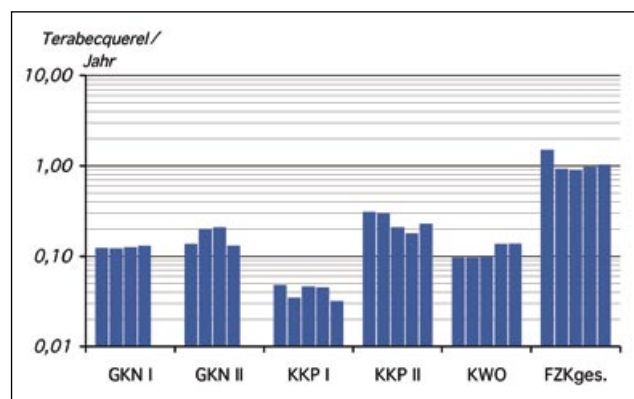


Abb. 11-5: Tritiumemissionen mit der Abluft 2001 bis 2005. Quelle: Betreiberdaten

emissionen spiegeln sowohl die leistungsabhängige Bildung von Edelgasen als auch die Dichtheit der Brennelementhüllen beim Betrieb von Kernkraftwerken wider. 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

stillgelegt wurden, können noch Edelgase abgeben, solange nicht alle Brennelemente entladen und abtransportiert sind oder sie noch nicht völlig frei von Kernbrennstoffen sind. Die durch diese künstlich erzeugten radioaktiven Edelgase verursachte durchschnittliche effektive Strahlenbelastung ist gering. Sie liegt selbst im Nahfeld eines Kernkraftwerkes um etwa drei Größenordnungen unter der Strahlenbelastung, die durch die natürlichen radioaktiven Edelgase Radon (Radon-222) und Thoron (Radon-220) bedingt ist.

Die beta- und gammastrahlenden Aerosole können die unterschiedlichsten Spaltprodukte, wie Cäsium-134 oder Strontium-90 enthalten. Sie können aber auch, wie Kobalt-60 durch Aktivierung entstanden sein. Man spricht deshalb auch von Spalt- und Aktivierungsprodukten. Bei Kernkraftwerken treten sie vorwiegend während der Revision auf. Beim FZK entstehen sie abhängig vom Betrieb der Abfallbehandlungsanlagen sowie bei der Stilllegung von Kontrollbereichen und von Anlagen aus der Wiederaufarbeitung. Kurzlebige Aerosole sind in ihren Emissionsraten gegenüber längerlebigen Aerosolen durchweg vernachlässigbar.

Tritium entsteht bei Kernreaktoren im Brennstoff und im Kühlwasser. Es wird sowohl mit dem Abwasser in Form von überschwerem Wasser mit der Summenformel HTO, als auch gasförmig abgegeben. Bei den Tritiumabgaben mit der Fortluft gibt es Unterschiede zwischen den einzelnen Anlagen, die u.a. von der Leistung, der Betriebsfahrweise, der Betriebsdauer und vom Anlagentyp abhängen (Abb. 11-5). Siedewasserreaktoren wie KKP I schneiden hier besser ab als Druckwasserreaktoren.

Die Emissionen der Kernkraftwerke korrelieren in etwa mit den jeweiligen jährlichen Betriebsdauern und erreichen bei vergleichbarer Fahrweise schon nach wenigen Jah-

ren einen Sättigungswert. Die Emissionen bei Anlagen im Bereich des FZK hingegen nahmen wegen der Stilllegung bzw. Außerbetriebnahme von Anlagen und bedeutsamen Tritiumquellen in den vergangenen Jahren ständig ab und liegen nunmehr bei rund einem Terabecquerel pro Jahr. An dosisrelevanten Nukliden werden noch verschiedene Jodisotope und Kohlenstoff-14 emittiert. Die insgesamt von Kernkraftwerks-Emissionen herrührende Strahlenbelastung liegt mit weniger als 0,01 mSv pro Jahr aber im Bereich weniger Promille der durchschnittlichen Strahlenexposition der Bevölkerung von zwei bis vier Millisievert pro Jahr.

### 11.1.1.2 ABGABEN MIT DEM ABWASSER

Bei kerntechnischen Anlagen wird auch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser überwacht und bilanziert. In den Abbildungen 11-6 und 11-7 sind die Ableitungen der Nuklidgruppe der beta- bzw. gammastrahlenden Radionuklide sowie Tritium (H-3) dargestellt.

Die beta- bzw. gammastrahlenden Radionuklide im Abwasser 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 Brennstabhüllrohren und durch überwiegend korrosionsbedingten Materialabtrag kommen diese Spalt- und Korrosionsprodukte in das Wasser des Primärkreislaufes und von dort in Spuren nach außen. Die Erzeugung von beta- bzw. gammastrahlenden Spaltprodukten ist bei Kernkraftwerken abhängig von der erzeugten Energie. Das Auftreten künstlicher Radionuklide im Abwasser hängt von der Dichtheit der Umhüllung der Brennstäbe und der Leistungsfähigkeit der Wasserreinigungsanlagen ab.

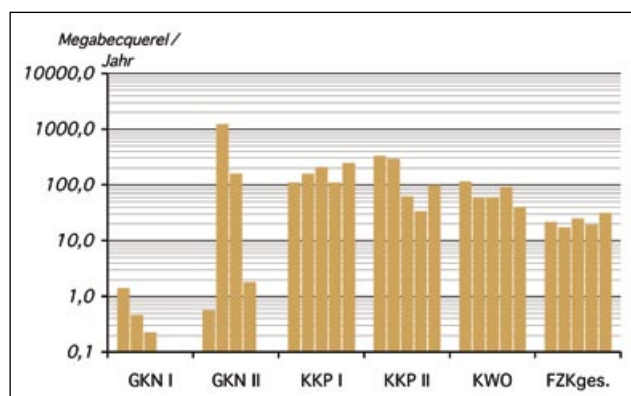


Abb. 11-6: Emissionen von Beta-/Gamma-Strahlern mit dem Abwasser. Quelle: Betreiberdaten

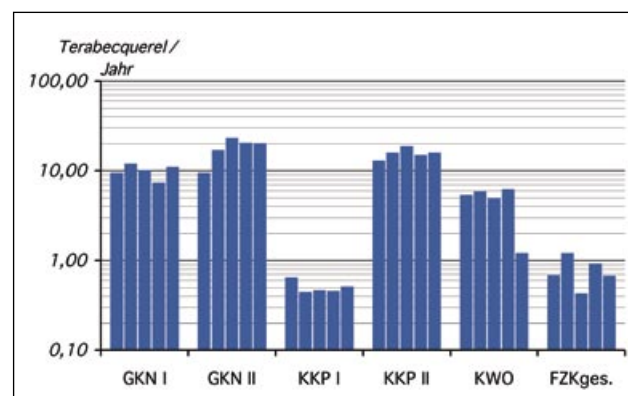


Abb. 11-7: Tritiumemissionen mit dem Abwasser. Quelle: Betreiberdaten

Die Abgaberaten der Kernkraftwerke schwankten über Jahre stark, eine allgemeine Tendenz ist nicht feststellbar. Die Ableitungen der Kernkraftwerke sind mit denen des Forschungszentrums Karlsruhe nicht vergleichbar.

Die Druckwasserreaktoren geben jeweils mehr Tritium ab als der Siedewasserreaktor KKP I (Abb. 11-7). Die Abgaben des FZK gingen im Einklang mit der Stilllegung von Tritium erzeugenden Anlagen in der Tendenz zurück. Tritium ist - langfristig betrachtet - im Abwasserpfad das am häufigsten nachgewiesene künstliche Radionuklid.

### 11.1.2 UMWELTBEOZGENE RADIOAKTIVITÄTS- ÜBERWACHUNG

Emissionen radioaktiver Stoffe führen zu Einwirkungen auf den Menschen (Immissionen). Strahlenexpositionen entstehen entweder über Direktstrahlung von außen oder über die Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper, in der Regel über die Atemluft oder über die Nahrung. Zusätzlich zur Erfassung der Emissionen kerntechnischer Anlagen findet eine umfangreiche Immissionsüberwachung statt. Sie erfasst über die Kernreaktor-Fernüberwachung (KFÜ) an insgesamt 113 Messorten den Strahlenpegel im Umfeld aller Kernkraftwerksstandorte im Land sowie gegenüber dem grenznahen französischen Standort Fessenheim und dem Schweizer Standort Leibstadt. Die Werte sind im Internet öffentlich zugänglich und stationsscharf recherchierbar. Bei jedem KKW-Standort ist außerdem je eine moderne Radioaerosolmesseinrichtung in Betrieb, die rund um die Uhr vollautomatisch die Konzentration gammastrahlender Nuklide in der Umgebungsluft ermittelt. Beide Messnetzkomponenten sind mit zahlreichen Alarmfunktionen ausgestattet.

Durch umfangreiche Messprogramme zur radiologischen Umgebungsüberwachung werden zudem die Radioaktivitätsgehalte in den für den Menschen wichtigsten Umweltmedien festgestellt. Aus der näheren Umgebung der kerntechnischen Anlagen werden Luftproben sowie Nahrungsmittel, Milch, Grundwasser, Niederschläge und Oberflächenwässer im Radiochemielabor der LUBW auf ihren Gehalt an künstlicher Radioaktivität untersucht. Außerdem werden Böden, Bewuchs und Sedimente überprüft. Die hierbei gewonnenen Messwerte lassen im Vergleich zu den Messwerten aus der umweltbezogenen Radioaktivitätsüberwachung auf mögliche Einwirkungen durch eine kerntechnische Anlage schließen.

In nahezu allen Umweltmedien wie Boden, Wasser oder Luft ist *Radioaktivität natürlichen Ursprungs* enthalten. Über pflanzliche und tierische Nahrungsketten und über die Atemluft gelangt sie auch in den menschlichen Körper. Die wichtigsten Radionuklide, die im Durchschnittsmenschen in einem dynamischen Gleichgewicht von Aufnahme und Ausscheidung stets vorhanden sind, werden mit ihren durchschnittlichen Aktivitätsgehalten in Tabelle 11-1 dargestellt.

Tab. 11-1: Die wichtigsten Radionuklide im Menschen. Quelle: KOELZER 2006

Radionuklid	Aktivität in Bequerel
<b>Kalium (K) -40</b>	4200
<b>Kohlenstoff (C) -14</b>	3800
<b>Rubidium (Rb) -87</b>	650
<b>Blei-, Wismut-, Polonium-210</b>	60
<b>Kurzlebige Radon-Zerfallsprodukte</b>	45
<b>Tritium (H) -3</b>	25
<b>Beryllium (Be) -7</b>	25
<b>Sonstige</b>	10
<b>Summe</b>	8815

Über verschiedene Messprogramme können *Einträge künstlicher Radionuklide* in die verschiedenen Umweltmedien nachgewiesen werden (Immissionsüberwachung). Deren Auswertung ergibt insgesamt in allen überwachten Medien einen nahezu gleich bleibenden Gehalt auf geringstem Niveau. Das von den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und vom Tschernobyl-Unfall herrührende Nuklid Cäsium-137 ist allerdings immer noch deutlich messbar, die Konzentrationen von heute liegen um mehr als 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 (Halbwertszeit 10,8 Jahre) und Xenon-133 (Halbwertszeit 5,3 Tage) vor, die aus der technischen Nutzung der Kernenergie stammen. Das langfristig gemessene Jahresmittel der Krypton-85-Aktivität erhöhte sich zwar in den vergangenen 30 Jahren in unseren Breitengraden von 0,6 auf über 1,5 Bq/m<sup>3</sup>. Dies entspricht dem globalen Trend und zeigt, dass die Freisetzungsraten für Krypton-85 weltweit größer sind als seine radioaktive Zerfallsrate. Radiologisch sind aber Krypton-85 und Xenon-133 in den beobachteten Aktivitätskonzentrationen bedeutungslos.

Mit *Niederschlägen* werden luftgetragene radioaktive Stoffe auf den Boden ausgewaschen und dort – je nach Durchlässigkeit und Bewuchs – entweder eingelagert, in Bewuchs eingebaut oder mit Grund- oder Oberflächen-

wasser abgeführt. Der Eintrag aller langlebigen betastrahlenden Radionuklide über Niederschläge in den Boden wies Anfang der sechziger Jahre mit 16 000 Bq/m<sup>2</sup> in Folge der oberirdischen Kernwaffentests die höchsten Werte auf. Das Ereignis von Tschernobyl brachte kurzzeitig ebenfalls hohe Werte hervor. Mittlerweile hat sich der Wert auf etwa 50 bis 70 Bq/m<sup>2</sup> eingependelt.

*Wasser* als Lebensgrundlage von Menschen, Tieren und Pflanzen wird intensiv überwacht. Besonders hervorzuheben ist hierbei das in allen Wasserproben enthaltene Tritium. Sein Gehalt in oberflächennahen Wässern, die nicht durch aktuelle anthropogene Tätigkeit beeinflusst sind, liegt heute bei etwa 2 bis 4 Bq/l, bedingt durch Kernwaffentests. Ohne menschliches Zutun läge dieser Wert bei deutlich unter 1 Bq/l.

Tab. 11-2: Typische Aktivitätskonzentrationen natürlicher Radionuklide in Wasser in Bq/l. Quelle: VOLKMER 2004

Wasservorkommen	Tritium (H-3)	Radium-226	Kalium-40	Uran-238
Meer	0,02-0,06	0,001-0,006	12	0,04
Flüsse, Seen	0,04-0,4	<0,0004-0,1	0,04-2	0,0006-0,04
Grundwasser	0,04-0,4	<0,004-0,4	0,004-0,4	0,001-0,2
Regen	0,4-1	0	0,004-0,1	0
Trinkwasser	0,2	0,004	0,2	0,002

Bei den oberirdischen Fließgewässern konnten mit wenigen Ausnahmen (Strontium-90 mit einer Aktivität zwischen 0,001 und 0,010 Bq/l in ca. 50 Oberflächenwasserproben zwischen 2001-2005) 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 auf dem Gewässerboden als Sediment abgelagert werden. In den stromabwärts gelegenen Flussabschnitten aller kerntechnischen Anlagen wurden in den Sedimenten künstliche Radionuklide gefunden. Die ermittelten Werte schwanken zwischen einigen Zehnteln und knapp 30 Bq/kg Trockenmasse (TM). Den Hauptanteil hatte das Nuklid Cäsium-137, das vorwiegend aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl stammt. Bei Kobalt-60 und Cäsium-134 sind die Nachweisgrenzen in den meisten Fällen unterschritten, Jod-131 wird vereinzelt nachgewiesen, allerdings teilweise bedingt durch Einträge aus der Nuklearmedizin. Das natürlich vorkommende Kalium-40 findet man dagegen regelmäßig in Konzentrationen von mehreren hundert Bq/kg TM. Die Sedimentanalysen erlauben keine quantifizierbare Zuordnung der Aktivitäten, lassen jedoch gewisse Rückschlüsse auf den Emittenten bzw. die Herkunft der Radioaktivität zu.

In den untersuchten Trink- und Grundwässern konnten außer gelegentlichen Spuren von Strontium-90 (zwischen 0,001 und 0,013 Bq/l in ca. 60 Trinkwasserproben zwischen 2001-2005) keine künstlichen beta- oder gammastrahlenden radioaktiven Inhaltsstoffe nachgewiesen werden. Diese Konzentrationen liegen durchweg unterhalb des Gehalts an natürlichen Radionukliden. Das Trinkwasser in Deutschland weist Radium-226-Konzentrationen um die 0,004 Bq/l und Kalium-40-Konzentrationen um die 0,2 Bq/l auf. Die entsprechenden Werte liegen bei Grundwasser sowohl für Radium-226 als auch für Kalium-40 zwischen 0,004 und 0,4 Bq/l.

Werden Wässer als Trinkwasser verwendet, gilt die novelierte Trinkwasserverordnung von 2001. Ihre Anwendung wird derzeit EU-weit harmonisiert. Die Verordnung schreibt die Einhaltung einer Gesamtrichtdosis von 0,1 mSv/a infolge Trinkwasserkonsums vor.

Der *Boden* ist eine wichtige Grundlage unserer 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, stammt der überwiegende Teil, das Strontium-90 und ein Teil des Cäsiums-137, aus dem Kernwaffenfallout. Das übrige Cäsium-137 ist dagegen auf den Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahr 1986 zurückzuführen. Die auf dem Boden abgelagerte Aktivität ist bis 2006 durch den radioaktiven Zerfall für Cäsium-137 erst auf 63 % des Ausgangswerts von 1986 zurückgegangen. Insbesondere in Bayern und in den südlichen und südöstlichen Regionen Baden-Württembergs weisen die Böden auch heute noch im Vergleich zu den anderen Bundesländern höhere spezifische Cäsiumaktivitäten auf. Innerhalb von Baden-Württemberg streuen die Cäsium-Werte stark, entsprechend dem seinerzeitigen Eintrag und der Verlagerung in andere Schichten. Diese Cäsium-Aktivität befindet sich auch heute noch im Wesentlichen im Wurzelbereich der Pflanzen. Gerade in Waldböden ist aufgrund eines hohen Humusanteils das Cäsium-137 noch gut für Waldpflanzen wie Farne, Brombeeren oder Pilze verfügbar.

Am Beispiel essbarer *Waldpilze* lässt sich gut verdeutlichen, wie sich Cäsium-137 in der Nahrungskette anreichert. Pilze entnehmen ihre Nährstoffe den obersten Bodenschich-

ten. Über 50 % des Radiocäsiums befindet sich in der rund 10 cm dicken oberen Bodenschicht. Bereits seit der Zeit der oberirdischen Kernwaffenversuche ist bekannt, dass einige Pilzsorten wie beispielsweise Maronenpilze Cäsium besonders gut aufnehmen. Neben sortenspezifischen Eigenschaften hängt die Cäsiumbelastung auch stark von der Höhe der örtlichen Bodenkontamination und der Bodenart ab. Nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl war in Baden-Württemberg die Region Oberschwaben durch örtliche Niederschläge höher belastet als andere Regionen. Deshalb findet man dort auch heute noch relativ hohe Cäsiumbelastungen in Pilzen. Die maximalen und mittleren Cäsiumgehalte von Wildröhrenpilzen, Wildblätterpilzen und Wildleisten-(Trompeten)pilzen aus Untersuchungen in Baden-Württemberg zwischen 2001 und 2004 sind in Tabelle 11-3 aufgeführt. Zum Vergleich dienen die ebenfalls ermittelten Gehalte an natürlich vorkommendem Kalium-40.

In Hirschtrüffeln – nicht essbare Pilze, die unterirdisch in der Humusschicht des Fichtenwaldbodens

wachsen – reichert sich das Radiocäsium besonders an. In Zeiten schlechter Nahrungsangebote werden diese Hirschtrüffel von Wildschweinen vermehrt ausgegraben und aufgenommen. Deren Fleisch kann dann in Einzelfällen Cäsium-Aktivitätskonzentrationen von bis zu einigen Tausend Becquerel pro Kilogramm Fleisch aufweisen.

Die Gesamtnahrung der Menschen setzt sich aus den unterschiedlichsten Lebensmitteln zusammen. 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 (vgl. Kap. Lebensmittelüberwachung).

## 11.2 STRAHLENBELASTUNG DES MENSCHEN

### 11.2.1 STRAHLENEXPOSITION DER BEVÖLKERUNG

Die in den Umweltmedien, der Atemluft, dem Trinkwasser und in der Nahrung befindlichen Radionuklide bewirken,

dass auch der menschliche Körper einen gewissen Radioaktivitätsgehalt aufweist: Seit 1961 in Karlsruhe durchgeführte Messungen zeigen für Cäsium-137 den typischen, durch die beiden wesentlichen radiologisch bedeutsamen Ereignisse (oberirdische Kernwaffentests und Reaktorunfall in Tschernobyl) bedingten Verlauf (Abb. 11-8). Ein Vergleich der beiden Maxima ergibt, dass die durch das Kernwaffen-Cäsium-137 verursachte Körperaktivität im Karlsruher Raum deutlich größer war als die durch das Tschernobyl-Ereignis. Die derzeitigen Werte für Cäsium-137 sind wesentlich kleiner als 1 Bq/kg Körpergewicht, für 2005 liegt der Jahresmittelwert bei 0,23 Bq/kg. Die durch natürliches

Tab. 11-3: Radioaktivitätsgehalte von Wildpilzen 2001 bis 2004. Quelle: IMIS

		Wildröhrenpilze	Wildblätterpilze	Wildleistenpilze	
		in Bq/kg (Feuchtmasse)			
<b>Cäsium-137</b>	2001	Maximalwert	1800	790	650
		Mittelwert	238	266	102
	2002	Maximalwert	3700	10000	480
		Mittelwert	567	1110	103
	2003	Maximalwert	3200	12000	400
		Mittelwert	267	926	65
2004	Maximalwert	2500	1800	200	
	Mittelwert	280	164	44	
<b>Kalium-40 (natürlich vorhanden)</b>	Maximalwert	210	870	650	
	Mittelwert	87	133	169	

Kalium-40 bedingte Aktivität des menschlichen Körpers liegt durchgehend sehr viel höher, nämlich bei etwa 50 bis 70 Bq/kg Körpergewicht.

Bei Frauen ist die effektive Halbwertszeit von Cäsium-137 kürzer als bei Männern. Aus diesem Grund haben Frauen im Mittel eine geringere spezifische Cäsium-137-Körperaktivität (0,16 Bq/kg) als Männer (0,29 Bq/kg), was für

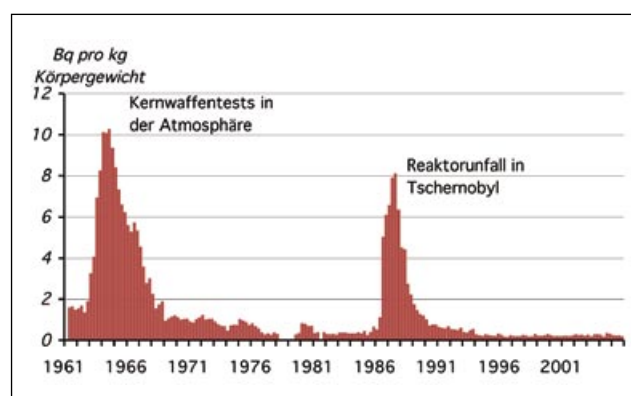


Abb. 11-8: Spezifische Aktivität von Cäsium-137 im menschlichen Körper im Raum Karlsruhe. Quelle: FZK 2006



2005 einem Jahresmittelwert von 0,23 Bq/kg entspricht. Die arithmetischen Mittelwerte der absoluten Cäsium-137-Körperaktivität betragen 21,7 Bq bei den Männern bzw. 9,3 Bq bei den Frauen. Im Herbst zeigt sich oft ein durch den Verzehr von Pilzen bedingter leichter Anstieg der mittleren Cs-137-Körperaktivität.

Die natürliche Strahlenexposition des Menschen setzt sich aus einer Einwirkung von außen durch die kosmische und terrestrische Strahlung und einer Einwirkung von innen durch in den Körper gelangte radioaktive Stoffe zusammen. Für die Gegebenheiten in Deutschland ergeben sich dabei die in Tabelle 11-4 dargestellten mittleren jährlichen Werte der effektiven Dosis.

Tab. 11-4: Mittlere Strahlenbelastung natürlichen Ursprungs in Deutschland. Quelle: KOELZER 2006

	Mittlere Strahlenbelastung in mSv pro Jahr
<b>kosmische Strahlung</b>	<b>0,3</b>
in Meereshöhe	0,27
in 1 000 m Höhe	0,38
<b>terrestrische Strahlung</b>	<b>0,4</b>
im Freien	0,32
in Häusern	0,43
<b>inkorporierte Radionuklide</b>	<b>1,4</b>
Radon und Folgeprodukte	1,1
Kalium-40	0,18
Uran-238, Thorium-232 u. a.	0,12
<b>Summe</b>	<b>2,1</b>

Die gesamte mittlere effektive Dosis durch die natürliche Strahlenexposition beträgt in Deutschland 2,1 mSv pro Jahr. Die effektive Dosis aus allen Strahlenquellen beträgt für einen Einwohner in Deutschland im Mittel 4 mSv pro Jahr. Diese Dosis stammt zu fast gleichen Anteilen aus der

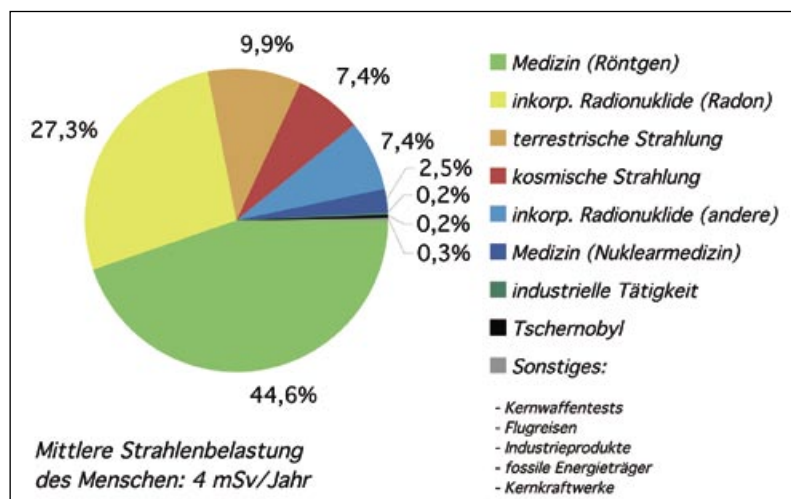


Abb. 11-9: Beiträge zur mittleren effektiven Jahresdosis der Bevölkerung, Stand 2005. Quelle: KOELZER 2006

natürlichen und der medizinischen Exposition. Gegenüber diesen Beiträgen zur Strahlendosis sind alle anderen Dosisbeiträge faktisch zu vernachlässigen (Tab. 11-5, Abb. 11-9).

Tab. 11-5: Mittlere effektive Dosis aus allen Strahlenquellen in Deutschland. Quelle: KOELZER 2006

Zivilisatorisch erhöhte Strahlenbelastung aus den Bereichen	mSv pro Jahr
<b>Medizin</b>	
Röntgen	1,8
Nuklearmedizin	0,1
industrielle Tätigkeit	0,01
Tschernobyl	0,01
Kernwaffentests	0,005
Flugreisen	0,005
Industrieprodukte	0,001
fossile Energieträger	0,001
Kernkraftwerke	0,001
<b>Zivilisation gesamt</b>	<b>1,93</b>
<b>Summendosis</b>	<b>4</b>

Tab. 11-6: Bereiche durchschnittlicher effektiver Dosen für häufige Röntgenuntersuchungen. Quelle: KOELZER 2006

Untersuchungsart	effektive Dosis in mSv
<b>Computertomographie Bauchraum</b>	<b>10 - 25</b>
Brustkorb	6 - 10
Wirbelsäule	3 - 10
Kopf	2 - 4
Untersuchung mit Aufnahmen und Durchleuchtung Arteriographie	10 - 20
Darm	10 - 18
Magen	6 - 12
Harntrakt	3 - 7
Gallenblase	1 - 5
Untersuchung mit Aufnahme der Lendenwirbelsäule	0,8 - 1,8
Beckenübersicht	0,5 - 1,0
Mammographie	0,4 - 0,6
Brustkorb	0,02 - 0,05
Halswirbelsäule	0,09 - 0,15
Zahn	≤ 0,01

Von allen Anwendungsgebieten ionisierender Strahlen bringt die Röntgendiagnostik den bei weitem größten Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung. In den zurückliegenden Jahren haben vor allem die besonders dosisintensiven Untersuchungen wie z. B. die Computer-Tomographie erheblich zugenommen.

Die mittlere effektive Dosis pro Einwohner in Deutschland durch die Röntgendiagnostik liegt derzeit bei etwa 1,8 mSv pro Jahr. Der Beitrag der verschiedenen nuklearmedizinischen Untersuchungen ist mit 0,12 mSv mittlerer effektiver Dosis pro Jahr und Einwohner dagegen vergleichsweise gering (Tab. 11-6).

### 11.2.2 EXPOSITION DURCH RADON

Mit 1,1 mSv pro Jahr ist mehr als die Hälfte des natürlichen Beitrags zur menschlichen Strahlenbelastung auf das radioaktive Edelgas Radon zurückzuführen. Es bildet sich aus Radium und gelangt im Wesentlichen aus dem Erdboden und bestimmten Baumaterialien in die Luft bzw. in Gebäude, Bergwerke oder Höhlen. Über die Atmung gelangen sowohl das Radon als auch die beim Zerfall des Radons entstehenden Zerfallsprodukte in die Lunge. Während das Edelgas selbst fast vollständig wieder ausgeatmet wird, verbleibt ein hoher Anteil der Radonzerfallsprodukte im Atemtrakt des Menschen und führt zu einer Bestrahlung des Lungengewebes. Dies kann langfristig Lungenkrebs verursachen. Die Exposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte ist heute nach dem Rauchen der zweitgrößte Risikofaktor für Lungenkrebs. Nach derzeitigem Kenntnisstand ist bei einem Radongehalt von 800 bis 1 000 Bq/m<sup>3</sup> Innenraumluft in Wohnräumen mit einer Verdopplung des Lungenkrebsrisikos gegenüber völlig unbelasteter Luft zu rechnen.

Zur regionalen Klassifikation des geogenen Radonpotenzials hat das Bundesamt für Strahlenschutz die regionale Verteilung der Radonkonzentration in der Bodenluft einen Meter unter der Erdoberfläche auf der Basis eines regelmäßigen Rasters von 3 km x 3 km erhoben. Aus der für eine Rasterfläche prognostizierten Radonkonzentration in der Bodenluft kann jedoch nicht generell auf die Radonkonzentration in der Bodenluft an einem Standort (z.B. ein Baugrundstück) und deshalb auch nicht auf erhöhte Konzentration in einem einzelnen Haus geschlossen werden, da die Radonkonzentrationen in der Bodenluft kleinräumig durchaus variieren können. In Gebieten, für die höhere Radonkonzentrationen in der Bodenluft prognostiziert werden, muss auch mit größeren Variationen gerechnet werden. In solchen Flächen sollten zur Bewertung eines Standortes Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft und zur Bewertung der Situation in einem Haus konkrete Messungen der Radonkonzentration in der Raumluft durchgeführt werden.

Die Radonkonzentration in der Bodenluft ist ein Maß dafür, wie viel Radon im Untergrund zum Eintritt in ein Gebäude zur Verfügung steht. Typischerweise liegt das Verhältnis von Radon in der Raumluft zu Radon in der Bodenluft bei ca. 1 bis 5 %, d.h. bei einer Aktivitätskonzentration in der Bodenluft von 100 kBq/m<sup>3</sup> könnten Werte im Bereich von 100 bis 500 Bq/m<sup>3</sup> in der Raumluft des Gebäudes auftreten.

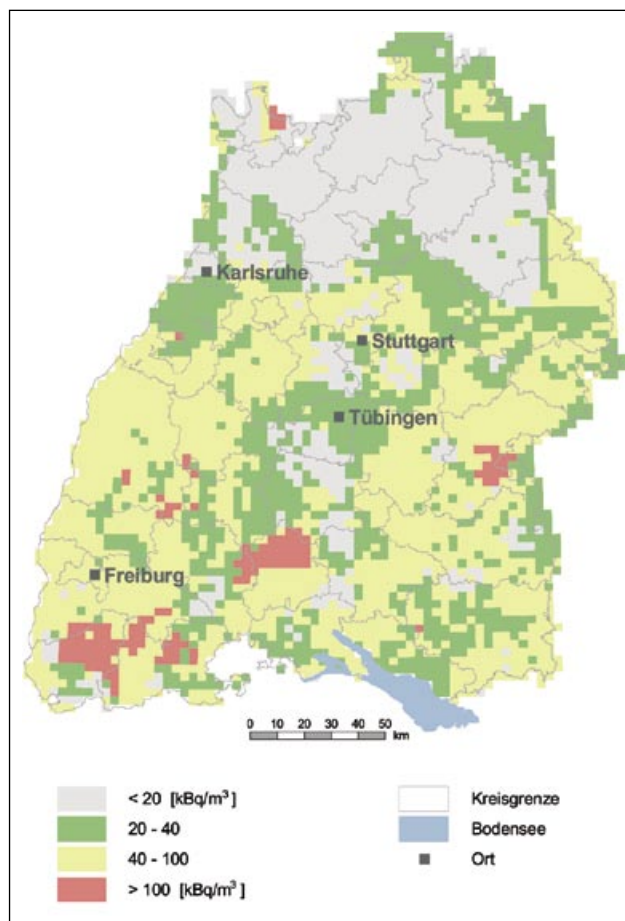


Abb. 11-10: Die Radonkonzentration in der Bodenluft in Baden-Württemberg. Quelle: BFS 2006

Die Karte in Abbildung 11-10 gibt Hinweise darauf, in welchen Regionen bedingt durch erhöhte Radonkonzentration in der Bodenluft mit erhöhten Radonkonzentrationen in der Raumluft zu rechnen ist. In Gebieten, für die nur Radonkonzentrationen in der Bodenluft von weniger als 20 kBq/m<sup>3</sup> prognostiziert wurden, sind erhöhte Radonkonzentrationen in der Raumluft unwahrscheinlich.

### 11.2.3 BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION

Im Jahr 2004 wurden in Deutschland 313 409 Personen während ihrer beruflichen Tätigkeit mit Personendosimetern überwacht. Davon waren rund 77 % im medizinischen Bereich tätig. Die mittlere Jahres-Personendosis aller Überwachten betrug 0,13 mSv. Bei fast 84 % der mit Personendosimetern überwachten Personen lagen die ermittelten Werte unter der kleinsten feststellbaren Dosis von 0,05 mSv im Jahr. Bildet man einen Mittelwert nur für die Überwachten mit einer von Null verschiedenen Jahresdosis, so ergibt sich für diese rund 51 000 Personen eine mittlere Jahres-Personendosis von 0,82 mSv.

Die Betreiber von Flugzeugen ermitteln die durch die erhöhte kosmische Strahlung verursachte Strahlenexposition des fliegenden Personals mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen. In Deutschland wurden im Jahr 2004 auf diese Weise 29 709 Personen überwacht, deren mittlere Jahresdosis 1,94 mSv betrug. Das fliegende Personal ist damit die am höchsten strahlenexponierte Berufsgruppe in Deutschland, weit höher als das beruflich strahlenexponierte Personal aus Industrie, Medizin oder kerntechnischen Anlagen [KOELZER 2006].

#### **INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN**

Alle Messergebnisse aus der Überwachung der baden-württembergischen Umgebung kerntechnischer Anlagen und Einrichtungen auf Radioaktivität werden regelmäßig veröffentlicht. Sie sind somit allgemein zugänglich.

Informationen der LUBW zu Radioaktivität:

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/1204/>

Werte der Kernreaktor-Fernüberwachung:

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de> → Umwelt-Datenbanken und -Karten online → Radioaktivität

Kernenergieaufsicht beim Umweltministerium Baden-Württemberg:

<http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/1566/>

Bundesamt für Strahlenschutz:

<http://www.bfs.de>

Informationen zur Atomenergie und zum Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:

[http://www.bmu.de/ueberblick/atomenergie\\_strahlenschutz/aktuell/35114.php](http://www.bmu.de/ueberblick/atomenergie_strahlenschutz/aktuell/35114.php)

Informationskreis Kernenergie:

<http://www.kernenergie.net/kernenergie/de>

Kernenergielexikon des Forschungszentrums Karlsruhe:

<http://www.fzk.de/kernenergielexikon>

Im Videotext des Fernsehprogramms des Südwestrundfunks werden auf Tafel 196 aktuelle mit der Kernreaktor-Fernüberwachung ermittelte Messwerte der Ortsdosisleistung bekannt gegeben. Tafel 198 enthält ergänzende Informationen zur Radioaktivitätsüberwachung.

# 12 Elektromagnetische Felder

Mit der Einführung der elektrischen Energie hat sich unser Leben nachhaltig positiv verändert. Unser Lebensstandard zu Hause, in der Medizin und der Kommunikation wird durch Elektrizität erst ermöglicht. Mit der Elektrizität einher geht jedoch auch die Verbreitung elektromagnetischer Felder.

Es besteht nach wie vor ein gesellschaftliches Konfliktpotenzial bei den technischen Anwendungen, die elektromagnetische Felder erzeugen. Neben den niederfrequenten Feldern, wie sie z. B. bei der Stromversorgung auftreten, sorgen in stärkerem Maße die hochfrequenten Funkwellen, die bei den modernen Kommunikationstechniken zum Einsatz kommen, für Diskussionen in Teilen der Bevölkerung. Die Besorgnisse über mögliche negative gesundheitliche Auswirkungen richten sich hierbei häufig gegen die Basisstationen des Mobilfunks und weniger gegen die Übertragung von Rundfunk und Fernsehen.

In ihrer Wirkung unterscheiden sich Felder im Niederfrequenzbereich grundlegend von Hochfrequenzfeldern. Dass starke Felder den menschlichen Organismus nicht nur beeinflussen, sondern ihn auch nachhaltig schädigen können, ist wissenschaftlich hinreichend erwiesen. Die in unserer Umwelt und im Wohnbereich vorkommenden elektromagnetischen Felder haben dagegen in der Regel so niedrige Feldstärken, dass solche so genannten „akuten Effekte“ bisher nicht bekannt sind. Folgen möglicher Langzeitwirkungen dieser schwachen elektromagnetischen Felder (biologische Effekte im Niedrigdosisbereich) konnten bisher trotz umfangreicher Untersuchungen wissenschaftlich nicht nachgewiesen werden und sind Gegenstand weiterer intensiver Forschungsarbeiten. Die bisherigen Untersuchungen erlauben jedoch eine gute Beurteilung der Mobilfunktechnologie. Das gilt auch für die sog. „gepulste Strahlung“, wie sie beim Mobilfunk oder bei schnurlosen Telefonen (DECT) zum Einsatz kommt. Näheres hierzu findet sich in der Veröffentlichung „Gepulste Funkwellen – Fakten und Fiktionen“ [LFU 2005].

Insgesamt ist bei der Anwendung und dynamischen Weiterentwicklung neuer Technologien und dem gleichzeitigen Betrieb mehrerer Quellen in der Zukunft Vorsorge geboten. So fordert etwa die Strahlenschutzkommission das Bewusstsein ein, dass die Expositionen ohne Gesundheitsrisiken nicht beliebig steigerbar sind. Es sollte daher der verfügbare

Expositionsbereich als kostbares Gut angesehen werden, das nicht beliebig erweiterbar ist und mit dem verantwortungsbewusst umgegangen werden muss [SSK 2005].

Bei den technischen Anwendungen nutzt der Mensch erhebliche Teile des elektromagnetischen Spektrums (Abb. 12-1). Elektromagnetische Wellen sind ein natürliches Phänomen. Ein für uns bedeutendes Auftreten sind etwa das Sonnenlicht und die Wärmestrahlung. Einige weitere natürliche Phänomene und die damit verbundenen Feldstärken fasst Tabelle 12-1 zusammen.

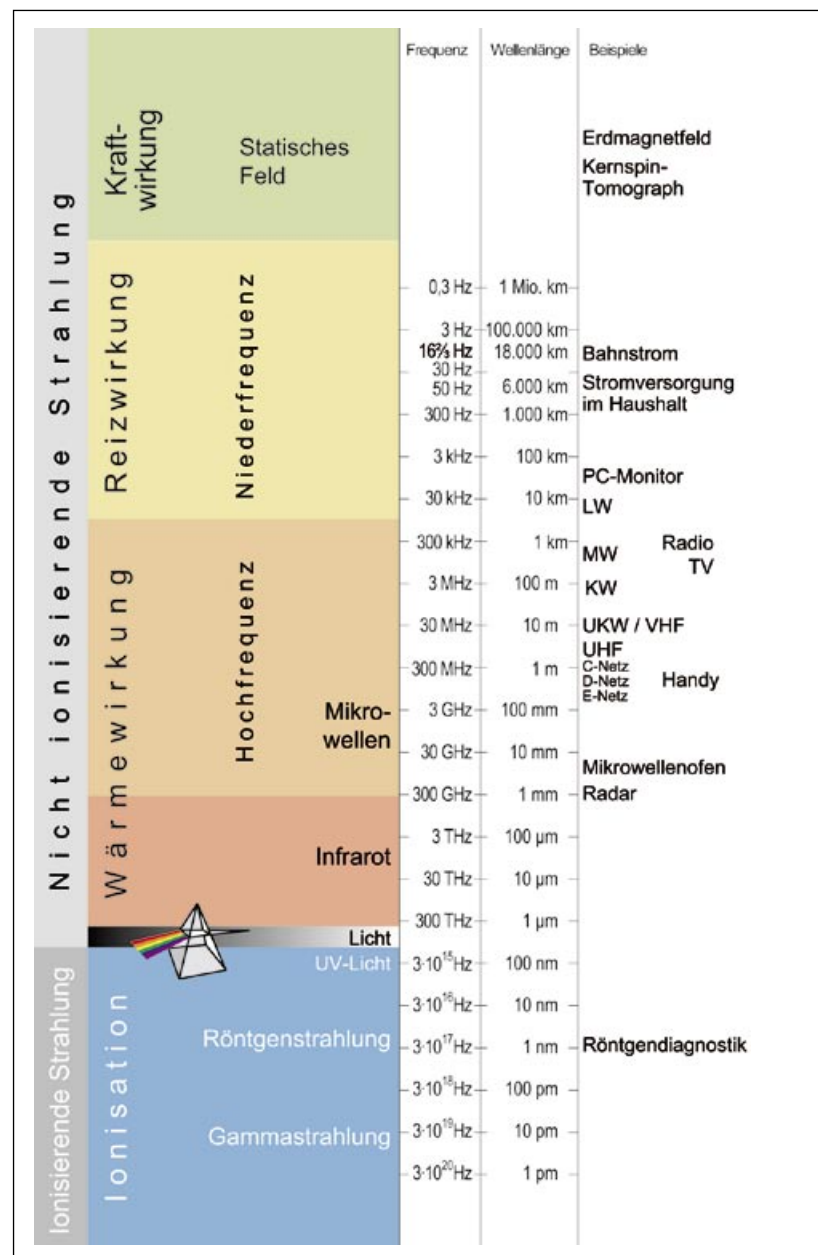


Abb. 12-1: Der physikalische Begriff der elektromagnetischen Welle (bzw. Felder oder Strahlen) umfasst einen weiten Frequenzbereich – hier mit Beispielen technischer Nutzung.

Tab. 12-1: Natürliche elektromagnetische Felder und ihre Feldstärken bzw. Flussdichten. Quelle: LFU 2002

Phänomen	auf tretende elektrische Feldstärken bzw. magnetische Flussdichten
statisches elektrisches Feld zwischen Erdboden und Ionosphäre in 70 km Höhe	130-270 Volt/m
Gewitter	bis 20.000 Volt/m
Spitzen bei der Blitzauslösung	300.000 Volt/m
<b>Statisches Erdmagnetfeld</b>	
-- im Mittel in Baden-Württemberg	30-60 $\mu$ Tesla
Blitznähe	47 $\mu$ Tesla
	1.000 $\mu$ Tesla

## 12.1 HOCHFREQUENTE FELDER

Hochfrequente elektromagnetische Felder werden vor allem zur Übertragung von Informationen verwendet, wie z.B. beim Radio, Fernsehen oder Mobilfunk. Auch Radarsysteme, etwa zur zivilen oder militärischen Flugüberwachung, sind hier zu nennen. Da elektromagnetische Wellen Energie transportieren, lassen sich mit ihnen auch Gegenstände oder Speisen erhitzen. Induktionsöfen, Hochfrequenz-Schweißgeräte oder Mikrowellengeräte sind Beispiele für solche Anwendungen.

### 12.1.1 MOBILFUNK

In den letzten Jahren war es gerade die Anwendung des Mobilfunks, welche trotz aller Besorgnis in einigen Teilen der Bevölkerung eine rasante Steigerung erfahren hat (Abb. 12-2). Gemessen an der Gesamtbevölkerung liegt die Marktdurchdringung in Deutschland mittlerweile bei etwa 90 %. In Deutschland waren Ende des ersten Quartals 2005 insgesamt 86 000 Basisstationen in Betrieb. Davon entfielen 64 000 auf die bisherigen GSM-Netze und 22 000 auf die neuen UMTS-Netze (Universal Mobile Telecommunication System). Mit der Steigerung der Mobilfunknutzer

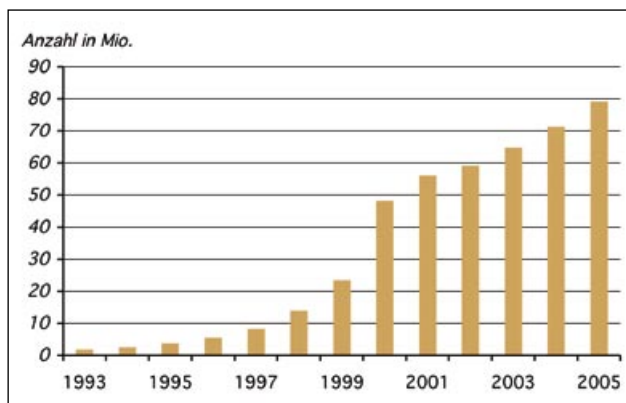


Abb. 12-2: Entwicklung der Mobilfunkteilnehmer in Deutschland von 1993 bis 2005. Quelle: BUNDESNETZAGENTUR 2006

stiegen auch die Gesprächszeiten und die Zahl der Kurzmitteilungen (SMS) (Abb. 12-3).

War bisher die Übertragung auf Sprache oder kurze Textmeldungen beschränkt, so wurde mit der Einführung von UMTS auch die Übertragung bewegter Bilder und mobiles Surfen im Internet Wirklichkeit.

Für einen flächendeckend funktionsfähigen Mobilfunk muss ein Netz mit einer Vielzahl von kleinräumigen, nahtlos aneinander

grenzenden Funkzellen aufgebaut werden. Verantwortlich für die Versorgung einer Funkzelle ist die Basisstation. Die einzelnen Basisstationen sind untereinander und mit der zentralen Vermittlungsstelle des Netzbetreibers über Kabel, Glasfaser oder Richtfunk verbunden. Der Betrieb von Handys ist nur an Orten möglich, die von einer Mobilfunkbasisstation des jeweiligen Netzbetreibers versorgt werden.

Jede Mobilfunkbasisstation deckt je nach ihrer Sendeleistung sowie der sie umgebenden Landschaft und Bebauung Gebiete mit einem Umkreis zwischen einigen hundert Metern und wenigen Kilometern ab. Dabei stehen eingeschaltete Handys und die jeweils nächstgelegene Basisstation nicht ständig miteinander in Funkverbindung. Nach dem Anmeldevorgang geht das Handy in einen Empfangsmodus. Nur etwa alle 30 bis 60 Minuten wird ein Handy, wenn es nicht nennenswert bewegt wird, von der Basisstation zu einer kurzen Meldung aufgefordert. Diese dauert etwa eine Sekunde. Wird ein eingeschaltetes Handy über größere Strecken bewegt, so sendet es automatisch immer dann ein kurzes Signal ab, wenn es die Funkzelle wechselt und eine neue Basisstation für die Verbindung zuständig

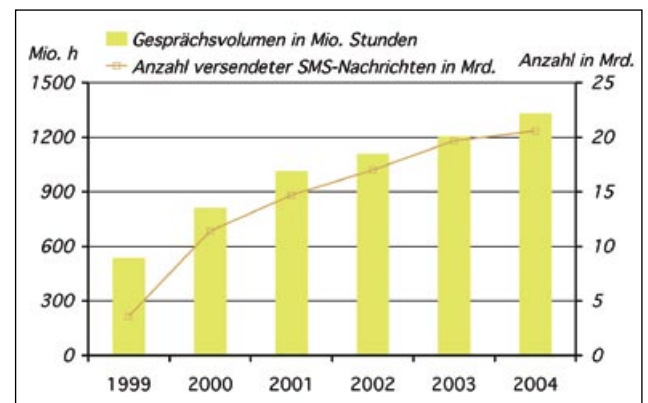


Abb. 12-3: Mobilfunknutzung – Entwicklung der Gesprächszeiten und versendeter SMS-Nachrichten von 1999 bis 2004. Quelle: BUNDESNETZAGENTUR 2006, REGTP 2005

ist. Ein Handy sendet also nur dann, wenn ein Funkzellenwechsel stattfindet, ein Telefongespräch geführt wird oder ein Anruf ankommt. Auch das Senden einer Kurzmitteilung (SMS) benötigt nur ein bis zwei Sekunden.

Als Transportmedium wird ein hochfrequentes Signal benutzt. Um Übertragungskapazität zu gewinnen, erfolgt das Senden nicht im Dauerbetrieb, sondern in zeitlich aufeinander folgenden kleinen Datenpaketen. Das hochfrequente Signal (Trägerfrequenz) bildet zusammen mit der Sprachinformation den Inhalt der Datenpakete. Diese Datenpakete werden in festem zeitlichen Abstand gesendet. Allerdings unterscheiden sich die Signalfolgen beim Handy und bei der Basisstation. Nur in 1/8 der Zeit sendet das Handy, in 7/8 der Zeit sendet es nicht. Bei der Basisstation ist die Signalstruktur kontinuierlicher: Einerseits müssen in der Regel mehrere Handys gleichzeitig angesprochen werden, andererseits sind ständig Signalisierungsaufgaben zu erledigen. Abbildung 12-4 zeigt als Beispiel den Verlauf des elektrischen Feldes auf einem Gebäudedach. Dabei zeigt sich im zeitlichen Verlauf deutlich die Aktivität der nahe gelegenen Mobilfunkbasisstation, welche in der späten Nacht nachlässt. Beim UMTS-Netz wird ein Verfahren zur Datenübertragung verwendet, welches das kontinuierliche Senden sowohl von Handy als auch Basisstation erlaubt.

Die Sendeleistung des Handys und mit Einschränkungen auch die der Basisstation wird in Abhängigkeit von der Verbindungsqualität zwischen Handy und Basisstation gesteuert. Bei schlechter Verbindung ist eine deutlich höhere Sendeleistung erforderlich als bei guter Versorgung. Die Sendeleistungen von Handys liegen im D-Netz bei maximal zwei Watt und im E-Netz bei maximal einem Watt. Die Sendeleistungen von Basisstationen liegen beispielsweise im D-Netz zwischen 10 W (je Kanal) in Wohngebieten und bis zu 50 W (je Kanal) entlang von Autobahnen. Beim UMTS-Netz beträgt die Sendeleistung maximal 20 W (je Kanal). In Tabelle 12-2 sind Frequenzen, typische Sendeleistungen und Expositionen für die einzelnen Netze zusammengestellt.

Mit diesen Sendeleistungen können Funkverbindungen über einige 100 Meter in den Städten und einigen Kilometern in der freien Landschaft erreicht werden. Eine flächendeckende Mo-

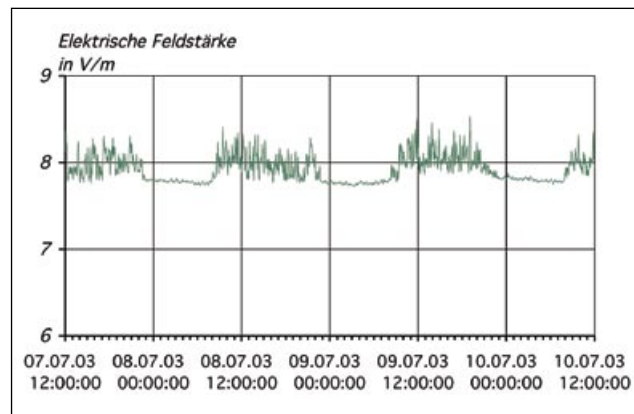


Abb. 12-4: Messung der elektrischen Feldstärke (6-Minuten-Mittelwerte) auf dem Gebäudedach der LUBW, Karlsruhe mittels einer Dauermessstation. Quelle: LUBW/LfU, Stand 2004

bilfunkversorgung erfordert daher eine große Dichte von Basisstationen. Für die Aufstellung der Antennen werden vorrangig höher gelegene Masten oder höhere Gebäude gesucht, damit die einzelnen Basisstationen möglichst abschattungsfrei ihr Versorgungsgebiet abdecken können. In Städten werden Antennen auch an exponierten Orten (z. B. in Litfassäulen oder auf Telefonzellen) errichtet. Handys haben zwar wesentlich niedrigere Sendeleistungen als Basisstationen, die Belastung eines Menschen durch das Handy während eines Gesprächs ist jedoch viel höher. Der Grund hierfür ist der geringe Abstand zwischen Handy-Antenne und dem Kopf des Anwenders.

### 12.1.2 SCHNURLOSE FESTNETZTELEFONE

Schnurlose Festnetztelefone übertragen mit gepulsten Funkwellen im Gigahertzbereich Gespräche zwischen der am Festnetz angeschlossenen Basisstation und einem oder mehreren Mobilteilen. Dabei wird der sog. DECT-Standard (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) verwendet. Die Handgeräte haben je nach Ausbreitungs- und

Tab. 12-2: Frequenzbereiche von Mobilfunk, Schnurlostelefonen und drahtlosen Netzwerken mit typischen Expositionen. Quelle: BFS 2006

Quelle	Frequenz	Abstand	Typische Exposition	Bemerkungen
<b>Mobilfunk</b>				
D-Netz Basisstation	890-960 MHz	50 m	0,06W/m <sup>2</sup>	4 Kanäle je 15 W
D-Netz Handy	890-960 MHz			max. 2 W Spitzenwert
E-Netz Basisstation	1,7-1,88 GHz	50 m	0,04W/m <sup>2</sup>	4 Kanäle je 10 W
E-Netz Handy	1,7-1,88 GHz			max. 1 W Spitzenwert
UMTS Basisstation	2,11-2,17 GHz	50 m	0,04W/m <sup>2</sup>	2 Kanäle je 20 W
UMTS Handy	2,11-2,17 GHz			max. 1 W Spitzenwert
<b>DECT-Telefone</b>				
Basisstation	1,88-1,9 GHz			max. 0,25 W Spitzenwert
Mobilteile	1,88-1,9 GHz	wenige cm	0,1 W/kg (SAR, Kopf)	max. 0,25 W Spitzenwert
<b>WLAN</b>				
	2,4-2,48 GHz			max. 0,1 W
	5,1-5,8 GHz		~ 0,1 W/kg (SAR, Teilkörper)	max. 1 W
<b>Bluetooth</b>				
	2,4-2,48 GHz		~ 0,1 W/kg (SAR, Teilkörper)	max. 0,1 W

Empfangsbedingungen u. U. eine Reichweite von mehreren hundert Metern. Im Gegensatz zu den Handys des Mobilfunks haben Schnurlostelefone keine bedarfsgerechte Leistungsregelung. Sie senden während des Telefonierens immer mit derselben Leistung. Pro Puls sind dies 0,25 W, im Mittel jedoch nur 0,01 W (Tab. 12-2). Zusätzlich sendet die Basisstation – wenn nicht telefoniert wird – ein kontinuierliches Kontrollsignal für das Handgerät aus, dafür werden verkürzte Impulse verwendet. Das Mobilteil hingegen sendet ausschließlich während der Gespräche, also nicht im Empfangsmodus.

### 12.1.3 WLAN UND BLUETOOTH

Für den Aufbau kabelloser Verbindungen zwischen Geräten der Telekommunikation und der Datenverarbeitung werden die modernen Kommunikationstechnologien WLAN (Wireless Local Area Network) und Bluetooth verwendet. Durch WLAN können weitläufige PC-Netzwerke verbunden und externe Arbeitsplätze von Firmen oder Universitäten etc. an das hauseigene Datennetz angeschlossen werden. In öffentlichen Einrichtungen wie Bahnhöfen oder Flughäfen, aber auch in Hotels kann über WLAN ein Zugang zum Internet hergestellt werden.

Bluetooth ist ein Standard für die kabellose Vernetzung von Geräten im Nahbereich, also für kürzere Distanzen. Damit werden Geräte wie PC, Drucker, Funkmaus, Funktastatur etc. vernetzt. Auch die drahtlose Verbindung von Handy und Headset wird damit hergestellt. Die durch Bluetooth oder WLAN erzeugte Strahlung bleibt als Einzelkomponente deutlich unter den Grenzwerten für die spezifischen Absorptionsraten (SAR, Teil- oder Ganzkörper).

Tab. 12-3: Typische Werte der Exposition durch alltägliche Hochfrequenzfelder. Quelle: BFS 2006

Quelle	Frequenz	Abstand	Typische Expositionen	Bemerkungen
Mikrowellenkochgeräte	2,45 GHz	5 cm 30 cm	0,5 W/m <sup>2</sup> < 0,05 W/m <sup>2</sup>	Mittelwert 0,1-1,3 kW Leistung
<b>Radar-Systeme</b>				
Verkehrsradar	9-35 GHz	3 m 10 m	< 250 mW/m <sup>2</sup> < 10 mW/m <sup>2</sup>	Leistung 0,5-100 mW
Wetterradar	1-10 GHz	100 m	10 W/m <sup>2</sup>	in Hauptstrahlrichtung bei 100-250 kW Leistung 0,2 kW bis 2,5 MW Leistung
Flugüberwachungsradar (zivil und militärisch)	1-10 GHz			
Warensicherungsanlagen	1 MHz-10 GHz		< 2 mW/m <sup>2</sup>	im Nutzstrahl
CB-Funk (Antennenanlage)	26,6-27,4 MHz			wenige Watt Leistung
CB-Funk (Handgerät)	26,6-27,4 MHz			~ 4 W Leistung
<b>Rundfunk- und Fernsehsender</b>				
UKW	88-108 MHz	~ 1,5 km	< 50 mW/m <sup>2</sup>	bis 100 kW Leistung
VHF-TV	174-223 MHz	~ 1,5 km	< 20 mW/m <sup>2</sup>	bis 300 kW Leistung
UHF-TV	470-838 MHz	~ 1,5 km	< 50 mW/m <sup>2</sup>	bis 5 MW Leistung
Kurzwelle	4-26 MHz	50 m 220 m	121,5 V/m 27,5 V/m	bei 750 kW Leistung
Mittelwelle	0,526-1,6 MHz	50 m 300 m	450 V/m 90 V/m	bei 1,8 MW Leistung

In Tabelle 12-3 sind für weitere technische Anwendungen von Hochfrequenzfeldern (Mikrowellenkochgeräte, Warensicherungsanlagen im Kaufhaus, CB-Funk, Verkehrsradar, Flugsicherungsradar, Rundfunk- und Fernsehsender u. a.) Daten über Frequenzen und Expositionen zusammengestellt.

### 12.1.4 RUNDFUNK- UND FERNSEHSENDER

In Baden-Württemberg gibt es über 2 000 Standorte mit Rundfunk- und Fernsehsendeanlagen. Dies dient der flächen-deckenden Versorgung der Bevölkerung. Die Gesamtsendeleistung liegt bei rund 10 MW. Eine geringe Anzahl von rund 25 Sendern sendet dabei mit Leistungen von über 100 kW. Dadurch wird die durchschnittliche Exposition der Bevölkerung mit hochfrequenten Funkwellen zu mehr als drei Viertel von den Fernseh- und Rundfunksendern geprägt.

## 12.2 NIEDERFREQUENTE FELDER

Niederfrequente Felder treten z. B. bei Bahnstromanlagen, bei der öffentlichen Stromversorgung und im Haushalt auf. Praktisch überall, wo Elektrizität erzeugt, transportiert oder genutzt wird, entstehen als unvermeidliche Begleiterscheinung elektrische und magnetische Felder. Generell gilt: Je kleiner der Abstand zu den Strom führenden Teilen und je höher Stromstärke und Spannung, desto größer sind die resultierenden Felder.

### 12.2.1 BAHNSTROMANLAGEN

Das elektrische Netz der Deutschen Bahn AG wird mit Wechselstrom der Frequenz 16 2/3 Hz betrieben. Das Netz besteht aus etwa 12 000 km Oberleitungen mit 15-kV-Versorgungsspannung und einem etwa 5 500 km langen eigenen Hochspannungsnetz mit 110-kV-Freileitungen, die häufig entlang der Bahntrassen verlaufen. Die strombetriebenen

Züge werden dabei über die Oberleitung versorgt. Als Rückleiter dienen die (geerdeten) Schienen. Durch den relativ großen Abstand von Hin- und Rückleitung kompensieren sich die gegengerichteten magnetischen Felder nicht in dem Umfang, wie dies etwa bei Hochspannungsfreileitungen der Fall ist. Insgesamt nimmt die Feldstärke daher mit dem Abstand langsamer

ab als dort. Messungen der LUBW ergaben an der Oberhaintalstrecke im Abstand von 30 Metern Werte unterhalb von  $0,2 \mu\text{T}$  (24-h-Mittelwert). Die Stärke des elektrischen Feldes beträgt direkt unterhalb der Stromzuführung, z. B. an einem Bahnübergang, rund  $1\,500 \text{ V/m}$ . Im Gegensatz zum magnetischen Feld, welches nur beim Fahrbetrieb auftritt, ist das elektrische Feld ständig vorhanden.

### 12.2.2 STROMVERSORGUNGSNETZ

Für den Betrieb der Stromnetze in Deutschland sind rund 900 Stromversorgungsunternehmen verantwortlich. Diese betreiben ein weit verzweigtes Transport- und Verteilernetz mit Leitungen von mehr als 1,65 Mio. km Länge. Die Stromversorger haben aus Gründen der Versorgungssicherheit sowie aufgrund behördlicher Auflagen immer mehr Leitungen unterirdisch verlegt. Der Anteil solcher Erdkabel beträgt mittlerweile insgesamt 71 % (Stand 2004), der größte Anteil davon liegt im Niederspannungs- und Mittelspannungsbereich.

Für die Versorgung mit elektrischer Energie wird Drehstrom mit einer Frequenz von 50 Hz eingesetzt. 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 rund 107 000 km. Hinzu kommen noch ca. 4 600 km Hochspannungserdkabel vorwiegend im Bereich von Städten. In der Nähe der Städte transformieren Umspannwerke den Strom auf die Mittelspannungsebene von meist 10 kV oder 20 kV herunter. Die Mittelspannungsnetze wiederum versorgen kommunale Versorgungsnetze und Gewerbe- und Industriebetriebe, in denen der Strom in Niederspannungs-Netzstationen auf die Niederspannungsebene von 400 V bzw. 230 V transformiert wird und letztlich bei privaten und gewerblichen Endverbrauchern ankommt.

Im Bereich der Stromversorgung treten die stärksten Belastungen in unmittelbarer Nähe von Transformatorstationen und Hochspannungsleitungen auf. Bei Transformatoren treten höhere Magnetfeldstärken nur bei der Niederspannungsableitung und auch nur unmittelbar

an der Außenwand auf. So hat die LUBW 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 herunter transformiert wird, Werte für die magnetische Flussdichte bis zu  $200 \mu\text{T}$  direkt an der Wand gemessen. In zwei Meter Abstand traten jedoch nur noch maximal  $1,2 \mu\text{T}$  auf.

Bei Hochspannungsfreileitungen werden die auftretenden Feldstärken oftmals berechnet, dabei 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 Stärke des Magnetfeldes deutlich niedriger (etwa um den Faktor drei). Die magnetische Flussdichte in Bodennähe und nahe an einer Hochspannungsfreileitung (Abb. 12-5) hängt u. a. von der Stromstärke, der Leiteranordnung, dem Abstand der Leiter untereinander, der Phasenbelegung und insbesondere der Entfernung von den Leiterseilen ab. Messungen der LUBW an einer 380kV-Versorgungsleitung zeigten tageszeitliche Schwankungen der magnetischen Flussdichte, die im Mittel bei etwa  $1 \mu\text{T}$  lagen, gemessen einen Meter über dem Boden in 50 Meter Entfernung.

Die elektrische Feldstärke in der Nähe von Hochspannungsfreileitungen (Abb. 12-6) ist in Bodennähe 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.

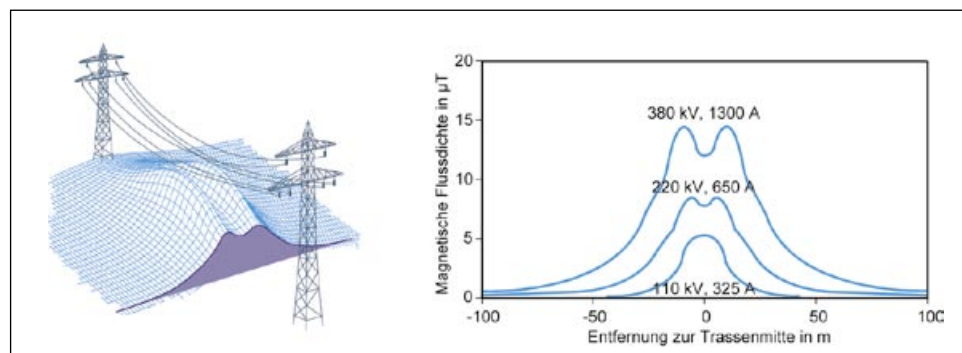


Abb. 12-5: Magnetische Flussdichte (in  $\mu\text{Tesla}$ , in 1 Meter Höhe) als räumlicher Verlauf und in Zahlenwerten bei verschiedenen Freileitungen des Hoch- und Höchstspannungsbereiches. Quelle: LUBW 2006



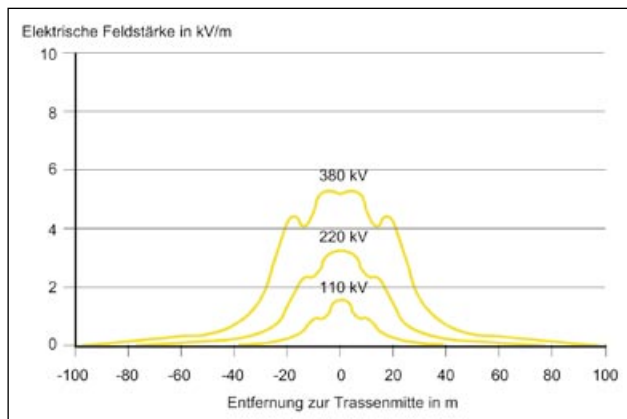


Abb. 12-6: Elektrische Feldstärke (in kV/m, in 1 Meter Höhe) bei verschiedenen Freileitungen des Hoch- und Höchstspannungsbereiches. Quelle: LUBW 2006

### 12.2.3 HAUSHALT

In den meisten Wohnungen werden die auftretenden Feldstärken nicht durch externe Emissionsquellen geprägt. Größte Belastungsquelle sind hier vielmehr die im eigenen Haushalt betriebenen Elektrogeräte und die fest installierten elektrischen Hausinstallationen (Verteil- und Sicherungskästen, Stromleitungen, Steckdosen).

Quellen relativ starker Magnetfelder im Haushalt können Geräte zur Wärmeerzeugung mit hohem Stromverbrauch sein (z. B. Herd) oder Geräte mit Trafo oder Magnetspulen (Radiowecker, Halogenlampen, Fernseher) sowie Geräte mit einem elektrischen Motor (Staubsauger, Bohrmaschine, Mixer, Fön). Insbesondere bei kontinuierlichem Betrieb von Geräten sollte daher auf genügenden Abstand zu Daueraufenthaltsorten geachtet werden. Die Felder nehmen mit der Entfernung sehr schnell ab. Tabelle 12-4

Tab. 12-4: Magnetfelder durch Elektrogeräte im Haushalt. Quelle: BUWAL 2005

Gerät	Magnetfeld in $\mu$ Tesla		
	in 3 cm Abstand	in 30 cm Abstand	in 1 m Abstand
Elektroherd	1-50	0,15-8	0,01-0,04
Kühlschrank	0,5-2	0,01-0,3	0,01-0,04
Kaffeemaschine	1-10	0,1-0,2	0,01-0,02
Handmixer	60-700	0,6-10	0,02-0,25
Toaster	7-20	0,06-1	0,01-0,02
Haarfön	6-2000	0,1-7	0,01-0,3
Elektrorasierer	15-1500	0,08-9	0,01-0,3
Bohrmaschine	400-800	2-3,5	0,08-0,2
Elektrosäge	250-1000	1-25	0,01-1
Staubsauger	200-800	2-20	0,1-2
Waschmaschine	0,08-50	0,15-3	0,01-0,15
Wäschetrockner	0,3-8	0,1-2	0,02-0,1
Bügeleisen	8-30	0,1-0,3	0,01-0,03
Radiowecker	3-60	0,1-1	0,01-0,02
el. Heizdecke	bis 30		
Fernseher	2,5-50	0,04-2	0,01-0,15
el. Fußbodenheizung		0,1-8	
el. Heizofen	10-180	0,15-5	0,01-0,25
Glühlampe	0,1-0,2		
Energiesparlampe m. Vorschaltgerät	1	0,1	
Halogen-Schreibtischlampe	25-80	0,5-2	
Niedervolt Halogenbeleuchtungssystem			bis 0,3

stellt eine Reihe von alltäglichen Geräten mit Felddaten bei verschiedenen Abständen dar.

## 12.3 STATISCHE FELDER

Im Gegensatz zu den mit unterschiedlicher Frequenz schwankenden Feldern der vorangehenden Abschnitte treten auch statische Felder (Gleichfelder) auf. So ist etwa das erwähnte natürliche Feld zwischen dem Erdboden und höheren Atmosphärenschichten, welches aufgrund der herrschenden Potentialdifferenz entsteht, ein statisches elektrisches Feld (Tab. 12-1). Technische Anwendungen finden sich bei Straßen- und S-Bahnen im öffentlichen Personennahverkehrsnetz. Diese werden größtenteils bei einer Fahrdrachtspannung von 750 V betrieben. Im Fahrzeuginneren tritt dabei lediglich ein magnetisches Feld auf (Größenordnung  $100 \mu$ T), das elektrische Feld wird nahezu vollständig abgeschirmt (sog. Faradayscher Käfig). Die Stärke des magnetischen Feldes kann dabei recht unterschiedlich sein.

Andere künstliche Gleichfelder spielen eine 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. an Arbeitsplätzen in der elektrochemischen Industrie oder in der Medizin. Im letzteren Fall tritt die Exposition auch bei Patienten auf. Während der Untersuchung mittels Kernspin-Tomographen treten magnetische Felder von über 4 T, entsprechend 4 Mio.  $\mu$ T, auf. Das Bedienpersonal ist dabei noch bis zu 0,1 T ausgesetzt. Die Schwelle für messbare Veränderungen im menschlichen Elektrokardiogramm (EKG) liegt bei etwa 0,3 T.

## 12.4 GRENZWERTE

In Deutschland wurde 1996 zum Schutz der Bevölkerung vor der Einwirkung elektromagnetischer Felder, die von Nieder- und Hochfrequenzanlagen ausgehen, die Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) erlassen. Die Verordnung legt verbindliche Grenzwerte für den Gesundheitsschutz fest, die auf international anerkannten Empfehlungen basieren. Damit ist sichergestellt, dass diese Grenzwerte in Bereichen, die der Bevölkerung zugänglich sind, eingehalten werden. Diese Grenzwerte wurden inzwischen mehrfach bestätigt (Richtlinie der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisie-

renden Strahlen ICNIRP 1998, EU-Rats-Empfehlung 1999, Empfehlung der Strahlenschutzkommission 2001).

Die Verordnung enthält Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb von Niederfrequenz- und Hochfrequenzanlagen. Sie gilt für ortsfeste Anlagen, die gewerblichen Zwecken dienen oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen Verwendung finden und nicht einer Genehmigung nach § 4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes bedürfen. Im Niederfrequenzbereich regelt die Verordnung die Frequenzen von 16 2/3 Hz und von 50 Hz. Im Hochfrequenzbereich gilt sie für Anlagen mit einer Sendefrequenz zwischen 10 und 300 000 MHz und einer Sendeleistung von mindestens 10 W. 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 (Tab. 12-5 und 12-6) eingehalten werden. Nicht einbezogen sind Rundfunksender der Lang-, Mittel- und Kurzwelle. Für die hier wesentlichen Frequenzbereiche von 0,1 bis 10 MHz kann auf die Empfehlung der Strahlenschutzkommission vom September 2001 zurückgegriffen werden.

Die Einschränkung auf wirtschaftlich bzw. gewerblich genutzte Anlagen bedeutet, dass alle Anlagen, die solchen Zwecken nicht dienen (z. B. Amateurfunk), nicht unter die 26. BImSchV fallen. Auch nicht ortsfeste Anlagen (z. B. elektrische Geräte und Handys) werden von der 26. BImSchV nicht erfasst. Bevor ortsfeste Funksendeanlagen in Betrieb gehen, muss dies der zuständigen Behörde angezeigt werden. Voraussetzung für die Anzeige ist eine Standortbescheinigung der Bundesnetzagentur, die diese Anlagen auch überwacht. Diese Bescheinigung legt Leistungsbeschränkungen und Abstrahlwinkel mit den daraus sich ergebenden Sicherheitsabständen zu allgemein zugänglichen Bereichen verbindlich fest.

Der Exposition durch elektromagnetische Felder kann sich heutzutage niemand mehr entziehen. Vereinzelt Studien, bisher nicht wissenschaftlich bestätigt, sehen Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen bei Intensitäten von nieder- und hochfrequenten Feldern unterhalb der gültigen Grenzwerte, die zu Beunruhigungen in der Bevölkerung führen. Nationale wie internationale Organisationen nehmen diese Hinweise sehr ernst. Bund und Länder unterstützen weiterhin die Forschung, um mögliche biologische

Tab. 12-5: Grenzwerte für Niederfrequenzanlagen nach der 26. BImSchV.

Frequenz	Elektrische Feldstärke Effektivwert in kV/m	Magnetische Flussdichte Effektivwert in $\mu\text{T}$
50 Hz	5	100
16 2/3 Hz	10	300

Tab. 12-6: Grenzwerte für Hochfrequenzanlagen nach der 26. BImSchV. Der Grenzwert ist teilweise von der Frequenz  $f$  abhängig (Wurzelfunktion).

Frequenz in MHz	Effektivwert der Feldstärke, quadratisch gemittelt über 6-Minuten-Intervalle	
	Elektrische Feldstärke in V/m	Magnetische Feldstärke in A/m
10 - 400	27,5	0,073
400 - 2000	$1,375\sqrt{f}$	$0,0037\sqrt{f}$
2000 - 300000	61	0,16

Wirkungen zu untersuchen und insbesondere deren gesundheitliche Relevanz abschätzen zu können. Im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms werden die biologischen Wirkungen des Mobilfunks wissenschaftlich weiter untersucht.

Nach aktuellen Studien liegt die Exposition der Bevölkerung mit niederfrequenten Magnetfeldern, wie sie von feststehenden Niederfrequenzanlagen sowie von Haushaltsgeräten emittiert werden, im Mittel weit unter den gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten. Bei vereinzelt statistischen Untersuchungen wurde jedoch bei niederfrequenten Magnetfeldern unterhalb der Grenzwerte eine geringfügig erhöhte statistische Signifikanz für Kinderleukämie beobachtet. Allerdings ist es bisher in Tierversuchen nicht gelungen, Krebserkrankungen durch niederfrequente Magnetfelder hervorzurufen. Obwohl nicht klar ist, ob tatsächlich ein Zusammenhang zwischen Magnetfeldern und Krebs besteht, hat die WHO (Weltgesundheitsorganisation) im Jahr 2002 niederfrequente Magnetfelder als möglicherweise krebserregend (Gruppe 2b) eingestuft (in dieser Gruppe befinden sich z. B. auch Kaffee und sauer eingelegtes Gemüse). Aus Vorsorgegründen sollten deshalb Wohnnutzungen im direkten unmittelbaren Einzugsbereich von Hochspannungsleitungen vermieden werden.

Die Einhaltung der Grenzwerte von fest stehenden Hochfrequenzanlagen wird, wie oben dargestellt, in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Bundesnetzagentur nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften geprüft. In verschiedenen Messkampagnen wurde gezeigt, dass die Grenzwerte in den Bereichen, in denen sich Menschen aufhalten, erheblich unterschritten werden.

## 12.5 FUNKWELLENMESSPROJEKT

Die ehemalige Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg hat in den Jahren 2001 bis 2003 im Rahmen eines umfangreichen Messprogramms die Einwirkungen durch Funkwellen in vier repräsentativen Gebieten Baden-Württembergs flächenhaft an fast 900 Messpunkten erfasst. Über die tatsächliche Exposition der Bevölkerung durch hochfrequente elektromagnetische Felder lagen davor noch keine repräsentativen Daten vor. Bei dem Messprogramm wurden in vier Gebieten Baden-Württembergs alle wesentlichen Funkanwendungen im Frequenzbereich von 9 kHz bis 3 GHz, insbesondere Rundfunk, Fernsehen und Mobilfunk, abgedeckt. Die Messpunkte befanden sich auf einem regelmäßigen Raster von 2 x 2 km. Gemessen wurde im Freien in 1,50 m Höhe über Grund. Die Messungen deckten etwa 10 % der Landesfläche ab und umfassten 143 Gemeinden, in denen etwa ein Drittel der Bevölkerung des Landes lebt.

Die Immissionen wurden anhand der Empfehlung des Europäischen Rates 1999/519/EG bewertet. Die Messergebnisse wurden zu den dort aufgeführten Werten für die Feldstärken ins Verhältnis gesetzt. Diese entsprechen den Grenzwerten der in Deutschland geltenden Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV); die EU-Ratsempfehlung umfasst jedoch einen größeren Frequenzbereich. Nach dem allgemein anerkannten biologischen Wirkungsmodell können die im menschlichen Körper aufgenommenen elektromagnetischen Wellen oberhalb einer Frequenz von 100 kHz je nach Stärke zu einer Temperaturerhöhung führen (thermische Wirkung). Für den Frequenzbereich unter 10 MHz sind neben der thermischen Wirkung auch die ausgelösten Körperströme zu betrachten. Beide Effekte wurden bei der Auswertung berücksichtigt. Hierzu wurden die Einzelbeiträge jeder

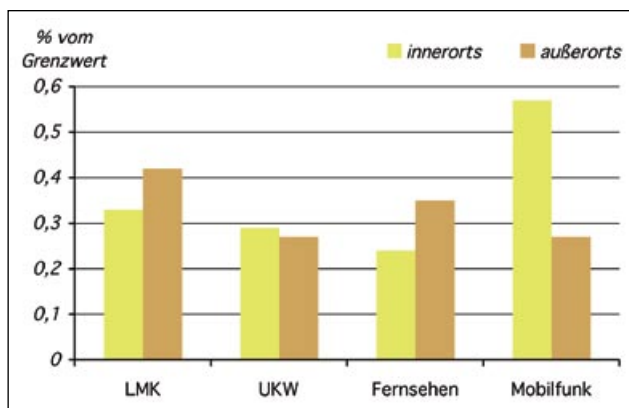


Abb. 12-7: Beiträge von Rundfunk, Fernsehen und Mobilfunk innerorts und außerorts im Vergleich.  
Quelle: LFU 2003

Frequenz wirkungsgerecht aufsummiert. Das größere der beiden Ergebnisse (thermische Wirkung einerseits, Körperströme andererseits) wurde als Gesamtmission festgehalten. Die Ergebnisse sind in Prozent vom Grenzwert (Grenzwertausschöpfung) angegeben.

Die Einwirkungen durch elektromagnetische Felder lagen im landesweiten Durchschnitt bei etwa einem Hundertstel des Grenzwertes. An 60 % der Messpunkte war dieser Wert unterschritten. An acht Punkten war die Grenzwertausschöpfung größer als 5 %. Kein Einzelwert lag über 10 % des Grenzwertes.

Neben dem Abstand zu den Sendeanlagen bestimmt vor allem die Sendeleistung die Höhe der Feldstärken. Die höchsten Einzelwerte wurden überwiegend durch leistungsstarke Rundfunk- und Fernsehsender verursacht. Einwirkungen von 2 % des Grenzwertes oder mehr ergaben sich nur in unmittelbarer Sendernähe. Beim Mobilfunk können solche Werte nur bis zu wenigen hundert Metern Entfernung von der Sendeanlage auftreten, wenn Sichtverbindung zu den Sendeanlagen besteht. Die Abstrahlcharakteristik der Antennen, die meist auf Masten, Gebäudedächern oder Türmen montiert sind, minimiert die Immissionen in Bodennähe. Innerorts war der Beitrag des Mobilfunks zu den Einwirkungen durch elektromagnetische Felder meist größer als der Beitrag durch Rundfunk und Fernsehen. Außerorts war es gerade umgekehrt, da sich die Sendeanlagen für Rundfunk und Fernsehen in der Regel außerhalb geschlossener Ortschaften auf Bergen oder hohen Sendetürmen befinden. Abbildung 12-7 zeigt die durchschnittlichen Beiträge der einzelnen Funkdienste innerorts und außerorts im Vergleich.

Insgesamt dominierten Rundfunk (Lang-, Mittel- und Kurzwelle = LMK sowie UKW) und Fernsehen an 80 % aller Messpunkte. Die Einwirkungen durch diese Funkdienste lagen im Landesdurchschnitt bei rund 0,8 % des Grenzwertes. Gemittelt über alle Messpunkte betrug der Anteil des Mobilfunks an den Gesamtmissionen etwa ein Fünftel. Dabei schöpfte der Mobilfunk den Grenzwert im Durchschnitt über alle Messpunkte nur zu rund 0,3 % aus. Abbildung 12-8 veranschaulicht die durchschnittliche Grenzwertausschöpfung und den Anteil der einzelnen Funkdienste an der Gesamtmission.

Die Ergebnisse aus den Untersuchungsgebieten Mannheim-Heidelberg (161 Messpunkte), Freiburg (76 Messpunkte), Stuttgart (577 Messpunkte) und Oberschwaben (81 Mess-

punkte) zeigt Abbildung 12-9. Darin sind die jeweiligen Gesamtmissionen an den Messpunkten dargestellt, aufgeteilt in vier Klassen nach Anteil der Grenzwertausschöpfung. Die Verteilungen sind sich relativ ähnlich. Der höchste gemessene Einzelwert lag im Raum Mannheim-Heidelberg bei 4 % des Grenzwertes (Ursache: Mobilfunkbasisstation), in Freiburg bei knapp 10 % (Ursache: Rundfunksender). Im Raum Stuttgart lagen sechs Werte zwischen 5,6 und 8,7 % des Grenzwertes (Ursache: Rundfunk- und Fernsehsender, in einem Fall Mobilfunkbasisstation). In Oberschwaben lag der höchste gemessene Wert bei 7 % und wurde durch einen Rundfunksender verursacht.

### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Informationen der LUBW zum Thema elektromagnetische Felder, Mobilfunk etc.:

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/1194/>

Projektbeschreibung und Ergebnisse der einzelnen Messpunkte des Funkwellenmessprojekts:

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/4704/>

Veröffentlichungen des Umweltministeriums und der LUBW zum Thema Elektromagnetische Felder, Mobilfunk etc.:

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/6515/>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:

[http://www.bmu.de/strahlenschutz/elektromagnetische\\_felder/infos/doc/20063.php](http://www.bmu.de/strahlenschutz/elektromagnetische_felder/infos/doc/20063.php)

Bundesamt für Strahlenschutz:

<http://www.bfs.de/elektro>

EMF-Monitoring/EMF-Datenbank (Online-Recherche von Messreihen und ortsfesten Funkanlagen):

<http://emf.bundesnetzagentur.de/gisinternet/index.aspx?User=1000&Lang=de>

Forschungszentrum für Elektromagnetische Umweltverträglichkeit:

<http://www.femu.rwth-aachen.de>

Forschungsgemeinschaft Funk e.V.:

<http://www.fgf.de>

Aktuelle Informationen über die Strahlenbelastung von Handy-Modellen:

<http://www.handywerte.de>

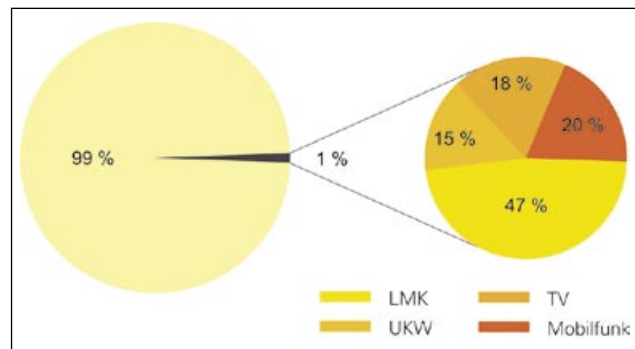


Abb. 12-8: Durchschnittliche Grenzwertausschöpfung aller Funkdienste zusammen (links) und über alle Messpunkte gemittelter Anteil der einzelnen Funkdienste an den Gesamtmissionen. Quelle: LFU 2003

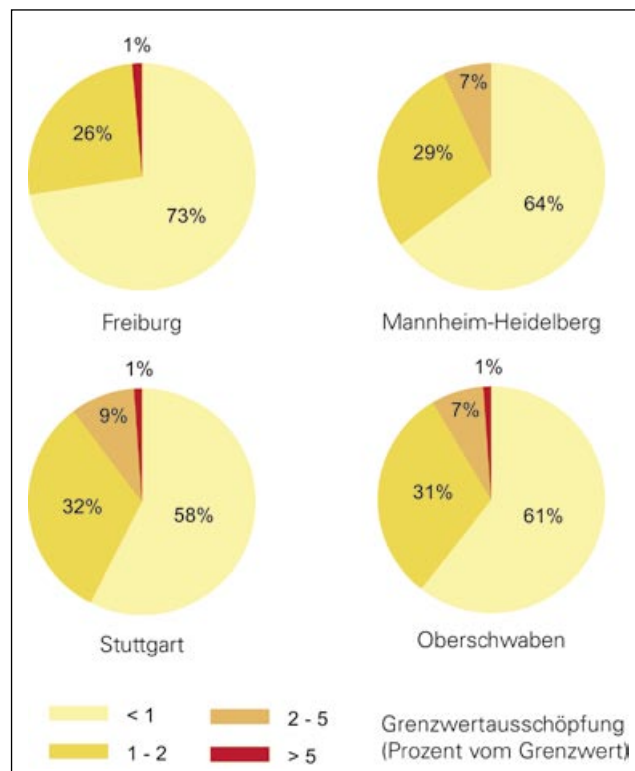


Abb. 12-9: Verteilung der Gesamtmissionen in den vier Untersuchungsgebieten. Quelle: LFU 2003

Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU, ehem. BUWAL):

[http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg\\_nis/index.html](http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_nis/index.html)

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection):

<http://www.icnirp.de>

Weltgesundheitsorganisation (WHO) „International EMF Project“:

<http://www.who.ch/peh-emf>

# 13 Altlasten

Weit über 100 Jahre Produktion, Verarbeitung und Konsum von industriellen und gewerblichen Produkten und die Beseitigung entstandener Abfälle haben ihre Spuren im Boden und Grundwasser hinterlassen. Gefährliche Stoffe sind dabei durch Unkenntnis und Nachlässigkeit, manchmal auch durch bewusstes Handeln im Untergrund versickert und entsorgt worden. Die wichtigsten Schadstoffgruppen sind in diesem Zusammenhang chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW), Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole (BTEX), Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW), polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Schwermetalle, polychlorierte Biphenyle (PCB).

Anfang der 1970er Jahre gab es im Land etwa 4 500 Müllkippen und ca. 300 industrieeigene Ablagerungen bzw. Schlammteiche, deren Gefahren allmählich ins Bewusstsein von Öffentlichkeit, Politik und Verwaltung traten. Gegen Ende der 1970er Jahre wurden in Baden-Württemberg

zudem die ersten Grundwasserverunreinigungen mit leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffen bekannt. Schnell wurde klar, dass ehemalige Müllkippen, „wilde“ Ablagerungen und stillgelegte Industrieanlagen Hinterlassenschaften sind, die für Mensch und Umwelt gefährlich werden können. Seit rund 20 Jahren ist das Land damit beschäftigt, diese Sünden der Vergangenheit zu erkennen und zu beseitigen.

Grundlage der Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg war zunächst die am 17. Oktober 1988 vom Ministerrat beschlossene „Konzeption zur Behandlung altlastverdächtiger Flächen und Altlasten in Baden-Württemberg“. Diese Konzeption hat zur Bewältigung des Altlastenproblems als politische Willensäußerung ein stufenweises Vorgehen wegweisend dargestellt. Gleichzeitig wurden damit die fachlichen Grundlagen für die Altlastenbearbeitung und ein Finanzierungskonzept für Baden-Württemberg entwickelt.

Die heutige Altlastenbearbeitung stützt sich auf die rechtlichen Vorgaben des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) vom 17. März 1998 und des Landes-Bodenschutz- und Altlastengesetzes (LBodSchAG) von 14. Dezember 2004. Der Begriff „Altlasten“ ist im BBodSchG definiert und beschreibt ehemalige Mülldeponien (Altablagerungen) sowie ehemals industriell oder gewerblich genutzte Grundstücke (Altstandorte), auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen wurde und von denen heute Gefahren für den Menschen oder die Umwelt ausgehen können. Im BBodSchG werden unter anderem die Aufgaben und Pflichten der Behörden zur Behandlung altlastverdächtiger Flächen und Altlasten formuliert. Die Bearbeitung ist in drei Stufen unterteilt: beginnend mit der Erfassung von Verdachtsflächen schließen sich im Rahmen der Gefährdungsabschätzung technische Untersuchungsschritte und gegebenenfalls die Durchführung von Sanierungs- oder Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen an. Erst wenn sich der Verdacht durch Untersuchungen bestätigt hat, werden altlastverdächtige Flächen zu Altlasten. Das Vorgehen zur Untersuchung und Sanierung ist im Bundesgesetz einheitlich vorgeschrieben. Die Erfassung ist Angelegenheit der Bundesländer und im LBodSchAG geregelt.

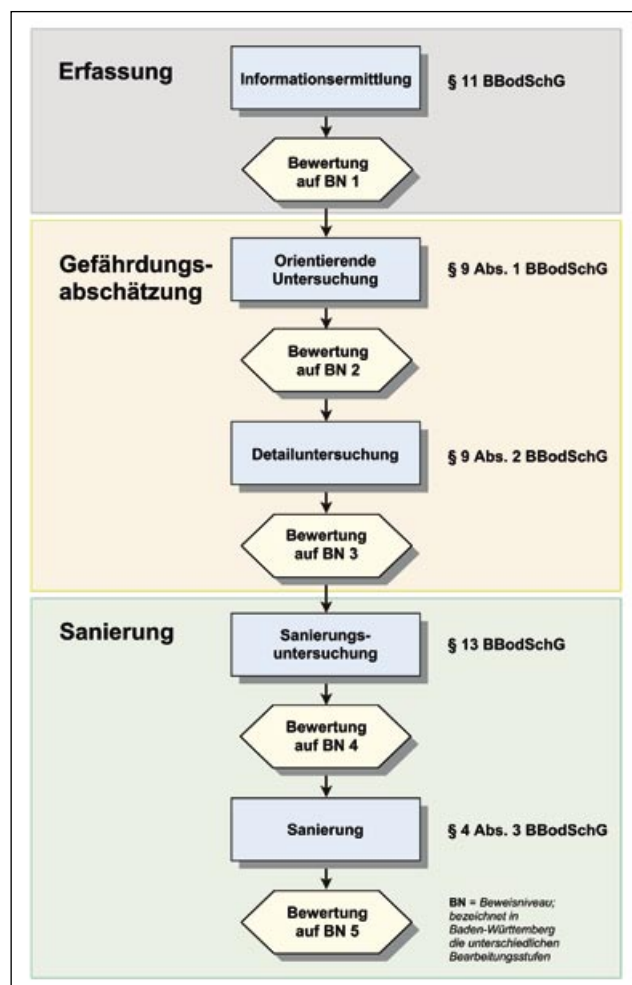


Abb. 13-1: Ablauf der stufenweisen Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg.

auszugehen, dass zur Aufarbeitung der verbliebenen Altlasten noch weitere 20 bis 30 Jahre erforderlich sind. Die Gesamtkosten hierfür werden mit 1 bis 1,5 Mrd. Euro veranschlagt. Dies verdeutlicht, dass ein langer Atem und eine weiterhin ausreichende finanzielle Ausstattung zur Bewältigung der Altlastenproblematik erforderlich sind.

### 13.1 ERFASSUNG

Baden-Württemberg hat in den Jahren 1988 bis 2002 erstmals flächendeckend alle altlastverdächtigen Flächen erfasst. Da alle ganz oder zum Teil stillgelegten Betriebe, sofern sie einer altlastrelevanten Branche angehören, als altlastverdächtige Flächen überprüft werden müssen, finden in regelmäßigen Abständen Nacherfassungen statt, um die Aktualität und damit die Planungs- und Rechtssicherheit weiterhin sicherzustellen. Verantwortlich sind dafür die unteren Bodenschutz- und Altlastenbehörden der Stadtkreise und der Landratsämter, die im Rahmen der systematischen Altlastenbearbeitung alle Flächen, bei denen aufgrund der Aktenlage oder sonstiger Hinweise Anhaltspunkte für das Vorliegen einer Altlast bestehen, flurstücksgenau im Altlastenkataster erfassen.

Die LUBW wertet die Daten der 44 Stadt- und Landkreise landesweit statistisch aus. Bis Ende 2005 wurden danach insgesamt rund 86 000 Flächen erfasst (Abb. 13-2). Davon konnten bisher rund 31 000 Fälle ohne Altlastenverdacht ausgeschieden werden. Im Altlastenkataster des Landes sind Ende 2005 13 000 Flächen erfasst; davon sind 11 500 Flächen als altlastverdächtig eingestuft, 1 502 Flächen stehen als Altlasten fest. Bei 2 000 ehemaligen Müllkippen und Industrieabfalldeponien sowie 8 000 kontaminierten Industrie- und Gewerbegrundstücken wird das Gefährdungspotenzial näher untersucht. Bis Ende 2005 konnten 1 500 Sanierungen abgeschlossen werden, bei weiteren 600 Flächen wurde bereits ein Sanierungsbedarf festgestellt. Aus den Fällen, die derzeit und in den nächsten Jahren noch zu untersuchen sind, werden weitere Sanierungen resultieren. 800 Altlasten sind abschließend untersucht, müssen aber aus Gründen der Verhältnismäßigkeit nicht saniert werden. Etwa 100 Fälle werden im Rahmen der Nachsorge von Sanierungsmaßnahmen mit regelmäßigen Kontrolluntersuchungen überwacht.

Das Bodenschutzkataster enthält Ende 2005 42 000 Flächen. Es handelt sich dabei um Flächen, die vor den bundesgesetzlichen Regelungen vorsorglich ohne konkrete Hinweise auf Schadstoffeinträge in den Boden dokumen-

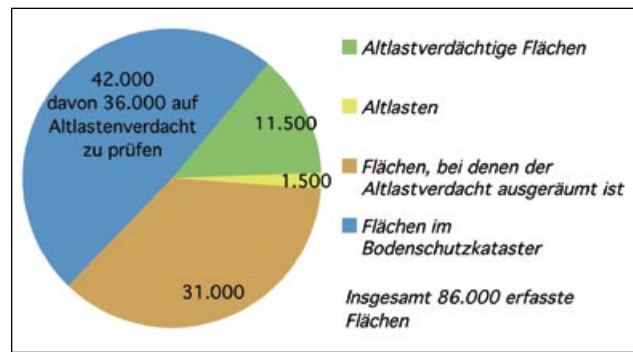


Abb. 13-2: Aufteilung der im Zuge der Altlastenbearbeitung erfassten Flächen. Quelle: LUBW, Stand 12/2005

tiert wurden, da ein Verdacht nicht vollständig ausgeschlossen werden konnte. Derzeit müssen davon noch rd. 36 000 Fälle im Zuge der Nacherfassung nach und nach auf konkrete Anhaltspunkte für das Vorliegen einer Altlast überprüft werden. Nach den bisherigen Erfahrungen dürften ca. 15 % ohne Altlastenverdacht ausgeschieden werden. Weitere 60 %, die rechtlich nicht als Altlasten einzustufen sind, werden weiterhin im Bodenschutzkataster geführt, da bei Baumaßnahmen entsorgungsrelevantes Bodenmaterial anfallen kann. Aufgrund günstiger Expositionsverhältnisse, wie z. B. Versiegelung, wird bei ca. 10 % derzeit kein Handlungsbedarf erwartet, obwohl es sich um altlastverdächtige Flächen handelt. Ein weiterer Untersuchungsbedarf dürfte sich für ca. 15 % der Flächen ergeben, von denen ein Bruchteil zu sanieren sein wird.

Abbildung 13-3 zeigt die punktuelle Verteilung der Altablagerungen und Altstandorte im Land. Deutlich sieht man eine Häufung in den stark industriell geprägten Gebieten wie im Großraum Stuttgart oder im Rhein-Neckar-Kreis. Altlastverdächtige Flächen und festgestellte Altlasten umfassen insgesamt etwa eine Fläche von 200 km<sup>2</sup> oder 5,6 % der Landesfläche von Baden-Württemberg; zum Größenvergleich: das Stadtgebiet von Mannheim umfasst 145, das von Karlsruhe 173 und das von Stuttgart 207 km<sup>2</sup>. Diese nicht unbedeutende Fläche zeigt, wie wichtig die Altlastenbearbeitung im Umfeld von Planungsvorhaben, wie z.B. Regional-, Bauleit- oder Verkehrsplanung, aber auch im Grundstücksverkehr und beim Industriebrachenrecycling ist. Durch eine flächendeckende Bearbeitung erhöht sich die Planungssicherheit für Investoren und Behörden. Die Brachflächen befinden sich zudem meist in guter Lage und sind außerdem bereits erschlossen. Deshalb ist es sinnvoll, diese Flächen zu sanieren und wieder zu nutzen, anstatt mit hohen Kosten auf bisher unberührten Flächen neue Gewerbe- und Industriegebiete zu schaffen.

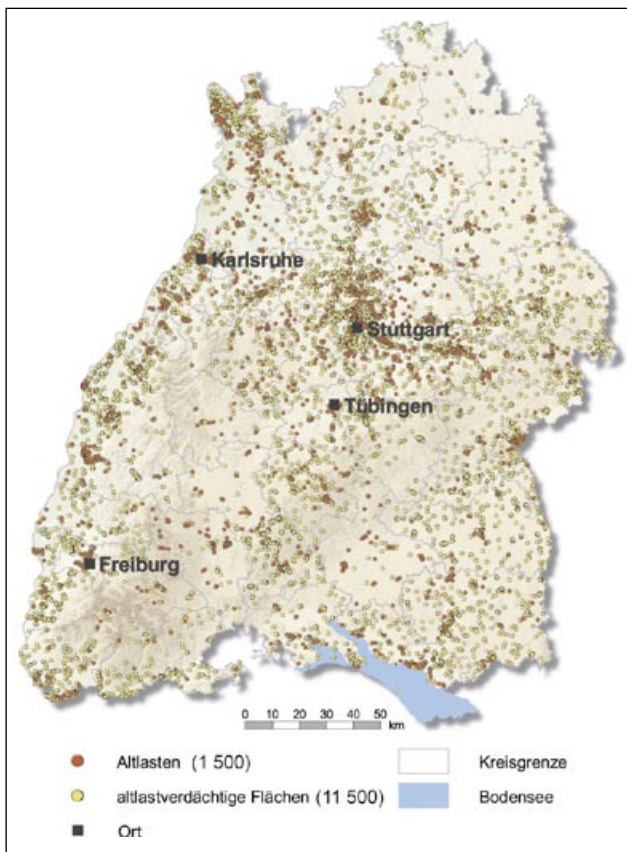


Abb. 13-3: Punktdarstellungen der 13 000 altlastenverdächtigen Flächen und Altlasten in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW, Stand 12/2005

### 13.2 GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG

Durch Altlasten können die Schutzgüter Boden, Grundwasser, Oberflächengewässer, Flora und Fauna betroffen sein. Da die Empfindlichkeit der verschiedenen Schutzgüter gegenüber Schadstoffen sehr unterschiedlich sein kann, nennt die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 mehrere Wirkungspfade, nämlich Boden - Mensch, Boden - Gewässer oder Boden - Nutzpflanze, die zu überprüfen sind. In den überwiegenden Fällen ist in Baden-Württemberg das Schutzgut Grundwasser durch die Altlasten betroffen (Abb. 13-4).

Das BBodSchG unterteilt die Gefährdungsabschätzung in zwei Stufen: die orientierende Untersuchung und die Detailuntersuchung. Für den Großteil der erfassten altlastverdächtigen Flächen ist nur eine orientierende Untersuchung erforderlich. Sie dient der einfachen Überprüfung des Anfangsverdachts. Erst wenn sich der Verdacht bestätigt, folgen vertiefte Untersuchungen zum Nachweis der Gefährdung der Schutzgüter. Mit der Detailuntersuchung sind in der Regel die technischen Untersuchungen abgeschlossen. Alle weiteren Schritte (Sanierungsuntersuchung, Sanierungsplanung) zielen bereits in Richtung Sanierung.

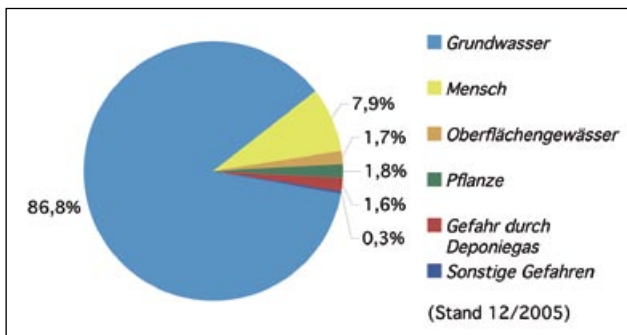


Abb. 13-4: Anteil der betroffenen Wirkungspfade. Quelle: LUBW, Stand 12/2005

Zu Beginn der systematischen Altlastenbearbeitung standen vor allem die ehemaligen Müllkippen im Vordergrund, doch viel häufiger sind es stillgelegte Industrie- und Gewerbeanlagen, von denen vergleichsweise größere Schäden verursacht wurden.

Betrachtet man die ehemalige Nutzung dieser Flächen, zeigt sich, dass folgende Branchen dominieren: metallverarbeitende Betriebe, Tankstellen, Kfz-Werkstätten, Betriebshöfe und chemische Reinigungen. Mehr als 50 % der altlastverdächtigen Altstandorte können diesen Betriebszweigen zugeordnet werden (Abb. 13-6).

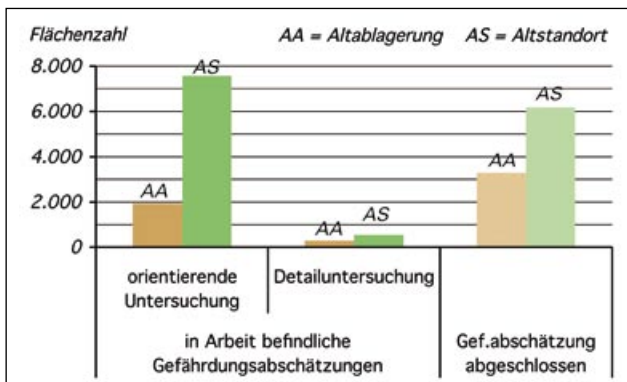


Abb. 13-5: Gefährdungsabschätzungen. Quelle: LUBW, Stand 12/2005

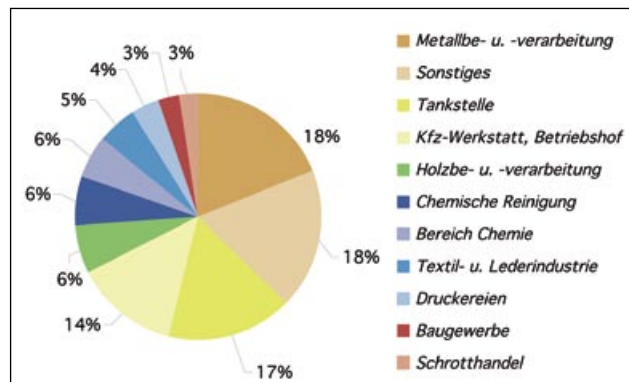


Abb. 13-6: Nutzungen, die zu einem Altlastenverdacht geführt haben. Quelle: LUBW, Stand 12/2005

Das systematische Vorgehen in Baden-Württemberg sieht am Ende jeder Bearbeitungsstufe vor, dass der Erkenntnisstand bewertet und entschieden wird, ob weitere Maßnahmen erforderlich sind. Eine wichtige Funktion hat dabei die Altlastenbewertungskommission bei den Stadt- und Landkreisen, der unter der Federführung der unteren Bodenschutz- und Altlastenbehörden Vertreter aller sonstigen fachlich berührten Behörden sowie der LUBW angehören.

### 13.3 SANIERUNG

Seit Beginn der Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg wurde bei 2 124 Flächen ein Sanierungsbedarf festgestellt. Bis Ende 2005 konnten davon 1 502 Sanierungen abgeschlossen werden (Abb. 13-7), allein 867 Fälle zwischen 2002 und 2005. Ein Sanierungsabschluss bedeutet nicht zwangsläufig, dass die Flächen danach völlig schadstofffrei sind. Oft ist eine vollständige Entfernung der Schadstoffe an einem Standort aus technischen oder finanziellen Gründen nicht möglich. Eine Sicherung der Altlast kann in diesem Fall die Schadstoffemissionen verhindern oder reduzieren, wobei jedoch das eigentliche Schadstoffpotenzial erhalten bleibt.

Von den 1 502 bisher abgeschlossenen Sanierungen konnten 635 Flächen nach erfolgreicher Behandlung aus dem Altlastenkataster entfernt werden. Bei 686 Fällen verbleibt nach der Sanierung eine Restbelastung, wodurch bei Baumaßnahmen entsorgungsrelevantes Bodenmaterial anfallen kann. In 96 Fällen konnte trotz Sanierung der Sanierungszielwert für das Grundwasser nicht vollständig erreicht werden. Die Restverunreinigung wird aus Gründen der

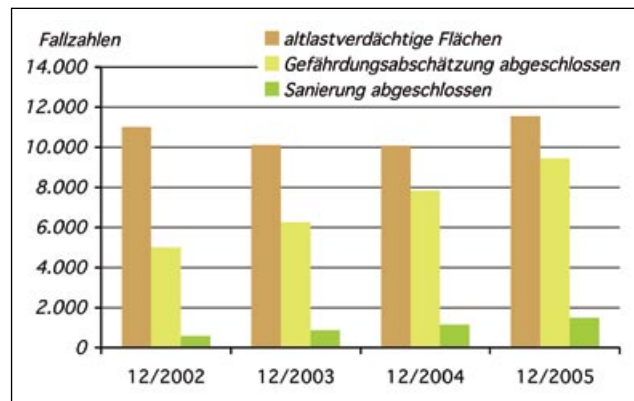


Abb. 13-7: Entwicklung der Sanierungen 2002 bis 2005. Quelle: LUBW, Stand 12/2005

Verhältnismäßigkeit jedoch hingenommen, die Fälle verbleiben weiterhin im Altlastenkataster. 85 Fälle werden derzeit nach der Sanierung im Rahmen der Nachsorge weiter überwacht.

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Arbeitshilfen für eine landeseinheitliche, systematische Altlastenbearbeitung:

<http://xfaweb.lubw.bwl.de/alfaweb/index.html>

Altlastenforum Baden-Württemberg e.V.:

<http://www.iws.uni-stuttgart.de/Sonstiges/ALTLASTENFORUM/index.html>

Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e.V.:

<http://www.itv-altlasten.de>



# 14 Lebensmittelüberwachung

Aufgabe der Lebensmittelüberwachung in Baden-Württemberg ist die Kontrolle, ob die lebensmittelrechtlichen Vorschriften eingehalten werden und damit auch der Schutz des Verbrauchers vor Risiken durch Lebensmittel. Die Kontrolle gegebenenfalls gesundheitsgefährdender Verunreinigungen (Kontaminanten) stellt einen ständig wachsenden Aufgabenbereich dar.

Belastungen der Lebensmittel können durch Verarbeitungsprozesse, vom Menschen verursacht und durch die allgemeine Umweltbelastung entstehen. Im Rahmen der Lebensmittelüberwachung werden auch Rückstände an Pflanzenschutzmitteln sowie Bestandteile aus gentechnisch veränderten Pflanzen kontrolliert.

## 14.1 RÜCKSTÄNDE VON ORGANISCHEN KONTAMINANTEN IN TIERISCHEN LEBENSMITTELN

Insgesamt wurden im Jahr 2004 964 Proben tierischer Herkunft auf Rückstände an Pflanzenschutzmitteln und auf persistente organische Kontaminanten untersucht. Davon waren 221 Proben von einheimischen Erzeugern, der Rest stammte aus dem Handel.

Da in tierischen Lebensmitteln zu einem gewissen Maß die Belastung einer Region mit Altstoffen oder persistenten fettlöslichen Stoffen, die aktuell technisch eingesetzt werden, aufgezeigt werden kann, wird die Überwachung immer mehr nach Monitoring-Gesichtspunkten ausgerichtet. Dies bedeutet ein systematisches Messen und Beobachten der Rückstandssituation. Die Rückstandsgehalte an Altstoffen nehmen in Lebensmitteln tierischer Herkunft kontinuierlich ab, was sich daran zeigt, dass der Anteil der Proben mit nachgewiesenen Rückständen von 96 % im Jahr 2003 auf 86 % im Jahr 2004 zurückgegangen ist. Höchstmengenüberschreitungen sind nur in Einzelfällen zu beobachten. Im Jahr 2004 wurden z. B. bei fünf Proben Schwarzwild (Wildschwein) überhöhte Gesamt-DDT- und PCB-Gehalte festgestellt. Da vier Proben aus derselben Region erhoben wurden, liegt hier eine erhöhte Hintergrundbelastung vor, deren Ursache noch aufzuklären ist. [MLR 2005, S. 95]

### 14.1.1 DDT- UND PCB-RÜCKSTÄNDE IN FLEISCH

Im Rahmen des baden-württembergischen Radioaktivitätsmessprogrammes wurden 2004 13 Wildschweine im Alter zwischen 13 und 24 Monaten untersucht, insbesondere aus

dem Staatlichen Forstamtsbezirk Schwetzingen, nachdem sich dort hohe Belastungen an Gesamt-DDT und Polychlorierten Biphenylen (PCB) zeigten. Bei vier Proben (31 %) wurden Gehalte an Gesamt-DDT und / oder PCB 153 und 138 über den gesetzlichen Höchstmengen festgestellt. Demgegenüber ergaben sich bei einem Vergleichspool anderer Herkunft (13 Rotwild, 6 Schwarzwild), die auch überwiegend aus Baden-Württemberg stammten, lediglich bei einer Wildbretprobe (5,5 %) bei den gleichen Stoffen Höchstmengenüberschreitungen. Auch die mittleren Gehalte an Gesamt-DDT und an PCB 153 als Indikator für die höherchlorierten PCB im Forstamtsbezirk Schwetzingen sind gegenüber dem Vergleichspool deutlich erhöht. Bei den anderen Pestiziden bzw. Kontaminanten ergeben sich bis auf die Nitromoschus- und polycyclischen Moschusverbindungen (HHCB, AHTN) keine nennenswerten Unterschiede. Bei Moschusxylyl, Moschusketon, HHCB (Galaxolide) und AHTN (Tonalide) sind die höheren Mittelwerte im Vergleichspool auffällig. Für diese Verbindungen gibt es keine Höchstmengen. Nitromoschus- und polycyclische Moschusverbindungen werden in Körperpflegemitteln, Reinigern und Waschmitteln eingesetzt und gelangen zum größten Teil über das Abwasser in die Umwelt. [MLR 2005, S. 95]

### 14.1.2 POLYCYCLISCHE MOSCHUS- UND ORGANOZINNV- VERBINDUNGEN IN FISCH

Im Rahmen eines Projektes des bundesweiten Lebensmittel-Monitorings wurden Forellen aus heimischer Fischzucht und aus dem Handel neben den Organochlorpestiziden und chlor- und bromhaltigen Kontaminanten insbesondere auf die Gruppe der polycyclischen Moschusverbindungen (PCM) untersucht. Der Einsatz von Moschusketon und anderen Nitromoschusverbindungen als Duftstoffe ist in der Kosmetik- und Waschmittelindustrie stark zurückgegangen. Moschusketon wird in der EU nicht (mehr) hergestellt. Der Import betrug nach einem Bericht des Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment der Europäischen Kommission vom 08.01.2004 im Jahr 2000 schätzungsweise 35 t. Seit 1993, als die Wasch- und Reinigungsmittelindustrie auf die Produktion von Nitromoschusverbindungen und ihre Verwendung als synthetische Duftstoffe verzichtete, hat auch die Belastung von Gewässern und Fischen abgenommen. Als Ersatz für die Nitromoschusverbindungen werden jetzt vermehrt polycy-

Tab. 14-1: Polycyclische Moschusverbindungen und Moschusketon in Forellen (nn = nicht nachweisbar). Quelle: Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Freiburg 2005

	DPMI (Cashmeran)	ADBI (Celestolid)	AHDI (Phantolid)	ATII (Traseolid)	HHCB (Galaxolid)	AHTN (Tonalid)	Moschusketon
Gehalte in mg/kg Fett							
min.	nn	nn	nn	nn	0,008	nn	nn
max.	nn	0,024	0,014	0,036	1,304	0,47	0,095
Mittelwert	nn	0,003	0,001	0,005	0,207	0,08	0,021
Median	nn	0,002	nn	nn	0,08	0,025	0,009

clische Moschusverbindungen eingesetzt. Die jährlichen, weltweiten Produktionsmengen für HHCB (Galaxolid) und AHTN (Tonalid) liegen bei mehreren tausend Tonnen pro Jahr, ihre Verwendung in Europa betrug im Jahr 2000 insgesamt 1 770 t. Während in einer Risikoanalyse, die 1999 für die EU durchgeführt wurde, geringe Effekte für die Umwelt und die Bevölkerung vorhergesagt wurden, geben neuere Studien Hinweise auf eine erhöhte Leberkrebsrate bei Ratten und eine Östrogen-ähnliche Wirkung für AHTN.

In der Tabelle 14-1 sind die Ergebnisse der Untersuchung von 59 Forellen zusammengefasst: Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere die Stoffe Galaxolid und Tonalid in deutlichem Umfang Einzug in die Nahrungskette genommen haben. Die Gehalte an Galaxolid liegen jetzt 10-fach über den Gehalten an Moschusketon.

#### 14.1.3 ORGANOCHLORVERBINDUNGEN IN ZUCHT- UND WILDFISCHEN IM VERGLEICH

In einer amerikanischen Studie, die für großes Aufsehen sorgte, zeigten die Autoren anhand der Gehalte von 14 Organochlor-Kontaminanten auf, dass die Belastung von Zuchtlachs deutlich über der von Wildlachs liegt. Diese Aussage wurde zum Anlass genommen, anhand eigener Daten aus den Jahren 1998 bis 2004 die Belastungen verschiedener Fischarten aus Aquakulturen mit denen von Wildfischen zu vergleichen. Hierzu wurden Fische, die in den Handel kommen, ausgewertet. Nicht berücksichtigt wurden jedoch Fische aus Flüssen und Seen, die vorwiegend als Bioindikatoren zur Feststellung der Umweltbelastung untersucht wurden. Statistisch erfasst wurden insgesamt 319 Fische. Davon stammten 74 Forellen aus Aquakulturen und 36 Lachse vorwiegend aus Aquakulturen. Zum Vergleich wurden Wildfische, 9 Felchen, 9 Barsche und 3 Karpfen aus heimischen Seen, insbesondere aus dem Bodensee, und 7 Nilbarsche aus dem Viktoriasee in Tansania ausgewertet sowie Meeresfische (65 Rotbarsche, 44 Schollen, 25 Thunfische, 23 Makrelen, 13 Kabeljau, 6

Butterfische und 5 Haie). Als organische Kontaminanten wurden einige relevante Wirkstoffe ausgewählt, die häufig mit positiven Gehalten nachweisbar sind und zum Teil typische Vertreter einer Wirkstoffgruppe sind:

- Hexachlorbenzol (HCB),
- Gesamt-DDT (DDT mit Metaboliten DDE und DDD),
- Dieldrin,
- PCB 52 (niederchlorierte Polychlorierte Biphenyle),
- PCB 153 (höherchlorierte Polychlorierte Biphenyle),
- Moschusxylyl (Nitromoschusverbindungen),
- 2,4,6-Tribromanisol (bromierte Umweltkontaminanten),
- BDE 47 (Polybromierte Diphenylether),
- Summe Parlar (Toxaphen),
- Summe OZV (Organozinnverbindungen, z. B. Tributyl- und Triphenylzinn).

Die Auswertung erfolgte auf Frischgewicht (FG), da dieser Bezug die für den Verbraucher relevante Aussage zur Aufnahme der Stoffe direkt liefert.

Die mittleren Gehalte aller Kontaminanten bewegen sich in der Größenordnung von < 0,0001 bis 0,010 mg/kg Frischgewicht und damit auf sehr niedrigem Niveau. Auch die Maximalwerte liegen bei allen Fischen deutlich unterhalb der zulässigen Höchstmengen. Die Fischarten Nilbarsch, Thunfisch, Kabeljau und Hai sind am geringsten mit nahezu allen organischen Kontaminanten belastet. Das weist auf eine Fischart-spezifische Anreicherung der Kontaminanten hin.

Für HCB, Gesamt-DDT, Dieldrin, PCB 52 und PCB 153 sind die Gehalte in Forellen und Lachsen aus Aquakulturen vergleichbar mit den Gehalten der Meeresfische Butterfisch, Rotbarsch und Makrele. Hierbei sind die Lachse in der Regel etwas höher belastet als die Forellen. Die Fische aus heimischen Seen sind im Vergleich zu den Zuchtfischen mit HCB, Gesamt-DDT, Dieldrin niedriger belastet, aber mit PCB 52 und 153 teilweise höher belastet (Abb. 14-1).

Toxaphen ist mit deutlich höheren Gehalten in Lachsen als in Forellen nachweisbar. Eine Belastung in der gleichen Größenordnung weisen Meeresfische wie Butterfisch, Rotbarsch und Makrele auf (Abb. 14-1). Da Toxaphen in Deutschland nicht zur Anwendung kam, sind erfahrungsgemäß keine Gehalte in Wildfischen aus Seen und Flüssen nachweisbar. Die Belastung von Zuchtfischen resultiert aus dem Futtermittel, das überwiegend aus Meeresfischabfällen gewonnen wird.

Die höchste Belastung mit Moschusxylyl und Tribromanisol weisen Zuchtforellen auf. Polybromierte Diphenylether (PBDE) werden in großen Mengen weltweit als Flammenschutzmittel verwendet und haben sich inzwischen in der Nahrungskette angereichert. Das BDE 47, die Hauptkomponente der polybromierten Diphenylether (PBDE) in Fischen, ist auch in Forellen deutlich vorhanden. Da für Lachse entsprechende Ergebnisse fehlen – PBDE werden am CVUA Freiburg erst seit 2001 routinemäßig untersucht –, können hierzu keine Vergleiche angestellt werden. Höher als Forellen sind nur Felchen aus dem Bodensee belastet. Meeresfische sind dagegen geringer belastet (Abb. 14-1).

Untersuchungen auf Organozinn werden standardmäßig nur bei Fischen aus Flüssen und Seen durchgeführt. Bei 25 in- und ausländischen Forellen aus Aquakulturen, die 2000 und 2001 auf Organozinnverbindungen untersucht wurden, ergaben sich keine positiven Befunde. Eine allgemeine Aussage darüber, ob Fische aus Aquakulturen oder Wildfische stärker mit organischen Kontaminanten belastet sind, ist nach diesem Datenvergleich nicht möglich, da die Höhe der Schadstoffgehalte in erster Linie von der Fischart abhängt. [MLR 2005, S. 98f.]

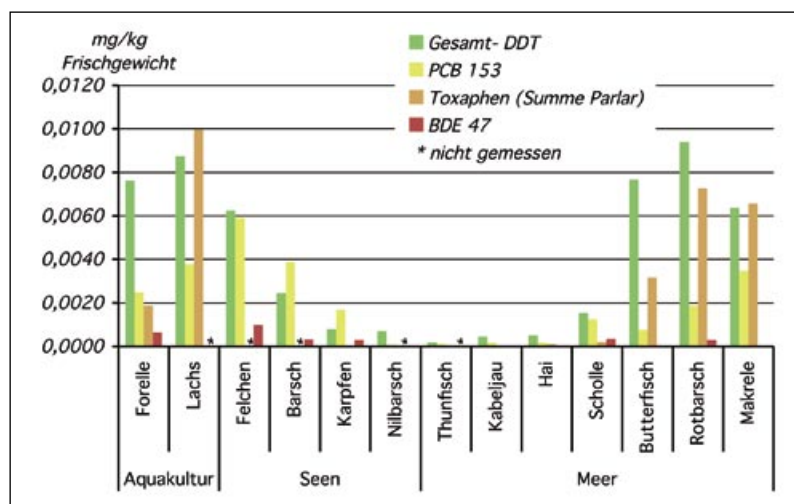


Abb. 14-1: Gesamt-DDT-, PCB 153-, Toxaphen- und BDE 147-Gehalte in Speisefischen 1998-2004. Quelle: Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Freiburg 2005

## 14.2 INDUSTRIE- UND UMWELTBEDINGTE KONTAMINANTEN

### 14.2.1 DIOXINE IN EIERN

Dioxine gehören zu den giftigsten chlororganischen Verbindungen. Durch ihre gute Fettlöslichkeit und ihre Langlebigkeit reichern sie sich in der Nahrungskette an. Nach heutiger Kenntnis nimmt der Mensch diese Substanzen fast ausschließlich über die Nahrung auf. Mit Dioxinen belastete Lebensmittel können daher für die Verbraucher ein gesundheitliches Risiko darstellen. Bestimmte polychlorierte Biphenyle (PCB) weisen dioxinähnliche Eigenschaften auf und sind daher ebenfalls in den Blickpunkt des Interesses gerückt. [MLR 2005, S. 114]

Bei Eiern können erhöhte Dioxinbefunde bereits auftreten, wenn Legehennen auf Böden gehalten werden, die nur leicht erhöhte Dioxinverunreinigungen aufweisen. Zusätzlich zur Aufnahme aus Futtermitteln können dann bei Auslaufhaltung Spurenanteile an Dioxinen und dioxinähnlichen polychlorierten Biphenylen (PCB) durch Picken im Boden aufgenommen werden. Dabei sind Hühner besonders sensible Bioindikatoren, da sie im Vergleich zu anderen Tieren in Bezug auf ihr Körpergewicht mehr Boden als andere Tiere aufnehmen. Auch Stallungen und Einstreu können bei überhöhten Gehalten eine Rolle spielen.

Die Verordnung (EG) Nr. 2375/2001 des Rates vom 29. November 2001 setzt für Hühnereier und Eiprodukte einen Höchstgehalt von 3 pg WHO-PCDD/F-TEQ/g Fett fest. Die Verordnung gilt ab 1. Juli 2002. Gemäß dieser Verordnung sollten Eier aus Freilandhaltung und aus intensiver Auslaufhaltung dem Höchstgehalt ab 1. Januar 2004 entsprechen.

Durch Verordnung (EG) Nr. 684/2004 der Kommission vom 13. April 2004 wurde diese Frist um ein Jahr verlängert. Diese Frist wurde nicht ein weiteres Mal verlängert, so dass die Höchstmenge seit 01. Januar 2005 für sämtliche Eier gültig ist.

In Ergänzung zu den Höchstgehalten wurde in der Empfehlung der Kommission vom 4. März 2002 zur Reduzierung des Anteils von Dioxinen, Furanen und PCB in Futtermitteln und Lebensmitteln (2002/201EG) für Eier ein Auslösewert von 2,0 pg WHO-PCDD/F-TEQ/g Fett bestimmt, bei dessen Überschreitung die Kontaminationsquelle ermittelt werden soll und Maßnahmen zur Eindämmung oder Beseitigung der Kontamination ergriffen werden sollen.

Im Februar 2006 wurden zusätzlich auch Höchstgehalte für dioxinähnliche PCB festgesetzt. Danach wird weiterhin die zulässige Höchstmenge für Dioxine von 3 pg WHO-PCDD/F-TEQ/g Fett beibehalten. Für Dioxine und dioxinähnliche PCB zusammen wurde bei Eiern eine Höchstmenge von 6 pg WHO-PCDD/F-PCB-TEQ/g Fett festgesetzt, ohne dass eine separate Höchstmenge für WHO-PCB-TEQ bestimmt wird. Die Auslösewerte wurden jedoch getrennt festgesetzt, und zwar mit 2 pg WHO-PCDD/F-TEQ/g Fett und 2 pg WHO-PCB-TEQ/g Fett. Diese Regelungen treten im November 2006 in Kraft.

In den letzten Jahren hat das CVUA Freiburg umfangreiche Untersuchungen durchgeführt: Im Zeitraum 1993 bis 2005 wurden insgesamt 1 247 Eiprüben untersucht. In dieser Gesamtprobenzahl sind verschiedenartige Untersuchungsprogramme enthalten. So wurde je nach Haltungform (konventionelle Erzeugung bzw. Boden- sowie Auslauf- und Freilandhaltung) differenziert. Da der Einfluss der Haltungform und die Betriebsbedingungen sehr unterschiedlich sind, wurden in den verschiedenen Jahren unterschiedliche Untersuchungsschwerpunkte gelegt.

Die Abbildung 14-2 für die Dioxingehalte (berechnet als pg WHO-PCDD/F-TEQ/g Fett) zeigt auf der bis Ende 2004 verfügbaren Datenbasis, dass die Mediane der vermarkteten Eier insgesamt in den letzten Jahren eine abnehmende Tendenz aufwiesen und sich unabhängig von der Haltungform ganz überwiegend auf einem niedrigen Niveau befanden.

Höchstmengensüberschreitungen bei Dioxinen betreffen nach aktuellen Erkenntnissen der Lebensmittelüberwachung vor allem Kleinsthaltungen mit Auslauf, in denen durch Picken und Scharren lokale Dioxin-Rückstände aufgenommen werden.

Für eine statistische Auswertung wurden 195 Eiprüben aus intensiver Auslaufhaltung, die im Untersuchungszeitraum 2004 bis 2005 unter verschiedensten Gesichtspunkten erhoben worden waren, zusammengefasst. Hiervon war bei 131 Proben die Betriebsgröße bekannt. Diese Auswertung belegt eine klar erkennbare Abhängigkeit der Gehalte an Dioxinen und dioxinähnlichen PCB von der Betriebsgröße, die in Abbildung 14-3 dargestellt ist. Die Abbildung zeigt, dass Überschreitungen der Höchstgehalte (für Dioxine 3 pg WHO-PCDD/F-TEQ/g Fett, für die Summe aus Dioxinen und dioxinähnlichen PCB 6 pg WHO-PCDD/F-TEQ/g Fett gültig ab 4. November 2006) auf Betriebe mit geringer Hühnerzahl beschränkt sind.

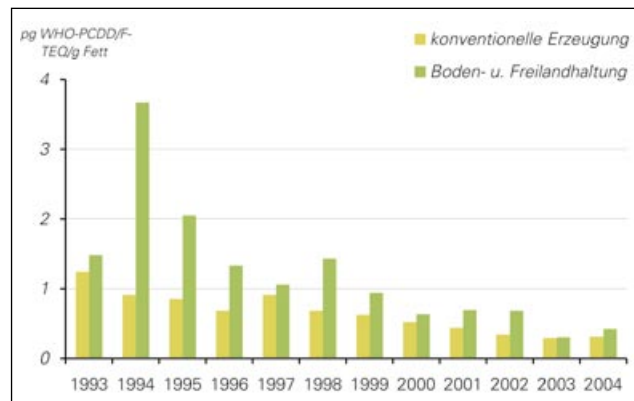


Abb. 14-2: Dioxinbelastung (Median) in Eiern aus Boden- und Freilandhaltung (497 Proben) und konventioneller Erzeugung (479 Proben) 1993-2004. Quelle: Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Freiburg 2006

Nach einer Stellungnahme des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) vom 17. Januar 2005 stellt der gelegentliche Verzehr von Eiern, bei denen diese Höchstgehalte überschritten sind, noch keine akute Gesundheitsgefährdung dar. Es gibt deshalb keine Notwendigkeit, auf den Verzehr von Eiern aus Freilandhaltung zu verzichten, da sie in der Regel nur einen vergleichsweise kleinen Anteil an der aufgenommenen Dioxinbelastung des Menschen über Nahrungsmittel haben. Eine Ausnahme stellen besonders hoch belastete Eier dar. Diese sollten nicht verzehrt werden. Das gilt auch für Selbstversorger. Die Vermutung liegt nahe, dass die Kleinsttierhaltungen bevorzugt von Selbstversorgern betrieben werden, die über längere Zeit die Eier aus dem eigenen Betrieb essen. Hierdurch kommt es anders als bei Verbrauchern, die Lebensmittel wechselnder Herkunft einkaufen, zu einer gleichbleibenden Aufnahme über längere Zeiträume hinweg. Insofern dienen die durchgeführten Untersuchungsprogramme auch dem gesundheitlichen

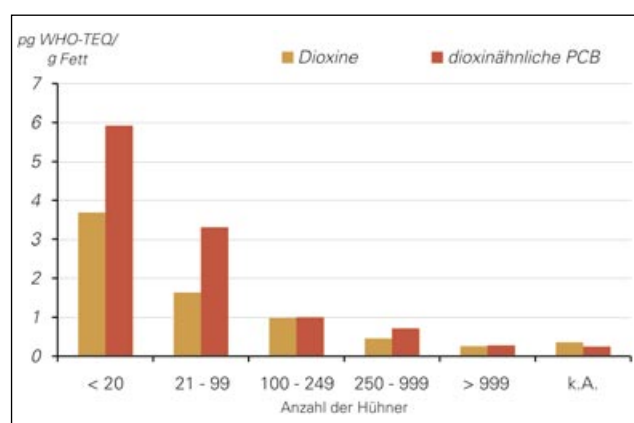


Abb. 14-3: Dioxinbelastung (Median) von Eiern aus intensiver Auslaufhaltung differenziert nach Betriebsgröße 2004 und 2005. Quelle: Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Freiburg 2006

Schutz der Kleinstierhalter, die möglicherweise unwissentlich stark erhöhte Dioxingehalte mit den in ihrem Betrieb erzeugten Eiern aufnehmen. [CVUA 2006a]

#### 14.2.2 RADIOAKTIVITÄT IN WILDFLEISCH

Auch 20 Jahre nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl treten in einigen Teilen Baden-Württembergs z.T. noch deutliche Cs-137-Kontaminationen bei Wildschweinfleisch auf. Während in Rot- und Rehwild der Cs-137-Gehalt stark abgenommen hat, lässt sich bei Schwarzwild eher ein Anstieg der Belastung erkennen. Der Grund hierfür liegt in der sehr langen Verrottungszeit von Nadelstreu, über welches das Cäsium aus der Luft gefiltert wurde sowie in der hohen Bioverfügbarkeit des Cäsiums im mineralstoffarmen, meist sauren Humusboden des Waldes. Dort kann Cäsium im Gegensatz zu den landwirtschaftlich genutzten Böden nicht von Tonmineralen festgehalten werden. Insbesondere die von den Wildschweinen mit Vorliebe gefressenen Hirschrüffel reichern das Cäsium aus den belasteten Böden stark an und verursachen hohe Kontaminationen des Wildfleisches, was durch Mageninhaltsuntersuchungen bestätigt wurde. Zusätzlich zu den bereits 1986 als stärker belastet erkannten Landesteilen im Südosten kamen etwa seit dem Jahr 2000 weitere Gebiete mit erhöhter Wildschwein-Kontamination im Bereich Schwetzingen, Gaildorf, Schluchsee, Sankt Blasien sowie in den Landkreisen Calw, Enzkreis und Freudenstadt hinzu. Um sicherzustellen, dass kein Wildschweinfleisch mit mehr als 600 Bq/kg Cs-137 in den Handel gelangt, hat die Landesregierung in Baden-Württemberg ein verstärktes Überwachungsprogramm installiert. Danach muss in Gemeinden, die als belastet ausgewiesen sind, jedes erlegte Wildschwein vor seiner Vermarktung auf Radioaktivität durch Eigenkontrollmessstellen der Jägerschaft untersucht werden. Weiterhin messen die Chemischen

und Veterinäruntersuchungsämter (CVUA) Stuttgart und Freiburg Monitoring-Proben aus den bisher noch nicht beprobten umliegenden Gemeinden. Berücksichtigt werden ebenso die umfangreichen Messdaten der Fachhochschule Ravensburg-Weingarten.

Bezogen auf die Gesamtprobenzahl aus dem Zeitraum September 2005 bis Februar 2006 wurde der Grenzwert von 600 Bq/kg in ca. 10 % der Fälle überschritten, in belasteten Gebieten dagegen in bis zu ca. 25 % der Fälle. Der gemessene Spitzenwert betrug 8 728 Bq/kg Cs-137 bei einem Wildschwein aus dem Landkreis Ravensburg. [CVUA 2006b]

Im Gegensatz zu Schwarzwild weist Rehwild wesentlich geringere Aktivitätskonzentrationen auf. Als typisches Beispiel für das von Tschernobyl am höchsten beaufschlagte Landesgebiet Oberschwaben zeigt Abbildung 14-4 den gleitenden zweiwöchigen geometrische Mittelwert der Aktivitätswerte aller Rehproben aus dem Forstamtsbezirk Ochsenhausen von 1987 bis heute. Die Rehe leben hier im Wesentlichen in einem Fichtenwald, in dem der Boden eine relativ dicke organische Auflage hat. Im Jahr 2005 traten die höchsten Kontaminationswerte im September auf und erreichten bis zu 1 787 Bq/kg. Das Maximum der Mittelwerte der spezifischen Cs-137-Aktivität liegt dieses Jahr bei etwa 450 Bq/kg. [LFU 2005] Sehr viele Werte lagen nur bei einigen Bq/kg. Die Grenze für die Verzehrfähigkeit von 600 Bq/kg ist bei Rehwild inzwischen regelmäßig unterschritten.

Die Aktivitätsgehalte werden völlig unbedeutend, sobald die Rehe und Wildschweine eine Zeit lang mit unkontaminierter Nahrung gefüttert wurden, z.B. bei Haltung im Gehege.

#### 14.3 GENTECHNIK IN LEBENSMITTELN

Im Jahr 2005 wurden insgesamt 465 Lebensmittelproben auf Bestandteile aus gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) untersucht. Insgesamt wurden in 94 Fällen (= 20 %) positive Befunde erhalten. Schwerpunkte der Untersuchungen waren Soja, Mais und Raps, daneben wurden auch stichprobenartig Papaya und Reis sowie Tomaten-, Zuckerrüben und Kartoffelerzeugnisse auf GVP überprüft.

Auch 2005 waren bei einem Drittel aller untersuchten Proben (61 von 184 Proben = 33 %) Verunreinigungen durch gentechnisch veränderte Soja nachweisbar. Sowohl der Anteil positiver Proben insgesamt, als auch der Anteil nicht korrekt gekennzeichnete Proben (3 % aller Proben

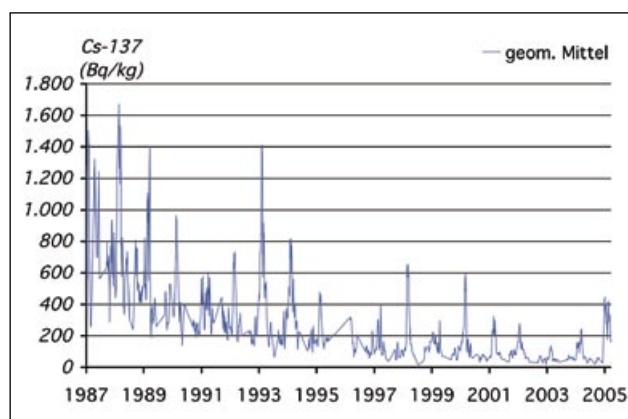


Abb. 14-4: Verlauf der Cs-137-Aktivitätskonzentration in Rehwild aus Ochsenhausen. Quelle: LFU 2005

enthielten mehr als 0,9 % gv-Soja) blieb im Vergleich mit den Vorjahren in etwa konstant (Abb. 14-5). Immerhin 21 (entsprechend 34 % aller positiven Sojaprobe n bzw. 11 % aller Sojaprobe n) wiesen Anteile an gv-Soja zwischen 0,2 und 0,9 % auf. Nur „zufällige“ und „technisch und vermeidbare“ Anteile sind laut Kennzeichnungsregelung von der Kennzeichnung befreit, auch wenn diese weniger als 0,9 % betragen. So zeigen Untersuchungsergebnisse bei Sojaprodukten, dass Anteile von 0,2 % und mehr derzeit zumeist noch „technisch vermeidbar“ sein sollten. Bei allen sechs untersuchten Säuglings- und Kleinkindernahrungprodukten auf Sojabasis sowie bei zwei der untersuchten Reformhauserzeugnisse war gv-Soja in Anteilen zwischen und 0,2 und 0,4 % feststellbar. Gerade bei diesen Erzeugnissen sollte im Einzelfall kritisch hinterfragt werden, ob die festgestellten Anteile tatsächlich zufällig und technisch unvermeidbar sind. [CVUA 2006c]

Auch im Jahr 2005 waren die Ergebnisse bei Maiserzeugnissen unauffällig. Waren im Vorjahr immerhin noch 26 % aller Probe n positiv, so ging dieser Anteil auf nunmehr 15 % deutlich zurück (Abb. 14-6). Die Herkunft der Mais-Rohstoffe konzentrierte sich weiter auf Deutschland, Frankreich und Italien. Da in diesen Ländern derzeit kein kommerzieller Anbau von gv-Mais stattfindet, besteht hier auch nur ein geringes Verunreinigungsrisiko. Positive Befunde waren auch bisher nur im Spurenbereich unter 0,1 % feststellbar und lassen sich am ehesten durch geringfügig kontaminiertes Saatgut erklären. Erklärbar wäre der Rückgang positiver Befunde durch nochmals verstärkte Eigenkontrollmaßnahmen in diesem Bereich. [CVUA 2006c]

Raps ist neben Soja und Mais die für den Lebensmittelbereich wichtigste Nutzpflanze, bei der Gentechnik bereits in großem Umfang kommerziell genutzt wird. Allerdings ist der Anbau auf Nordamerika, besonders Kanada, beschränkt - dort weiterhin mit steigender Tendenz. Ähnlich wie bei Mais waren früher festgestellte Verunreinigungen durch gv-Raps in europäischer Ware zumeist (höchstwahrscheinlich) auf geringfügig kontaminiertes Saatgut zurückzuführen. Allerdings wurden bei Rapsprobe n im Jahr 2005 - wie auch in den beiden vergangenen Jahren keinerlei Verunreinigungen mehr festgestellt. Untersucht wurde Rapsaat aus Ölmühlen, da ein Nachweis etwaiger gentechnischer Veränderungen im Rapsöl nicht mehr möglich ist. In keinem von 19 untersuchten baden-württembergischen Rapshonigen wurde im Jahr 2005 gentechnisch veränder-

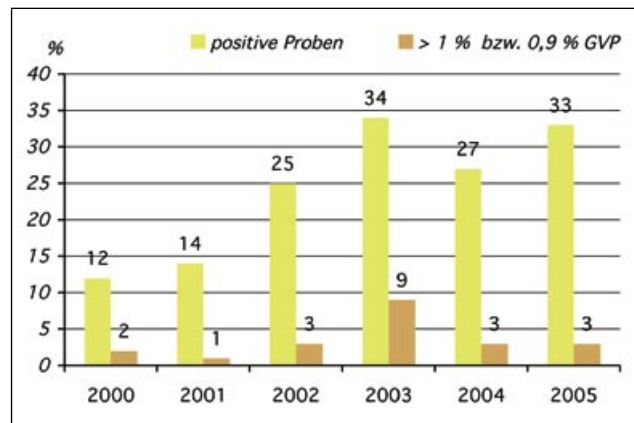


Abb. 14-5: Anteile positiver Probe n mit Bestandteilen gentechnisch veränderter Pflanze n (GVP) bei Sojaerzeugnissen von 2000 bis 2005. Quelle: Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Freiburg 2006

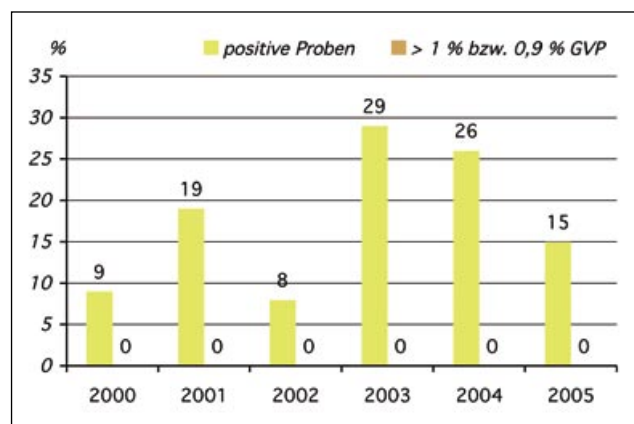


Abb. 14-6: Anteile positiver Probe n mit Bestandteilen gentechnisch veränderter Pflanze n (GVP) bei Maiserzeugnissen von 2000 bis 2005. Quelle: Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Freiburg 2006

te DNA nachgewiesen. Ganz anders war die Situation bei kanadischen Honigen. Entsprechend der dortigen Anbausituation waren in allen sechs untersuchten Rapshonigen Pollen aus gentechnisch veränderten Pflanze n nachweisbar, zumeist handelte es sich um Roundup Ready Raps (GT 73). Die Anteile an gentechnisch veränderter Erbsubstanz im gesamten Raps-Pollen betragen durchweg über 10 %. Eine Kennzeichnung ist laut einer Aussage des EU-Lebensmittelausschusses auch bei diesen Honigen allerdings derzeit nicht erforderlich. [CUVA 2006c]

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Chemische und Veterinäruntersuchungsämter  
Baden-Württemberg:

<http://www.untersuchungsaeamter-bw.de>

# Literatur

## 1 NACHHALTIGES BADEN-WÜRTTEMBERG

BACH, M. (2006): schriftl. Mittlg. Institut für Ressourcenmanagement. Universität Gießen.

BARON, R. ET AL (2005): Studie zur Konzeption eines Programms für die Steigerung der Materialeffizienz in mittelständischen Unternehmen. Abschlussbericht. Wiesbaden. 180 S. <http://www.materialeffizienz.de/fachinformationen/vorbereitung-des-programms>

BEHRENDT, H. ET AL. (2002): Internationale Harmonisierung der Quantifizierung von Nährstoffeinträgen aus diffusen Quellen in die Oberflächengewässer Deutschlands. Umweltbundesamt. UBA-Texte 82/03.

BFN (Bundesamt für Naturschutz) (2006): [http://www.bfn.de/0308\\_nsg.html](http://www.bfn.de/0308_nsg.html), 13.06.2006

BLAG NE (Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Nachhaltige Entwicklung) (2006): <http://www.blak-ne.de/index2.php?seite=40500>, 30.03.2006

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg. 1992): Agenda 21. Bonn. 512 S.

BPA (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung) (Hrsg. 2002): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin

BÜRINGER, H. (2005): Produktion von Umweltschutzgütern in Baden-Württemberg. Statistische Monatshefte Baden-Württemberg 4/2005. Stuttgart. S. 45 ff.

BÜRINGER, H. (2005): Integrierte und additive Umweltschutzmaßnahmen im Verarbeitenden Gewerbe. Statistische Monatshefte Baden-Württemberg 6/2005. Stuttgart. S. 41 ff.

EDLER, D. et al. (2004): Aktualisierung der Beschäftigtenzahlen im Umweltschutz für das Jahr 2002. Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes. Berlin.

EEA (European Environmental Agency) (2005): EEA core

set of indicators, Copenhagen [http://reports.eea.eu.int/technical\\_report\\_2005\\_1/en](http://reports.eea.eu.int/technical_report_2005_1/en), 14.03.2006

ESSWEIN, H.; JAEGER, J.; SCHWARZ-VON RAUMER, H.-G.; MÜLLER, M. (2002): Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg. Zerschneidungsanalyse zur aktuellen Situation und zur Entwicklung der letzten 70 Jahre mit der effektiven Maschenweite. Arbeitsbericht der Akademie für Technikfolgenabschätzung Nr. 214. Stuttgart.

JAEGER, J.; ESSWEIN, H.; SCHWARZ-VON RAUMER, H.-G. (2006): Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg: Fortschreibung zeigt weitere starke Zunahme der Zerschneidung an. In: Zerschnitten, zerstückelt – oder vernetzt? Landschaftszerschneidung contra Lebensraumverbund. Bad Bollener Skripte 3/2006. S. 17-48.

LFU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (Hrsg. 2004): Energie- und Stoffstrommanagement – Ein positives Fazit für die Unternehmen und die Umwelt. Karlsruhe.

OECD (2005): OECD Factbook 2005 <http://hermia.sourceoecd.org/vl=1562360/cl=18/nw=1/rpsv/factbook/>, 14.03.2006

UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg. 2005): Daten zur Umwelt. Der Zustand der Umwelt in Deutschland. Ausgabe 2005. Erich Schmidt Verlag. Berlin. 358 S.

UBA (2006a): <http://www.umweltbundesamt.de/dux/dux.htm>, 30.03.2006

UBA (2006b): <http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/grundwasser/nigehalt.htm>, Stand: 15.09.2005

UGA (Umweltgutachterausschuss beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2005): 10 Jahre EMAS. Nachhaltig und umweltbewusst wirtschaften in Deutschland. Berlin. 60 S.

UGRDL (Arbeitsgruppe Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder im Auftrag der Statistischen Landesämter) (2005): Umwelt und Wirtschaft. Analysen und Ergebnisse. Düsseldorf. 26 S.

UM (Umweltministerium Baden-Württemberg), Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und

Verbraucherschutz, Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz, Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (2005a): Indikatoren im Rahmen einer Lokalen Agenda 21. Leitfaden. 83 S.

UM (2005b): Klimaschutz 2010. Konzept für Baden-Württemberg. Stuttgart. 160 S. <http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/13407/>, 31.03.2006

UN (United Nations) (2006): [http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/isdms2001/table\\_4.htm](http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/isdms2001/table_4.htm), 14.03.2006

UVM (Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg) (2000): Umweltplan Baden-Württemberg. Stuttgart. 253 S.

WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik

ZMP (Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft GmbH) (2006): <http://www.zmp.de/oekomarkt/unternehmen.pdf>, 04.07.2006

## 2 NATÜRLICHE RESSOURCEN

IMAK (Interministerieller Arbeitskreis „Reduzierung der Flächeninanspruchnahme“) (2004): Bericht des Interministeriellen Arbeitskreises „Reduzierung der Flächeninanspruchnahme“ in: Landtagsdrucksache 13/3755. <http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/8376/>

LGRB (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg) (2006): Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2006. Freiburg.

MLR (Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg) (2006): Biomasse-Aktionsplan Baden-Württemberg. Nachwachsende Rohstoffe als Zukunftsmotor. Stuttgart. 15 S.

UM (Umweltministerium Baden-Württemberg) & WM (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg) (2006): Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2005. Stutt-

gart. 2. Auflage. 27 S.

STALA (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg) (2005a): Flächenerhebung in Baden-Württemberg nach Art der tatsächlichen Nutzung. Statistische Berichte Baden-Württemberg. Stuttgart

STALA (2005b): Der Flächenverbrauch in Baden-Württemberg und seine wichtigsten Bestimmungsgründe. Statistische Analysen. Stuttgart. 48 S.

WM (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg) (2005): Landesentwicklungsbericht Baden-Württemberg 2005. Stuttgart. 252 S.

## 3 KLIMA

ARBEITSKREIS KLIWA (Hrsg. 2005): Der Klimawandel in Baden-Württemberg. Kurzbericht. <http://www.kliwa.de/de/ergebnisse/media/kliwazukunftsbw.pdf>

BWE (Bundesverband WindEnergie e.V.) (2006): <http://www.wind-energie.de/de/statistiken/>, 13.06.2006

FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.) (2006): <http://www.fnr.de>, 13.06.2006

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996): Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, UK.

SCHANOWSKI, A. (2005): Biomonitoring anhand ausgewählter Insektengruppen. 3. Zwischenbericht im Auftrag der LfU. [http://xfaweb.lubw.bwl.de/fofaweb/print/wb\\_schanowski.pdf](http://xfaweb.lubw.bwl.de/fofaweb/print/wb_schanowski.pdf)

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg: <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/UmweltVerkehr/Landesdaten/l1b04.asp>, 02.06.2006

STOCK, M. (Hrsg. 2005): KLARA - Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung. PIK Report Nr. 99. Potsdam.

UM (Umweltministerium Baden-Württemberg) & WM (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg) (Hrsg. 2006): Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2005. Stuttgart. 27 S.



WM (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg) (Hrsg. 2004): Energiebericht 2004. Stuttgart 2004. 72 S.

#### 4 LUFTREINHALTUNG

AVISO (2003): Erstellung einer aktuellen Emissionsdatenbank für den Flughafen Stuttgart, im Auftrag der LfU Baden-Württemberg.

AVISO (2005): Erarbeitung der Datengrundlagen für die Bahnemissionen 2005 in Baden-Württemberg, im Auftrag der LfU Baden-Württemberg.

DüV (2006): Düngeverordnung. Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen vom 10. Januar 2006.

EU 2001: Richtlinie 2001/81/EG vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmenge für bestimmte Luftschadstoffe (NEC-Richtlinie).

EU 2004: Richtlinie 2004/107/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 15. Dezember 2004 über Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft.

IFEU (2005): Direkte Emissionen des Straßenverkehrs in Deutschland; Berechnungen mit TREMOD, Stand 27.09.2005; IFEU-Institut Heidelberg im Auftrag des Umweltbundesamtes.

LAI (Länderausschuss für Immissionsschutz) (2004): Bewertung von Schadstoffen, für die keine Immissionswerte festgelegt sind. Bericht des Länderausschusses für Immissionsschutz.

LFU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (2003): Deposition von Staub, Sulfat und Nitrat in Baden-Württemberg. Karlsruhe. 54 S.

NAGEL, H.D. & GREGOR, H.-D. (1999): Ökologische Belastungsgrenzen. Ein internationales Konzept für die Luftreinhaltung. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg. 259 S.

STALA (Statisches Landesamt Baden-Württemberg)

(2006a): <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/UmweltVerkehr/Landesdaten/11a10.asp>, 24.05.06.

STALA (2006b): Statisches Landesamt Baden-Württemberg. <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/Landwirtschaft/Landeskennzahlen.asp>, 24.05.06.

TA Luft: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002.

UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg. 2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1/April 2004. Berlin.

UMEG (Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg) (2005): Luftschadstoff-Emissionskataster Baden-Württemberg 2002, Bericht-Nr. 4-04/2004 mit Aktualisierung in 2005. [http://www.emissionserfassung.de/emi/ee\\_index.html](http://www.emissionserfassung.de/emi/ee_index.html).

22. BImSchV: 22. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft) vom 11. September 2002.

33. BImSchV: 33. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen) vom 13. Juli 2004.

#### 5 LÄRM

BAFU (Bundesamt für Umwelt (Schweiz)) (2006): [http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg\\_laerm/facts/auswirkung/index.html](http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_laerm/facts/auswirkung/index.html), 27.2.2006

BMVBW (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen) (2005): Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes. Gesamtkonzept der Lärmsanierung. [http://www.bmvbw.de/Anlage/original\\_920054/Gesamtkonzept-der-Laermsanierung-Erlaeuterungstext.pdf](http://www.bmvbw.de/Anlage/original_920054/Gesamtkonzept-der-Laermsanierung-Erlaeuterungstext.pdf), 27.02.2006

FLEISCHER, G. (2000): Gut Hören – Heute und Morgen. Median Verlag. Heidelberg.

- FLUGLÄRMSCHUTZBEAUFTRAGTER (2004): Jahresberichte des Fluglärmschutzbeauftragten für den Flughafen Stuttgart. Unveröffentlicht.
- LFU (Landeanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (2004a): Lärmbelastigung in Baden-Württemberg - Ergebnisse sozialwissenschaftlicher Untersuchungen. Karlsruhe. <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/5626/>
- LFU (2004b): Lärm bekämpfen – Ruhe schützen. Eine Information zum Thema Lärm. 2. Auflage. Karlsruhe.
- LFU (2004c): Lärmarme Reifen und geräuschkindernde Fahrbahnbeläge, Erkenntnisse – Maßnahmen – Konzepte. Karlsruhe. [http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/357/reifen-fahrbahnstudie\\_2005.pdf?command=downloadContent&filename=reifen-fahrbahnstudie\\_2005.pdf](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/357/reifen-fahrbahnstudie_2005.pdf?command=downloadContent&filename=reifen-fahrbahnstudie_2005.pdf)
- SRU (Der Rat von Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2004): Umweltgutachten 2004. Deutscher Bundestag Drucksache 15/3600. Berlin.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2005): Verkehr – Luftverkehr auf allen Flugplätzen. Fachserie 8. Reihe 6.2. Wiesbaden.
- TA LÄRM: Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 28.8.1998 (GMBL Nr. 26/98 S. 503)
- UBA (Umweltbundesamt) (2003): <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/reifen.htm>, 30.03.2006
- UBA (2005): Daten zur Umwelt – Der Zustand der Umwelt in Deutschland. Ausgabe 2005. Erich Schmidt Verlag. Berlin.
- TÜV NORD (2005): Ermittlung der Geräuschemission von Kfz im Straßenverkehr. Endbericht. Essen.
- VLÄRMSCHR 97: Richtlinien für den Verkehrslärmschutz an Bundesfernstraßen in der Baulast des Bundes. <http://www.umweltbundesamt.de/laermprobleme/anlagen/vlschr97.pdf>
16. BIMSCHV: Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung) vom 12. Juni 1990. Bundesgesetzbl. I S. 1036
32. BIMSCHV: Zweiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung) vom 29.08.2002 (BGBl. I S. 3478)

## 6 WASSER

- BANAT, K.; FÖRSTNER, U.; MÜLLER, G. (1972): Schwermetalle in Sedimenten von Donau, Rhein, Ems, Weser und Elbe im Bereich der Bundesrepublik Deutschland. - Naturwissenschaften, 59, S. 525 – 528.
- ELSTER, H.-J. & EINSELE, W. (1937): Beiträge zur Hydrographie des Bodensees (Obersee).- Int. Rev. Hydrobiol., 35: 520-585.
- EPER (2006): Europäisches Schadstoffemissionsregister – Daten für Deutschland. <http://www.eper.de>, 20.04. 2006
- KÜMMERLIN, R. (1994a): Handbuch der stehenden Gewässer in Baden-Württemberg. Regierungsbezirke Stuttgart, Karlsruhe, Freiburg. - Handbuch Wasser 2 (13). Karlsruhe.
- KÜMMERLIN, R. (1994b): Handbuch der stehenden Gewässer in Baden-Württemberg. Regierungsbezirk Tübingen. - Handbuch Wasser 2 (14). Karlsruhe.
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (2003): Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Bearbeitungsstand: 30.04.2003. [http://www.lawa.de/pub/kostenlos/wrrl/Arbeitshilfe\\_30-04-2003.pdf](http://www.lawa.de/pub/kostenlos/wrrl/Arbeitshilfe_30-04-2003.pdf), 05.04.2006
- LFU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (1998): Gewässergütekarte Baden-Württemberg 1998. Karlsruhe.
- LFU (2002): Grundwasserüberwachungsprogramm. Ergebnisse der Beprobung 2001. - Reihe Grundwasserschutz: Nr. 21, Karlsruhe. 142 S.
- LFU (2003): Gewässerstrukturkarte Baden-Württemberg 2003. Karlsruhe.

LFU (2004): Gütebericht 2002. Entwicklung der Fließgewässerbeschaffenheit in Baden-Württemberg. Chemisch – biologisch – morphologisch. Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie Bd. 82. Karlsruhe. 48 S.

LFU (2005a): Methodenband. Bestandsaufnahme der WRRL in Baden-Württemberg. 2. überarbeitete Auflage. Karlsruhe.

LFU (2005b): Gewässergütekarte Baden-Württemberg 2004. Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie Bd. 91. Karlsruhe. 34 S.

LFU & UVM (Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg) (2003): Verminderung der Emission schwer abbaubarer Komplexbildner in Baden-Württemberg - Zusammenfassung. Karlsruhe. 65 S.

RL 78/659/EG: Richtlinie des Rates vom 18. Juli 1978 über die Qualität von Süßwasser, das schutz- oder verbesserungsbedürftig ist, um das Leben von Fischen zu erhalten. Amtsblatt der EU Nr. L222/1 vom 14.08.1988.

ROSSKNECHT, H. (1992): Chemische Untersuchungen des Wassers und der Sedimente von 44 Seen in Baden-Württemberg. - Umweltministerium Baden-Württemberg, Wasserwirtschaftsverwaltung, 28. Stuttgart. 109 S.

UM (Umweltministerium Baden-Württemberg) (Hrsg. 2005): Kommunales Abwasser. Lagebericht Juli 2005. Stuttgart. 23 S.

UVM (Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg) (1997): Verordnung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr über die Qualität von Fischgewässern (Fischgewässerverordnung) vom 28. Juli 1997.

UVM (2004): Verordnung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr zur Umsetzung der Anhänge II und V der Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Gewässerbeurteilungsverordnung) vom 30.08.2004.

## 7 BODEN

LABO (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz)

(2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden mit Datenanhang. <http://www.labo-deutschland.de/pdf/LABO-HGW-Text.pdf>

LFU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (1994): Schwermetallgehalte in Böden aus verschiedenen Ausgangsgesteinen Baden-Württemberg. Materialien zum Bodenschutz Heft 3.

UMEG (Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg) (2004): Jahresbericht 2003. Karlsruhe. 185 S.

## 8 NATUR UND LANDSCHAFT

BREUNIG, T., DEMUTH, S. & KNEBEL, J. (2004): Ökologische Wirkung von PLENUM-Projekten. Literaturstudie. Institut für Botanik und Landschaftskunde. Karlsruhe. 145 S.

FVA (Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg) (1993): Der Wald in Baden-Württemberg – Im Spiegel der Bundeswaldinventur 1989-1990. Eigenverlag. Freiburg.

FVA (2000): Merkblatt „Bodenschutzkalkung im Wald“. Nr. 50/2000. Freiburg.

FVA (Hrsg. 2005): Waldzustandsbericht 2005 der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. Freiburg. 54 S.

GEHRLEIN, U.; KULLMANN, A. (2005): Halbzeitbewertung des PLENUM-Programms. Landesanstalt für Umweltschutz (Hrsg.). Karlsruhe. 270 S.

Landesforstverwaltung: Forsteinrichtungsstatistiken für die öffentlichen Waldungen in Baden-Württemberg 1991-2000

LFU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (2001a): § 24a-Kartierung Baden-Württemberg, Kartieranleitung für die besonders geschützten Biotope nach § 24 a Naturschutzgesetz. 5. Auflage. Karlsruhe. 215 S.

LFU (2001b): Arten, Biotope, Landschaft – Schlüssel zum Erfassen, Beschreiben, Bewerten. 3. Auflage. Karlsruhe. 123 S.

LFU (2005): Signale aus der Natur. 20 Jahre biologische Umweltbeobachtung. Karlsruhe. 68 S.

MLR (Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg) (1992): Naturnahe Waldwirtschaft. Eigenverlag. Stuttgart.

MLR (1999): Richtlinie landesweiter Waldentwicklungstypen (WET). Eigenverlag. Stuttgart.

MLR (Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg) (2001): Jahresberichte der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg 2001. Eigenverlag. Stuttgart.

MLR (2006): Biomasse-Aktionsplan Baden-Württemberg 2006. Stuttgart.

SCHULZ, C. (2005): Die diskrete Kohlenstoffspeicherung der deutschen Forstpartie. -LWFaktuell Nr. 49/2005.

Waldgesetz für Baden-Württemberg (Landeswaldgesetz - LWaldG) in der Fassung vom 31. August 1995 (GBl.S.685), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 13. Dezember 2005 (GBl. S.745)

## 9 ABFALLWIRTSCHAFT

SAA GMBH (Sonderabfallagentur Baden-Württemberg GmbH) (2005): SAA-Daten 2003. Fellbach. 76 S.

STALA (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg) (2006): <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/UmweltVerkehr/Landesdaten/a2e01.asp>, 01.03.2006

UM (Umweltministerium Baden-Württemberg) (2006): Abfallbilanz 2005. Stuttgart. 101 S.

## 10 ANLAGENSICHERHEIT

Richtlinie 96/82/EG des Rates zur Beherrschung der Gefahren bei schweren

Unfällen mit gefährlichen Stoffen vom 09. Dezember 1996 (ABl. EG Nr. L 10 S. 13)

zuletzt geändert am 16. Dezember 2003 (ABl. EU Nr. L 345 S. 97)

UN/ECE-Übereinkommen über die grenzüberschreiten-

den Auswirkungen von Industrieunfällen (Industrieunfall-Konvention) Quelle: <http://www.unece.org/env/teia/doc.htm>

12. BImSchV (2000): Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung) vom 20. September 1991 (BGBl I S. 1891) (StörfallV-alt- außerkraft seit 3. Mai 2000)

12. BImSchV (2005): Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung -) vom 08. Juni 2005 (BGBl I Nr. 33 S. 1598)

## 11 RADIOAKTIVITÄT

BFS (Bundesamt für Strahlenschutz) (2006): persönliche Mitteilung vom 26.01.2006

FZK (Forschungszentrum Karlsruhe) (2006): persönliche Mitteilung der Inkorporationsmessstelle vom 27.02.2006

IMIS: Integriertes Mess- und Informationssystem des Bundes und der Länder nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz

KOELZER, W. (2006): Die Strahlenexposition des Menschen. Herausgeber: Informationskreis KernEnergie. Berlin. 21 S.

[http://www.kernenergie.net/documentpool/ik\\_strahlenexpo\\_01\\_2006zw.pdf](http://www.kernenergie.net/documentpool/ik_strahlenexpo_01_2006zw.pdf)

VOLKMER, M. (2004): Radioaktivität und Strahlenschutz. Herausgeber: Informationskreis KernEnergie. Berlin. 83 S.

## 12 ELEKTROMAGNETISCHE FELDER

BFS (Bundesamt für Strahlenschutz) (2006): <http://www.bfs.de/elektro/hff/grundlagen.html>, 16.03.2006

BUNDESNETZAGENTUR (2006): Jahresbericht 2005. Bonn. 172 S. <http://www.bundesnetzagentur.de/media/archive/5278.pdf>

BUWAL (Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) (2005): Elektromog in der Umwelt. Bern. 56 S.

REGTP (Regulierungsbehörde für Telekommunikation

und Post) (2005): Jahresbericht 2004. Bonn. 148 S.

LFU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (2002): Elektromagnetische Felder im Alltag. 3. Auflage. Karlsruhe.

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/6515/>

LFU (2003): Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg. Karlsruhe. <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/6515/>

LFU (2005): Gepulste Funkwellen – Fakten und Fiktionen. 1. Auflage. Karlsruhe. <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/6515/>

SSK (Strahlenschutzkommission) (2005): Neue Technologien: Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern. Klausurtagung der Strahlenschutzkommission am 1./2. Dezember 2003. Band 54. Elsevier/Urban und Fischer. München. 285 S. <http://www.ssk.de/pub/kurzinfo/b54.htm>

26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) - Verordnung über elektromagnetische Felder vom 16.12.1996 (BGBl I, S. 1966ff.)

### 13 ATLASTEN

Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999, BGBl. I S. 1554

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG) vom 17. März 1998, BGBl. I S. 502

Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Landes-Bodenschutz- und Altlastengesetz – LBodSchAG) vom 14. Dezember 2004, GBl. Nr. 17 S. 908

### 14 LEBENSMITTELÜBERWACHUNG

CVUA (Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Freiburg) (2006a): Statusbericht zu Dioxinen in Eiern. Stand: 05. April 2006. Freiburg.

CVUA (2006b): persönliche Mitteilung vom März 2006

CVUA (2006c): Gentechnik in Lebensmitteln. Freiburg. 8 S. [http://www.cvua-freiburg.de/pdf/gentechnik\\_in\\_lebensmitteln2005.pdf](http://www.cvua-freiburg.de/pdf/gentechnik_in_lebensmitteln2005.pdf), 19.05.2006

LFU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (Hrsg. 2005): Datenerhebung zur Radiocäsium-Kontamination im Jahr 2004. Karlsruhe. 42 S.

MLR (Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg) (Hrsg. 2005): Überwachung von Lebensmitteln, Bedarfsgegenständen, Kosmetika und Futtermitteln. Jahresbericht 2004. Stuttgart.

# Glossar

## abiotisch

Chemische oder physikalische Umweltfaktoren, an denen Lebewesen nicht erkennbar beteiligt sind. Beispiele sind Klima, Temperatur, Licht.

## aerob

Eigenschaft von Organismen, molekularen Sauerstoff zur Atmung zu benötigen.

## Aerosol

Luftgetragene, feste oder flüssige, meist kolloidale Teilchen, die überwiegend aus einer oder mehreren anderen Substanzen als nur Wasser bestehen.

## Aktivierung

Vorgang, durch den ein Material beim Beschuss mit Neutronen, Protonen oder anderen Teilchen durch Kernumwandlungen radioaktiv wird.

## 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). Ein Becquerel entspricht dabei einem Zerfall pro Sekunde.

## allochthon

Fremdbürtig, ortsfremd. Allochthone Arten sind von außen eingetragene, gebietsfremde Arten.

## Altlasten

Altlasten im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes sind 1. stillgelegte Abfallbeseitigungsanlagen sowie sonstige Grundstücke, auf denen Abfälle behandelt, gelagert oder abgelagert worden sind (Alttablagerungen), und 2. Grundstücke stillgelegter Anlagen und sonstige Grundstücke, auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen worden ist, ausgenommen Anlagen, deren Stilllegung einer Genehmigung nach dem Atomgesetz bedarf (Altstandorte), durch die schädliche Bodenveränderungen oder sonstige Gefahren für den einzelnen oder die Allgemeinheit hervorgerufen werden.

## Altlastverdächtige Flächen

Altlastverdächtige Flächen im Sinne des Gesetzes sind Alttablagerungen und Altstandorte, bei denen der Verdacht schädlicher Bodenveränderungen oder sonstiger Gefahren für den einzelnen oder die Allgemeinheit besteht.

## Ammoniak (NH<sub>3</sub>)

Farbloses, stechend riechendes, giftiges Gas, das beim biologischen Abbau stickstoffhaltiger Stoffe entsteht. Hauptemittenten sind biogene Systeme. Es ist sehr gut wasserlöslich; die wässrige Lösung reagiert alkalisch.

## Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

Das versauernd wirkende Kation wird bei der Reaktion von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Wasser (H<sub>2</sub>O) gebildet. In der Atmosphäre trägt es zur Aerosolbildung bei.

## anaerob

Eigenschaft von Organismen, ohne molekularen Sauerstoff auszukommen.

## AOT40

Accumulated Exposure over a Threshold of 40 ppb. Die Berechnung des AOT40 erfolgt durch Summenbildung der Differenz zwischen stündlichen Konzentrationen über 80 µg/m<sup>3</sup> (=40 ppb) und 80 µg/m<sup>3</sup> während einer gegebenen Zeitspanne unter ausschließlicher Verwendung der stündlichen Werte zwischen 8 Uhr morgens und 20 Uhr abends mitteleuropäischer Zeit für jeden Tag vom 1. Mai bis 31. Juli eines Jahres, gemittelt über 5 Jahre.

## AOX

Summenkenngröße für adsorbierbare organische Halogenverbindungen.

## Äquivalentdosis

Im Strahlenschutz benutzte Größe für die biologisch bewertete Dosis; Einheit ist das Sievert (Sv).

## Aufforstung

Pflanzen von Bäumen auf einer Fläche, die bisher kein Wald war.

## Bannwald

Bannwälder sind Totalreservate, in denen jegliche Bewirtschaftung ruht. In ihnen entwickelt sich die Waldvegetation unter weitgehendem Ausschluss menschlicher Einflüsse zu den Urwäldern von morgen (so genannter Prozessschutz).

## BBodSchG

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG) vom 17. März 1998, BGBl. I S. 502.

## BBodSchV

Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999, BGBl. I S. 1554.

## BDF

Basis-Dauerbeobachtungsflächen.

## Becquerel

Einheit der (Radio-)Aktivität; 1 Becquerel bedeutet, dass im statistischen Mittel ein Atomkern je Sekunde zerfällt. Einheitenzeichen ist Bq.

## Benzo[a]pyren

Zu den polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) gehörend. Diese entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von Mineralöl, Kohle und Holz. Hauptquellen sind Diesellokomotiven und Holzheizungen.

## Benzol (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)

Farblose Flüssigkeit, tritt gasförmig als Luftverunreinigung auf. Mit max. 1 Volumen-% im Benzin enthalten. Hauptquelle für Emissionen sind Kraftfahrzeuge mit Benzinmotor. Entsteht auch bei unvollständiger Verbrennung, z. B. von Holz.

## Beseitigung

Abfälle zur Beseitigung können nicht mehr einer stofflichen, rohstofflichen oder energetischen Verwertung zugeführt werden (siehe auch Verwertung). Abfälle zur Beseitigung müssen in der Regel auf Deponien abgelagert oder verbrannt werden.

## Beurteilungspegel

Mittelungspegel für fest liegende Beurteilungszeiträume, meist 16 Stunden am Tag (6 bis 22 Uhr) oder die lauteste volle Stunde in der Nacht. Der Beurteilungspegel berücksichtigt auch spezielle Zuschläge für besondere Geräuscheigenschaften (z. B. für Impulshaltigkeit). Er dient letztlich zum Vergleich mit Immissionsrichtwerten für Lärm.

## BImSchV

Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes.

## Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB<sub>5</sub>)

Der BSB<sub>5</sub> entspricht dem für den mikrobiellen aeroben Abbau von Abwasserinhaltsstoffen innerhalb von 5 Tagen be-

nötigten Sauerstoff. Er wird als Maß für die Belastung durch biologisch abbaubare Abwasserinhaltsstoffe herangezogen.

## Biologische Gewässergüte

Die biologische Gewässergüte beschreibt und bewertet die Belastung mit leicht abbaubaren organischen Substanzen und deren Auswirkung auf die Sauerstoffverhältnisse der Fließgewässer. Untersucht und bewertet wird hierbei die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften wirbelloser Kleinlebewesen des Gewässerbodens (Makrozoobenthos) nach einem bundesweit einheitlichem Verfahren der Bund- /Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Die Ergebnisse werden in 7 Güteklassen bewertet, die von „unbelastet bis sehr gering belastet“ (Klasse I) bis „übermäßig verschmutzt“ (Klasse IV) reichen.

## Biosphärengebiet

Entspricht in Baden-Württemberg dem Biosphärenreservat nach Bundesrecht.

## Biotop

Der charakteristische Lebensraum von Pflanzen und Tieren in einem bestimmten Gebiet.

## Biozönose

Lebensgemeinschaft aller Pflanzen und Tiere in einem Lebensraum.

## Bundeswaldinventur

Bundesweite Erhebung der Waldstruktur über alle Waldbesitzarten hinweg.

## Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)

Der CSB ist ein Maß für die Summe aller organischen Stoffe im Wasser, einschließlich der schwer abbaubaren. Der CSB-Wert kennzeichnet die Menge an Sauerstoff in mg/l, welche zur Oxidation der gesamten im Wasser enthaltenen organischen Stoffe verbraucht wird.

## Denitrifikation

Durch Bakterien vorgenommener Abbau von Nitrat zu Stickstoff und Sauerstoff durch bestimmte Mikroorganismen (Denitrifikanten). Das Verfahren wird u.a. in der biologischen Abwasserreinigung als Folgeschritt nach der Nitrifikation für den Abbau von Stickstoffverbindungen genutzt.

## Deponierung

Ablagerung von Abfällen auf Deponien.

**Deposition**

Ablagerung von Luftschadstoffen auf belebte und unbelebte Oberflächen. Unterschieden wird zwischen trockener, feuchter und nasser Deposition.

**Deposition, feucht**

Die feuchte Deposition erfolgt durch Nebel, Tau, Reif oder Ablagerungen auf feuchte bis nasse Oberflächen.

**Deposition, nass**

Mit der nassen Deposition werden wasserlösliche und wasserunlösliche Schadstoffe mit den Niederschlägen wie Regen, Schnee, Graupel ausgewaschen. Verunreinigungen werden, eingebunden in den Wolken, über weite Strecken transportiert, und es kommt in emissionsfernen Gebieten zu Schadstoffeinträgen.

**Deposition, trocken**

Die Sedimentation von Staubpartikeln (Durchmesser < 10 µm) und die direkte Ablagerung von Gasen und Aerosolen wird als trockene Deposition bezeichnet. Eine wesentliche Rolle bei dieser Ablagerung spielt die Struktur bzw. die Rauigkeit der Oberfläche. In Nähe einer Emissionsquelle bildet die trockene Deposition den Hauptanteil der Gesamtdeposition.

**Dezibel - dB(A)**

Das Dezibel wird allg. zur Kennzeichnung von Pegelgrößen benutzt. Dabei wird das logarithmierte Verhältnis zweier physikalischer Größen gebildet. Im Bereich Akustik/Lärm ist der Schalldruckpegel von Bedeutung. Dabei setzt man den gemessenen Schalldruck mit dem Schalldruck der Hörschwelle ins Verhältnis. Durch eine spezielle Bewertungskurve wird die frequenzabhängige Empfindlichkeit des menschlichen Ohres berücksichtigt (sog. A-Bewertung). Siehe auch Schallpegel.

**Diffuser Eintrag**

Belastungen bzw. Stoffeinträge, die aus der Fläche oder über die Luft in die Gewässer eingetragen werden und daher nicht eindeutig lokalisierbaren Schmutzquellen zuzuordnen sind. Hierzu zählen beispielsweise Einträge durch Erosion Bodenabtrag (Erosion), Abschwemmung oder Einträge über das Grundwasser.

**Dioxin**

Oberbegriff vor allem für die Stoffgruppe der polychlorier-

ten Dibenzodioxine (PCDD). Langlebige toxische Stoffe, die vor allem bei der Verbrennung von organischen Stoffen in Gegenwart von Chlor entstehen.

**Domino-Effekt**

Störungsbedingte Wechselwirkung zwischen Betriebsbereichen unter der Störfallverordnung, bei denen aufgrund ihres Standortes, ihres gegenseitigen Abstandes und der vorhandenen gefährlichen Stoffe eine erhöhte Wahrscheinlichkeit oder Möglichkeit von Störfällen bestehen kann oder diese Störfälle folgenschwerer sein können.

**Einwohnergleichwert (EGW)**

Der Einwohnergleichwert ist die auf den Einwohnerwert umgerechnete organische Belastung gewerblicher und industrieller Abwässer. Diese Zahl gibt an, wie viele Menschen eine tägliche Abwassermenge erzeugen würden, deren BSB<sub>5</sub>-Bedarf dem täglichen Anfall von Schmutzfracht im Abwasser der gewerblichen Produktion entspricht. Ein Einwohnergleichwert entspricht dem biochemischen Sauerstoffbedarf in 5 Tagen (BSB<sub>5</sub>) von 60 g Sauerstoff pro Tag.

**Einwohnerwert (EW)**

Der Einwohnerwert stellt eine Rechengröße für die Abwasserreinigung dar. Er ist die Summe aus der Anzahl der Einwohner (E) und der in Einwohnergleichwerte (EGW) umgerechneten Belastung gewerblicher und industrieller Abwässer:  $EW = E + EGW$ .

**Elektrisches Feld**

Zustand des Raumes um eine elektrische Ladung, der sich durch Kraftwirkungen auf andere elektrische Ladungen äußert. Die Feldstärke für das elektrische Feld wird in Volt pro Meter (V/m) gemessen. Felder, die sich über die Zeit nicht verändern, nennt man Gleichfelder oder statische Felder.

**Elektromagnetische Felder und Wellen**

Elektrische und magnetische Felder stehen in engem Zusammenhang. Zeitlich veränderliche magnetische Felder sind mit zeitlich veränderlichen elektrischen Feldern verknüpft. Bei hohen Frequenzen kann das elektrische und das magnetische Feld nicht mehr getrennt betrachtet werden. Man spricht von elektromagnetischen Feldern. Periodische, zeitliche und örtliche Veränderungen des elektromagnetischen Feldes, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, werden auch als elektromagnetische Wellen bezeichnet.



### Emissionen

Von einer (festen oder beweglichen) Anlage oder von Naturereignissen an die Umwelt abgegebene Luftverunreinigungen (Gase, Stäube), Geräusche, Strahlen, Wärme (z.B. Abwärme von Kühltürmen), Erschütterungen oder ähnliche Erscheinungen. Emissionen werden nur an wesentlichen Quellen direkt gemessen, deshalb sind landesweite Emissionsangaben und Emissionskataster meist das Ergebnis aufwändiger Erhebungen und Modellrechnungen.

### Endenergie

Endenergie ist der Anteil der Primärenergie, der dem Verbraucher nach der Energieumwandlung und dem Transport zur Nutzung zur Verfügung steht. Dies sind z.B. Sekundärenergieträger wie elektrischer Strom, Fernwärme oder Benzin.

### Entsorgung

Umfasst die Begriffe Verwertung und Beseitigung von Abfällen.

### epiphytisch

Organismen, die auf Pflanzen leben ohne zu schmarotzen, leben epiphytisch. Beispiele sind Algen, Flechten oder Moose.

### eutroph

Trophiegrad, der eine hohe Produktion durch hohe Verfügbarkeit von Nährstoffen in einem Gewässer anzeigt. Weitere Merkmale: starke Algenentwicklung, geringe Sichttiefe, ggf. Wasserbluten, regelmäßiger starker Sauerstoffmangel im Tiefenwasser gegen Ende des Sommers. Je nach Nährstoffkonzentration wird zwischen eutroph 1 und eutroph 2 unterschieden.

### Eutrophierung

Bezeichnet einen Anstieg der Nährstoffzufuhr in Gewässern, der ein unermaiges Pflanzenwachstum zur Folge hat. Im umgangssprachlichen Gebrauch wird mit der Eutrophierung die Unerdung von Gewässern bezeichnet.

### Feinstaub

Kleine Partikel, die tief in die Atemwege eindringen können, siehe auch Partikel.

### Feldstärke

Maß für die Stärke von elektrischen oder magnetischen Feldern (siehe dort).

### FFH-Richtlinie

Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie, Richtlinie des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wild lebenden Tiere und Pflanzen (92/43/EWG), geändert durch Richtlinie 97/62/EG des Rates vom 27. Oktober 1997.

### fischkritisch

Sauerstoffgehalte unter 3,5 mg/l O<sub>2</sub> sind für die meisten Fischarten kritisch. Sie reagieren beispielsweise mit Futterverweigerung und, sofern möglich, Abwanderung in sauerstoffreichere Gebiete.

### Fremdwasser

In die Kanalisation eindringendes Grundwasser, eingeleitetes Wasser aus Hausdrainagen, Quellen oder Auengebieten.

### Frequenz

Bezeichnet die Anzahl von Schwingungen pro Sekunde. Dabei kann es sich beispielsweise um Schwingungen elektrischer und magnetischer Felder (elektromagnetische Wellen) oder um Schwingungen eines elastischen Mediums (Schall) handeln. Die Frequenz wird in der Einheit Hertz (Hz) gemessen. 1 Hz entspricht dabei einer Schwingung pro Sekunde.

### Furan

Oberbegriff vor allem für die Stoffgruppe der polychlorierten Dibenzofurane (PCDF), siehe auch Dioxin.

### Gammastrahlung

Energiereiche elektromagnetische Strahlung von deutlich quantenhafter Natur, die bei einer Kernumwandlung auftreten kann und aus dem Atomkern stammt.

### Gewässerinfiltration

Zugang von Wasser aus oberirdischen Gewässern in die Erdrinde.

### Gewässerstruktur

Beschreibung des strukturellen (morphologischen) Zustandes von Flüssen und Bächen. Die Strukturausstattung der Gewässer mit seiner Sohle, dem Ufer und der angrenzenden Aue bestimmen ganz wesentlich die ökologische Funktionsfähigkeit, d.h. die Lebensbedingungen bzw. den Lebensraum für die in und an den Gewässern lebenden Pflanzen und Tiere.

**Grundwasserneubildung**

Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser.

**GSM**

Das „Global System for Mobile Communications“ ist ein weltweit verbreiteter Standard für den digitalen Mobilfunk der „zweiten Generation“.

**Halbwertszeit**

Zeitspanne, nach der die Hälfte der Atome einer ursprünglichen Menge eines radioaktiven Stoffes zerfallen ist bzw. sich umgewandelt hat.

**Hintergrundmessstation, ländliche**

Definition nach der 33. BImSchV: Schutz der Vegetation und der menschlichen Gesundheit: Repräsentativ für ein Gebiet von 1 000 bis 10 000 km<sup>2</sup>. Probenahmestelle in Gebieten mit niedriger Bevölkerungsdichte, z.B. mit natürlichen Ökosystemen, Wäldern weit entfernt von Stadt- und Industriegebieten und entfernt von örtlichen Emissionsquellen (nicht auf Gipfeln und in Gegenden mit örtlich verstärkter Bildung bodennaher Temperaturinversion).

**Hintergrundmessstation, städtische**

Repräsentativ für ein Gebiet von 10 bis 100 km<sup>2</sup>. In gewissem Abstand von den Gebieten mit hohen Emissionen und auf deren Leeseite, bezogen auf Hauptwindrichtungen; wo sich die Wohnbevölkerung, empfindliche Nutzpflanzen oder natürliche Ökosysteme in der Randzone eines Ballungsraumes befinden. Gilt nach 33. BImSchV als vorstädtisch.

**Holzvorrat**

Holzmenge auf einer bestimmten Fläche. Der Holzvorrat wird in Vorratsfestmetern angegeben (Volumen des Stamm- und Astholzes über 7 cm Durchmesser; 1 Festmeter = 1 m<sup>3</sup>).

**HTO**

siehe Tritium

**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 zu verschlechterten Ausbreitungsbedingungen in den bodennahen Schichten.

**Isotope**

Atomarten eines Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedenen Massenzahlen. Isotope eines Elements unterscheiden sich in der Zahl der Neutronen im Atomkern.

**kanzerogen**

Krebserzeugend.

**Kohlenmonoxid (CO)**

Farbloses, geruchloses, giftiges Gas, das den Sauerstofftransport im Blut blockiert. Entsteht bei unvollständiger Verbrennung. Hauptquelle ist der Kraftfahrzeugverkehr.

**Komplexbildner**

Komplexbildner besitzen die Eigenschaft, Metallionen so zu binden, dass deren Löslichkeit auch in Abhängigkeit vom pH deutlich verändert wird. Sie finden vielfältige Anwendung im industriellen und häuslichen Bereich. Beispielsweise dienen sie zur Entfernung störender Metallionen in der Metallverarbeitung, als Zusatz zur Wasserenthärtung in Wasch- und Reinigungsmitteln bis hin zu Anwendungen in der Photoindustrie und im Altpapierrecycling.

**Konvektion**

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

**Körperschaftswald**

Wald im Eigentum von Körperschaften wie z.B. Städten.

**KrW-/AbfG**

Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz.

**Ländliche Messstation**

Repräsentativ für ein Gebiet von 100 bis 1 000 km<sup>2</sup>. Die Probenahmestellen können sich in kleinen Siedlungen oder Gebieten mit natürlichen Ökosystemen, Wäldern oder Nutzpflanzenkulturen befinden; außerhalb des Einflussbereichs örtlicher Emittenten wie Industrieanlagen und Straßen; in offenem Gelände, aber nicht auf Berggipfeln.

**Lärm**

Unerwünschter Schall im Hörbereich des Menschen, welcher psychisch, physisch, sozial oder ökonomisch beein-

trächtigen kann. Physikalisch objektiv wird er durch den Schallpegel erfasst, doch prägt sich seine Wahrnehmung und Belästigung sehr individuell aus.

#### LBodSchAG

Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Landes-Bodenschutz- und Altlastengesetz – LBodSchAG) vom 14. Dezember 2004, GBl. S. 908.

#### Limitierender Faktor

Der den Stoffwechsel begrenzende Faktor. Das Wachstum der Pflanzen wird z. B. durch das Dargebot von Nährstoffen und Licht begrenzt.

#### Lokale Agenda 21

Eine Lokale Agenda 21 ist ein Aktionsprogramm zur Umsetzung des Leitbilds der Nachhaltigen Entwicklung auf lokaler Ebene, bei dem die Kommunalverwaltung mit Bürgern, örtlichen Organisationen und der Privatwirtschaft in einen Dialog tritt. Grundlage ist die Agenda 21, die auf der Konferenz für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro verabschiedet wurde.

#### Luftverunreinigungen

Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft, insbesondere durch Rauch, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe und Geruchsstoffe.

#### Lysimeter

Gerät zur Messung des Sickerwassers, das sich durch Überwiegen der Schwerkraft in der ungesättigten Bodenzone abwärts bewegt.

#### Magnetfeld

Zustand des Raumes, der sich durch Kraftwirkungen auf magnetische Dipole (Magnetnadeln) äußert. Magnetfelder treten in der Umgebung jedes Magneten und jedes elektrischen Stromes auf. Die Feldstärke für das magnetische Feld wird in Ampere pro Meter (A/m) gemessen. Häufig wird zur Kennzeichnung der Stärke eines Magnetfeldes auch die magnetische Flussdichte mit der Einheit Tesla verwendet.

#### Makrophyten

Höhere Wasserpflanzen, die im Gewässerboden des Uferbereichs (Litoral) wurzeln.

#### Makrozoobenthos

Mit dem bloßen Auge erkennbare wirbellose Tiere, die auf oder in der Gewässersohle leben.

#### MCPA

2-Methyl-4-Chlorphenoxyessigsäure. Mengenmäßig bedeutsames Herbizid (Pflanzenschutzmittelwirkstoff) im Getreideanbau.

#### mesotroph

Gewässer mit mittleren Nährstoffgehalten.

#### Mittelwert, Stunden-, Tages- oder Jahres-

Zur Beurteilung der Luftqualität werden die Messwerte über bestimmte Zeiträume gemittelt. In der Regel werden die Messwerte als Stunden-, Tages-, oder Jahresmittelwerte angegeben. Bei Ozon und Kohlenmonoxid werden auch 8-Stunden-Mittelwerte (gleitend) zum Vergleich mit den Grenzwerten berechnet.

#### Nachhallzeit

Wichtige raumakustische Kenngröße. Sie ist definiert als die Zeit, in der der Schalldruckpegel (welcher z. B. durch einen Knall erzeugt wurde) um 60 dB abfällt. Für unterschiedliche Frequenzen können die Nachhallzeiten stark differieren. Konzertsäle haben Nachhallzeiten von über 2 Sekunden, Unterrichtsräume sollten je nach Größe Nachhallzeiten von 0,4 bis 0,8 Sekunden aufweisen.

#### Nachhaltigkeit (Forstwirtschaft)

Die ständige und optimale Erfüllung der Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion der Wälder auch für künftige Generationen. In Bezug auf die Holzernte bedeutet es, nie mehr Holz einzuschlagen, als gleichzeitig nachwächst.

#### Nachhaltigkeitsindikator

Gemessene oder errechnete quantifizierte Kennziffern, die innerhalb eines Indikatorensystems Aussagen über Zustand und Entwicklung der Nachhaltigen Entwicklung ermöglichen sollen. Mit Hilfe von Indikatoren lässt sich der erreichte Grad zuvor gesetzter Ziele beurteilen.

#### Nachwachsende Rohstoffe

Alle biogenen Stoffe pflanzlicher und tierischer Herkunft, die nicht als Nahrungs- oder Futtermittel eingesetzt sondern stofflich oder energetisch genutzt werden.

**Natürliche Waldgesellschaft**

Auf einem Standort von menschlicher Kultur unabhängige, durch die Wuchsbedingungen, Entstehungsart und Entwicklungsdauer geprägte, von Waldbäumen dominierte Pflanzengemeinschaft.

**Naturverjüngung**

Natürlicher Aufwuchs des Waldes aus den Samen der Waldbäumes.

**Neozoen**

Tierarten, die nach dem Jahr 1492 (Beginn der Neuzeit) unter direkter oder indirekter Mitwirkung des Menschen in ein bestimmtes Gebiet gelangt sind, in dem sie vorher nicht heimisch waren, und die dort wild leben. Bei Pflanzen spricht man entsprechend von Neophyten, bei Organismen allgemein von Neobiota.

**Nichtionisierende Strahlung**

Bezeichnung für elektromagnetische Felder und Wellen, welche aufgrund ihrer Energie nicht in der Lage sind, direkt die Bindungen zwischen Atomen und Molekülen im Körper aufzulösen (z. B. Radiowellen). Im Gegensatz hierzu werden etwa Röntgen- und Gammastrahlen als ionisierende Strahlung bezeichnet.

**Nitrat (NO<sub>3</sub>-)**

Anorganische Stickstoffverbindung, die durch Reaktion von Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) mit Ozon (O<sub>3</sub>) zu Nitrat oxidiert wird.

**Nitrifikation**

Die Nitrifikation ist die Umsetzung von Ammoniak/Ammonium zu Nitrat. Sie wird im natürlichen Wasser und bei der biologischen Abwasserreinigung von nitrifizierenden Bakterien durchgeführt.

**Nitrit**

Nitrit ist das natürliche Zwischenprodukt der mikrobiellen Oxidation des Ammoniums zu Nitrat (Nitrifikation).

**NMVOC**

Non methane volatile organic compounds. Internationale Abkürzung für flüchtige organische Verbindungen ohne Methan.

**Nonylphenol**

Als nichtionisches Tensid in Waschlösungen oder als Weichmacher eingesetzter Stoff mit endokriner Wirkung. Seit Dezember 2003 in Deutschland verboten.

**Nutzenergie**

Der Anteil der Endenergie, der vom Verbraucher für den gewünschten Zweck tatsächlich genutzt wird. Die Nutzenergie ist aufgrund von Verlusten bei der Energieumwandlung in den meisten Fällen kleiner als die Endenergie. Mögliche Formen der Nutzenergie sind Wärme, Kälte, Licht oder mechanische Arbeit.

**Ökologischer Zustand**

Die Qualität von Struktur und Funktionsfähigkeit aquatischer, in Verbindung mit Oberflächengewässern stehender Ökosysteme gemäß der Einstufung nach Anhang V der Wasserrahmenrichtlinie.

**oligotroph**

Gewässer mit geringen Nährstoffgehalten und damit geringer Biomasseproduktion.

**örE**

Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger.

**Ozon (O<sub>3</sub>)**

Gas mit drei Sauerstoffatomen. Kommt natürlich in der hohen Atmosphäre (Stratosphäre) vor, entsteht aber auch durch die vom Menschen verursachten Emissionen in der bodennahen Atmosphäre.

**Partikel**

Feste Teilchen unterschiedlicher Größe und chemischer Zusammensetzung. Entstehen natürlich (Pollen, Aufwirbelung) als auch bei Verbrennungsvorgängen oder bei industriellen und gewerblichen Tätigkeiten. Man teilt partikelförmige Stoffe nach dem aerodynamischen Durchmesser ein: Gesamtschwebstaub (Total Suspended Particulates TSP) umfasst Partikel bis 35 µm Durchmesser bei gravimetrischen Messungen. Der inhalierbare Schwebstaub umfasst Partikel < 10 µm (PM<sub>10</sub>). Der lungengängige Feinstaub umfasst Partikel < 2,5 µm (PM<sub>2,5</sub>). Die ultrafeinen Partikel umfassen Partikel < 0,1 µm (UP). Sie können nicht nur tief in die Atemwege eindringen, sondern auch in die Blutbahn übertreten.

**PCB**

Polychlorierte Biphenyle.

**Perzentil**

Ein Perzentil, zu dem noch die n %-Angabe gehört (z.B. das 90%-Perzentil), bezeichnet die Stelle in einer nach Größe

geordneten Reihe von Beobachtungswerten, auf die bezogen n % aller Werte kleiner/gleich diesem Wert sind.

#### PET

Polyethylenterephthalat. Thermoplastischer Kunststoff aus der Familie der Polyester, der unter anderem zur Herstellung von Getränkeflaschen eingesetzt wird.

#### Phänologie, phänologisch

Im Jahresverlauf periodisch wiederkehrende Entwicklungserscheinungen in der Natur.

#### Phosphat

Ortho-Phosphat ist das Salz der Phosphorsäure und ein wichtiger Nährstoff für Organismen. In Fließgewässern stellt Phosphat in aller Regel den für das Pflanzenwachstum limitierenden Nährstoff dar.

#### Phosphorfraktionen

Mit unterschiedlichen Lösungsmitteln extrahierbare Anteile des Gesamtphosphors. Die leicht löslichen Fraktionen sind eher als Nährstoff für Primärproduzenten verfügbar.

#### Photooxidantien

Gruppe von reaktiven organischen und anorganischen Luftverunreinigungen, welche sich unter dem Einfluss intensiver Sonneneinstrahlung in der Atmosphäre aus Vorläuferemissionen wie Stickstoffoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) bilden. Zu dieser Stoffgruppe gehören u. a. Ozon und Peroxyacetylnitrat (PAN).

#### Phytobenthos

Unter Phytobenthos versteht man alle auf dem Gewässerboden (Benthal) lebenden Algen.

#### Phytoplankton

Der Begriff Phytoplankton bezeichnet das in Schwebelage befindliche pflanzliche Plankton. Es besteht vor allem aus Kieselalgen, Grünalgen, Goldalgen, Dinoflagellaten und Blaualgen. Als wichtigster Teil der Primärproduzenten spielt es eine Schlüsselrolle im Stoffhaushalt des Sees.

#### PM<sub>10</sub>

PM<sub>10</sub> sind die Partikel, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm einen Abscheidegrad von 50 % aufweist.

#### polytroph

Trophiegrad, der eine sehr hohe Produktion durch sehr hohe Verfügbarkeit von Nährstoffen in einem Gewässer anzeigt. Weitere Merkmale: sehr starke Algenentwicklung mehrmals im Jahr, oft im Sommer mit Blaualgen, sehr geringe Sichttiefe (<1m), sehr starker Sauerstoffmangel mit nachfolgender Schwefelwasserstoffbildung im Sommer. Je nach Nährstoffkonzentration wird zwischen polytroph 1 und polytroph 2 (hochpolytroph) unterschieden.

#### Primärenergie

Primärenergie ist der Energiegehalt von Primärenergieträgern, die noch keiner technischen Umwandlung unterworfen wurden. Durch Umwandlung können Sekundärenergieträger (z. B. elektrischer Strom) gewonnen werden. Primärenergieträger sind sowohl fossile Brennstoffe wie Stein- und Braunkohle, Erdöl und Erdgas sowie Kernbrennstoffe als auch erneuerbare Energien wie Wasserkraft, Solarenergie, Windkraft, Geothermie und Biomasse.

#### Prioritäre Stoffe / prioritär gefährliche Stoffe

Die im Anhang X der Wasserrahmenrichtlinie aufgeführten 33 Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen, für die europaweit einheitliche Umweltqualitätsnormen vorgegeben werden. Der Eintrag, der als prioritär gefährlich eingestuft ist, ist bis 2020 gänzlich einzustellen.

#### Privatwald

Wald im Privateigentum.

#### Produktivität

Indikator für die Effizienz der Nutzung eines Umwelteinsatzfaktors. Die Produktivität wird berechnet als der Quotient aus Bruttoinlandsprodukt in realen Preisen und dem Umwelteinsatzfaktor. Steigt z. B. bei gleich bleibender Wasserentnahme das Bruttoinlandsprodukt erhöht sich die Wasserproduktivität.

#### PSM

Pflanzenschutzmittel. Diese werden zur Reduzierung oder Verminderung unerwünschter Organismen („Unkräuter, Schädlingen“) im landwirtschaftlichen und nicht landwirtschaftlichen Bereich eingesetzt.

#### Punktuelle Eintrag

Stoffeintrag über eine genau lokalisierbare Einleitung.

**Quellschüttung**

Wasserabfluss (Volumenstrom) aus einer Quelle.

**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). Man unterscheidet künstliche, die durch menschliche Tätigkeit geschaffen wurden und natürliche, in der Natur vorhandene.

**Restabfall**

Abfälle, die nicht verwertet, sondern beseitigt werden, bezeichnet man als Restabfälle.

**RP**

Regierungspräsidium.

**Ruß**

Partikelförmige, kohlenstoffhaltige Produkte aus unvollständiger Verbrennung; umfasst elementaren Kohlenstoff (EC) und organischen Kohlenstoff (OC). Hauptquelle sind Dieselmotoren und Feststoffheizungen.

**Salmonidgewässer**

Salmonidgewässer sind sommerkalte Gewässer, in denen natürlicherweise Fischarten wie Lachse, Forellen und Äschen vorkommen.

**Sanierung**

Sanierung im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes ist die Durchführung von Maßnahmen 1. zur Beseitigung oder Verminderung der Schadstoffe (Dekontaminationsmaßnahmen), 2. die eine Ausbreitung der Schadstoffe langfristig verhindern oder vermindern, ohne die Schadstoffe zu beseitigen (Sicherungsmaßnahmen), 3. zur Beseitigung oder Verminderung schädlicher Veränderungen der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit des Bodens.

**SAR**

Die Spezifische Absorptionsrate (SAR) beschreibt, wie viel Leistung pro Kilogramm Körpergewicht (bzw. biologischem Material) absorbiert wird (W/kg), wenn der Körper einem hochfrequenten elektromagnetischen Feld ausgesetzt ist.

**Schall**

Mechanische Schwingungen und Wellen in elastischen Medien (z. B. Luft, Wasser, Festkörper) werden als Schall bezeichnet. Der Hörbereich des Menschen umfasst Frequenzen von etwa 16 Hz bis in den Bereich 16-20 kHz. Liegt die Frequenz des Schalls unterhalb 16 Hz, spricht man von Infraschall. Oberhalb von 20 kHz wird der Schall als Ultraschall bezeichnet.

**Schallpegel, Schalldruckpegel**

Die physikalisch objektive Erfassung von Lärm erfolgt durch den Schallpegel (Schalldruckpegel). Er wird in Dezibel (dB(A)) angegeben. Eine Änderung des Schallpegels von 1 dB(A) wird vom menschlichen Gehör gerade noch wahrgenommen. Schallpegel können nicht einfach arithmetisch addiert werden. Zwei gleich laute Schallquellen verursachen einen 3 dB(A) höheren Schalldruckpegel als eine allein. Erst die Zu- oder Abnahme um etwa 10 dB(A) wird als eine Verdoppelung bzw. Halbierung des subjektiven Höreindrucks empfunden.

**Schonwald**

Schonwälder sind Waldreservate, die – wie zahlreiche Naturschutzgebiete – der Erhaltung bestimmter Pflanzen- und Tiergesellschaften dienen. Sie eignen sich auch als „Waldmuseen“ zur exemplarischen Erhaltung historischer Waldnutzungsformen wie der Mittel- und Niederwaldwirtschaft.

**Schwebstaub**

Sämtliche festen und flüssigen Teilchen in der Außenluft, die nicht sofort zu Boden sinken, sondern eine bestimmte Zeit in der Atmosphäre verbleiben. Siehe auch Partikel.

**Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)**

Farbloses, stechend riechendes Gas. Entsteht u. a. bei der Verbrennung schwefelhaltiger Brennstoffe. Hauptquellen für Emissionen sind Heizungen, Kraftwerke und Dieselmotoren.

**Seeboden**

Komplexes Gemisch aus natürlichen und künstlichen mineralischen, biologischen und chemischen Stoffen aus dem See und seinem hydrologischen und atmosphärischen Einzugsgebiet. Vielfältige Funktion als Umweltarchiv, Lebensraum, chemischer Reaktor oder Deponie.

### Siedlungsabfall

Als Siedlungsabfall werden Abfälle wie zum Beispiel Hausmüll, Sperrmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle und Straßenkehricht bezeichnet.

### Sonderabfall

Der Begriff Sonderabfall steht als Synonym für besonders überwachungsbedürftige Abfälle. Besonders überwachungsbedürftig sind Abfälle, die nach Art, Beschaffenheit oder Menge in besonderem Maße gesundheits-, luft- oder wassergefährdend, explosibel oder brennbar sind oder Erreger übertragbarer Krankheiten enthalten oder hervorbringen können (§ 41 Abs. 1 und Abs. 3 Nr. 1 KrW-/AbfG). An die Entsorgung und Überwachung derartiger Abfälle sind nach Maßgabe des KrW-/AbfG besondere Anforderungen zu stellen.

### Spotmessstelle

Unter Spots versteht man Messungen in Straßenabschnitten, in welchen sich Menschen nicht nur vorübergehend aufhalten und Grenzwertüberschreitungen zu vermuten sind.

### Stabilität (Forstwirtschaft)

Gleichgewichtszustand, in dem Bäume oder Waldökosysteme eine hohe Elastizität und Widerstandskraft gegenüber biotischen und abiotischen Störeinflüssen besitzen. Gegensatz: Labilität.

### Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)

Stechend riechendes Gas. Aufgrund seiner Löslichkeit bzw. Reaktion mit Wasser kann es schon bei niedrigen Konzentrationen die Schleimhäute des Atemtraktes angreifen (Reizgas). Entsteht bei Verbrennungsvorgängen aus Luftstickstoff, aber auch in der Atmosphäre durch Oxidation mit Ozon und Sauerstoff aus der Primäremission NO. Lufthygienisch relevanter als NO.

### Stickstoffmonoxid (NO)

Farbloses Gas. Entsteht bei Verbrennungsvorgängen aus dem Luftstickstoff. Hauptquellen sind der Kraftfahrzeugverkehr, Kraftwerke und auch Heizungsanlagen. Wandelt sich in der Atmosphäre in NO<sub>2</sub> um.

### Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>)

Summe aus NO und NO<sub>2</sub>, wobei die Konzentration von NO in NO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet wird.

### Strahlenexposition

Einwirkung ionisierender Strahlen

### Sulfat (SO<sub>4</sub>)

Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) wird unter Beteiligung des Hydroxyl (OH)-Radikals oder direkt in Reaktion mit Sauerstoff (O<sub>2</sub>) und Licht (Photooxidation) zu Sulfat (SO<sub>4</sub>) oxidiert.

### SVF

Siedlungs- und Verkehrsfläche.

### Toxin

Von bestimmten Organismen gebildeter Giftstoff.

### Treibhauseffekt

Man unterscheidet den natürlichen und den anthropogenen Treibhauseffekt. Ohne den natürlichen Treibhauseffekt wäre es auf der Erde um 33 °C kälter. Grund ist die Eigenschaft der Atmosphäre, einen Teil der langwelligen, von der Erdoberfläche reflektierten Wärmestrahlung zu absorbieren bzw. zu reflektieren. Verantwortlich dafür sind die Treibhausgase, wie Wasserdampf, Kohlendioxid und Methan. Steigt nun deren Anteil in der Atmosphäre an, verstärkt sich der Treibhauseffekt und man spricht zusätzlich zum natürlichen vom anthropogenen Treibhauseffekt.

### Treibhausgase

Gase, die zum Treibhauseffekt beitragen. Treibhausgase sind natürlichen und anthropogenen Ursprungs, wie Wasserdampf, Kohlendioxid, Lachgas/Distickstoffoxid, Methan und Ozon. Dazu kommen ausschließlich durch menschliche Aktivitäten verursachte Treibhausgase wie Halogenkohlenwasserstoffe oder Schwefelhexafluorid. Sie besitzen die Eigenschaft, Infrarotstrahlung, die von der Erdoberfläche, der Atmosphäre oder den Wolken ausgestrahlt wird, zu absorbieren oder zu reflektieren.

### Tritium

Überschwerer Wasserstoff, abgekürzt H-3 oder T. Ein Wassermolekül, das Tritium enthält, wird mit HTO abgekürzt.

### Trophie

Intensität der Erzeugung von organischer Substanz insbesondere durch grüne Pflanzen. Diese bauen mit Hilfe von anorganischen Nährstoffen und Lichtenergie körpereigene Substanz auf.

**ubiquitär**

Lat.: überall vorkommend.

**Umweltindikator**

Gemessene oder errechnete quantifizierte Kennziffern, die innerhalb eines Indikatorensystems Aussagen über Zustand und Entwicklung der Umwelt ermöglichen sollen. Mit Hilfe von Indikatoren lässt sich der erreichte Grad zu vor gesetzter Ziele beurteilen.

**Umweltschutzmaßnahmen, additive**

In der Regel separate, vom übrigen Produktionsprozess getrennte (sog. End-of-Pipe) Anlagen oder Einrichtungen für den Umweltschutz, die zum Beispiel der Entsorgung von Abfällen (Verbrennungs-, Behandlungsanlagen), dem Schutz von Gewässern (Kläranlage), der Lärmbekämpfung (Lärmschutzwand) oder der Luftreinhaltung (Abluftfilter) dienen. Sie sind vorhandenen Produktionsanlagen vor- oder nachgeschaltet, damit die durch den Produktionsprozess entstehenden Emissionen verringert und Umweltschutzstandards (Grenzwerte) eingehalten werden können.

**Umweltschutzmaßnahmen, integrierte**

Integrierte Umweltschutzinvestitionen umfassen anlage- und prozessintegrierte Maßnahmen. Die Umweltbelastung wird hier nicht nachgeschaltet, sondern direkt bei der Leistungserstellung (Produktion) vermindert. Beispiele stellen die Kreislaufführung von Stoffen und Kühlwasser, die Rückgewinnung von Stoffen durch Absorptionsfilter und Wasserbehandlungselemente oder Verfahrensänderungen zur Verwendung umweltfreundlicherer Roh- und Hilfsstoffe dar.

**Umweltschutzmaßnahmen, produktbezogene**

Investitionen zur Herstellung von Erzeugnissen, die bei Ge- oder Verbrauch eine geringere Belastung der Umwelt verursachen als bisherige Produkte. Meldepflichtig für die entsprechende Statistik sind allerdings nur solche Maßnahmen, denen eine gesetzliche Vorschrift bzw. eine Selbstverpflichtungserklärung zugrunde liegt.

**UN-ECE**

United Nations Economic Commission for Europe

**Verkehrsmessstation**

An Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen wurden straßennahe Luftmessstationen zur Überwachung der Immissionen des Kfz-Verkehrs eingerichtet. Im Luftmessnetz

Baden-Württemberg werden vier Stationen dauerhaft betrieben. 20 weitere sind Spotmesspunkte.

**Verwertung**

Abfälle können stofflich (Wiederverwendung – klassisches Recycling), rohstofflich (z. B. Methanolverwertung aus organischen Abfällen) oder energetisch (Verbrennung von Abfällen zur Energieerzeugung) verwertet werden.

**VOC**

Volatile Organic Compounds. Internationale Abkürzung für flüchtige organische Verbindungen.

**Wasserkörper**

Gemäß Wasserrahmenrichtlinie ist ein Wasserkörper ein einheitlicher und bedeutender Abschnitt eines Oberflächengewässers, wie etwa ein See, ein Speicherbecken, ein Fluss oder ein Kanal, ein Teil eines Flusses oder eines Kanals, ein Übergangsgewässer oder ein Küstengewässerstreifen.

**Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)**

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie ist am 22.12.2000 in Kraft getreten und bildet den europaweit einheitlichen Ordnungsrahmen zum Schutz aller Gewässer (Oberflächengewässer und Grundwasser). Sie wurde mit der Änderung des Wassergesetzes für Baden-Württemberg vom 22.12.2003 in baden-württembergisches Recht umgesetzt.

**WHO-PCDD/F-TEQ**

Toxizitätsäquivalente (TEQ) verschiedener Dioxine und Furane bezogen auf die giftigste Verbindung dieser Gruppe (2,3,7,8-TCDD) entsprechend dem Berechnungsmodell der Weltgesundheitsorganisation (WHO).

**Zooplankton**

Das Zooplankton setzt sich im Wesentlichen aus Kleinkrebsen – Hüpferlingen (Copepoda) und Wasserflöhen (Cladocera) – und Rädertierchen (Rotatorien) zusammen. Sie ernähren sich von Algen, tierischen Einzellern und Bakterien; es gibt aber auch räuberische Formen (z. B. Cyclops, Bythotrephes, Leptodora). Das Zooplankton bildet die hauptsächliche Nahrungsrundlage für die Fische des Freiwassers.



# Einheiten

## SI (Systeme Internationale) - Basiseinheiten

Physikalisches Maß	Name der Einheit	Symbol
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Stromstärke	Ampere	A
Thermodynamische Temperatur	Kelvin	K

## SI-Vorsätze

Bruchteil	Präfix	Symbol	Vielfaches	Präfix	Symbol
$10^{-1}$	dezi	d	10	deka	da
$10^{-2}$	zenti	c	$10^2$	hekto	h
$10^{-3}$	milli	m	$10^3$	kilo	k
$10^{-6}$	mikro	$\mu$	$10^6$	mega	M
$10^{-9}$	nano	n	$10^9$	giga	G
$10^{-12}$	pico	p	$10^{12}$	tera	T
$10^{-15}$	femto	f	$10^{15}$	peta	P

## Gesetzliche Einheiten

Physikalisches Maß	Name	Symbol	Beziehungen
Kraft	Newton	N	
Druck	Pascal	Pa	
Leistung	Watt	W	
Energie, Arbeit	Joule	J	
	Kilowattstunde	kWh	1 kWh = 3600 kJ
elektrische Spannung	Volt	V	
Frequenz	Hertz	Hz	
Äquivalentdosis	Sievert	Sv	
Strahlung (Radioaktivität)	Becquerel	Bq	
Schalldruckpegel	Dezibel	dB	
Magnetische Flussdichte	Tesla	T	
Zeit	Minute	min	1 min = 60 s
	Stunde	h	1 h = 60 min
	Tag	d	1 d = 24 h
	Jahr	a	1 a = 365 d
Fläche	Quadratmeter	m <sup>2</sup>	
	Hektar	ha	1 ha = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
Volumen	Qubikmeter	m <sup>3</sup>	
	Liter	l	1 l = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
Masse	Tonne	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg
Temperatur	Grad Celsius	°C	0°C = ca. 273 K

## sonstige Einheiten

ppm	parts per million/Teile pro Million (10 <sup>6</sup> )
ppb	parts per billion/Teile pro Milliarde (10 <sup>9</sup> )