



# Umweltdaten 2009 Baden-Württemberg



Baden-Württemberg

UMWELTMINISTERIUM



# Umweltdaten 2009

## Baden-Württemberg

<b>HERAUSGEBER</b>	Umweltministerium Baden-Württemberg Postfach 10 34 39, 70029 Stuttgart <a href="http://www.um.baden-wuerttemberg.de">www.um.baden-wuerttemberg.de</a>  LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe <a href="http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de">www.lubw.baden-wuerttemberg.de</a>
<b>BEARBEITUNG</b>	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
<b>REDAKTION</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Referat 21 – Grundsatz, Forschung, Nachhaltigkeit Dr. Karin Deventer, Susanne Herzig
<b>BEZUG</b>	Die Broschüre ist kostenlos erhältlich bei der Verlagsauslieferung der LUBW JVA Mannheim – Druckerei Herzogenriedstraße 111, 68169 Mannheim Telefax 0621/398-370 <a href="mailto:bibliothek@lubw.bwl.de">bibliothek@lubw.bwl.de</a> Download unter: <a href="http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de">www.lubw.baden-wuerttemberg.de</a>
<b>ISBN</b>	978-3-88251-344-8
<b>STAND</b>	November 2009, 1. Auflage
<b>DRUCK</b>	Greiserdruck, 76437 Rastatt Gedruckt auf Recyclingpapier
<b>BILDNACHWEIS</b>	A81 am Schönbuchtunnel: Rainer Sturm / PIXELIO; dampfende Schornsteine: Kurt F. Domnik / PIXELIO; Bach: Jürgen Höß; Raps-Raupe: K. H. Heinrichsmeier
<b>KARTEN</b>	Die Karten wurden, soweit nicht anders vermerkt, auf Basis des Räumlichen Informations- und Planungssystems RIPS der LUBW und des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems ATKIS des Landesamts für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg erstellt. © Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg ( <a href="http://www.lglbw.de">www.lglbw.de</a> ) Az.: 2851.9-1/19

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



# Vorwort



Liebe Leserinnen und Leser,

der Mensch ist Teil der Natur. Sie hält für uns das bereit, was wir zum Überleben brauchen: Nahrung und Trinkwasser, saubere Luft und fruchtbare Böden. Dieses Lebensumfeld gilt es zu bewahren, damit unsere Kinder die Chancen für ihr Leben behalten. Wir müssen heute aktiv sein, um dies für die Zukunft zu sichern. Dazu gehört die schonende Nutzung der zum Teil endlichen Ressourcen und der respektvolle Umgang mit der Natur.

Für eine zukunfts- und umweltorientierte Handlungsweise im Bereich der Umweltpolitik müssen die Informationen über den Zustand und die Entwicklung der verschiedenen Umweltbereiche bekannt sein. Die 'Umweltdaten 2009' liefern dazu die notwendigen Fakten. Sie erlauben die Beurteilung des Zustandes unserer Umwelt. Sie dienen der umfassenden Information der Öffentlichkeit über Zustand und Entwicklung unserer Lebensgrundlagen. Sie ermöglichen in vielen Bereichen, die Entwicklung über eine lange Zeitreihe zu verfolgen und die Erfolge einer konsequenten Umweltpolitik zu belegen.

So sind in der Luftreinhaltung große Erfolge beispielsweise bei der Minderung der Schwefeldioxidemissionen erzielt worden. Beim Ausstoß von Treibhausgasen wurde für das Jahr 2007 eine deutliche Reduzierung festgestellt. Verstärkte Anstrengungen sind jedoch weiterhin notwendig, um den Ausstoß von Schadstoffen weiter zu verringern und einen wirksamen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

Auch beim Gewässerschutz wurden große Fortschritte erreicht. Die Qualität der Fließgewässer wurde durch den Ausbau der Abwasserreinigung deutlich verbessert. Im Grundwasser ist ein Rückgang der Nitrat-Konzentrationen zu beobachten, dennoch überschreitet jede neunte Messstelle die Qualitätsnorm der Grundwasserrichtlinie.

Die Belastung des Menschen mit Lärm ist eines der direkt wahrnehmbaren Umweltprobleme. Im Zuge der EU-Umgebungslärmrichtlinie wurden die Schallpegel für die Ballungsräume Stuttgart, Karlsruhe und Mannheim sowie die Hauptverkehrsstraßen, Hauptseisenbahnlinien und Großflughäfen kartiert. Nun ist es die Aufgabe der Kommunen, Lärmaktionspläne aufzustellen. Um beim Lärmschutz voran zu kommen, müssen viele Akteure zusammenwirken. In erster Linie die Verkehrsträger im Bereich des Straßen-, Schienen- und Flugverkehrs, aber eben auch die Menschen selbst, die durch ihr Verhalten oder durch eine Investition in Lärmschutz zur Verbesserung der Situation beitragen können.

Der Klimawandel spielt in allen umweltrelevanten Bereichen wie der Luftreinhaltung, der Gewässernutzung und dem Schutz der biologischen Vielfalt eine große Rolle. Es gilt, die Auswirkungen und die Folgen auf regionaler Ebene zu beobachten und geeignete Anpassungsmaßnahmen zu ergreifen. In den Umweltdaten 2009 finden Sie beispielsweise Daten zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt und auf die Natur.

Umweltschutz geht uns alle an, schützen kann man aber nur das, was man kennt. In diesem Sinne wünsche ich allen Leserinnen und Lesern eine aufschlussreiche und einprägsame Lektüre.

Mein Dank gilt all denen, die zum Gelingen der Umweltdaten 2009 beigetragen haben.

A handwritten signature in black ink that reads 'Tanja Gönner'. The signature is fluid and cursive.

Tanja Gönner

Umweltministerin des Landes Baden-Württemberg

# Vorwort



Liebe Leserinnen und Leser,

Sauberes Wasser, saubere Luft und eine artenreiche Pflanzen- und Tierwelt in funktionierenden Naturräumen sind die Grundlage für ein gesundes Lebensumfeld und Voraussetzung für sozialen Frieden und wirtschaftliche Dynamik.

Um die Umwelt auf Dauer erhalten zu können und Schutzmaßnahmen wirksam anzusetzen, sind detaillierte Kenntnisse über den Zustand und die Entwicklung der verschiedenen Umweltbereiche notwendig. Sie liefern eine fundierte Grundlage für Maßnahmen zum Erhalt und zur Verbesserung unserer Umwelt. Gleichzeitig wird damit auch eine Erfolgskontrolle der durchgeführten Maßnahmen möglich.

Mit den „Umweltdaten 2009“ veröffentlicht das Umweltministerium Baden-Württemberg und die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg nunmehr zum elften Mal eine umfassende

Zusammenstellung der Umweltsituation im Land. Neben aktuellen Daten zeigen vor allem die Zeitreihen der Umweltindikatoren die Entwicklung in den verschiedenen Bereichen unserer Umwelt.

Die aktuellen Umweltdaten 2009 berichten nicht nur ausführlich über die klassischen Umweltmedien Wasser, Boden, Luft sowie über Natur und Landschaft. Auch eher technische Themen wie elektromagnetischer Felder, Belastung durch Radioaktivität oder Bedrohung der Umwelt durch Betriebsunfälle in technischen Anlagen erhalten ausreichend Raum. Dass wir alle aber nicht nur Betroffene, sondern immer auch Verursacher von Umweltproblemen sind, wird in informativen Kapiteln zum Thema Lärm und zur Abfallwirtschaft besonders deutlich.

Damit sind die „Umweltdaten 2009“ nicht nur ein umfangreiches Nachschlagewerk, sondern verdeutlichen auf leicht verständliche Weise die komplexen Zusammenhänge zwischen Mensch, Natur und Technik. Sie zeigen die Notwendigkeit auf, auch weiterhin alle Anstrengungen zu unternehmen, um unsere natürliche Umwelt zu erhalten und ihren Zustand weiter zu verbessern.

Margareta Barth

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

<b>1</b>	<b>NACHHALTIGES BADEN-WÜRTTEMBERG</b>	<b>7</b>
1.1	Umweltindikatoren	8
1.2	Umwelt und Wirtschaft	18
1.3	Lokale Agenda 21	23
1.4	Umweltforschung	24
<b>2</b>	<b>NATÜRLICHE RESSOURCEN</b>	<b>26</b>
2.1	Rohstoffgewinnung und -verbrauch	26
2.2	Bodennutzung und Flächeninanspruchnahme	28
2.3	Landschaftszerschneidung	31
2.4	Wassergewinnung und Wassernutzung	31
2.5	Energieerzeugung und -verbrauch	33
<b>3</b>	<b>KLIMA</b>	<b>41</b>
3.1	Klimawandel und Klimaschutz	41
3.2	Emission von Treibhausgasen	42
3.3	Klimafolgen	45
<b>4</b>	<b>LUFTREINHALTUNG</b>	<b>54</b>
4.1	Emissionen	54
4.2	Verkehr und Luftschadstoffe	60
4.3	Immissionen	71
4.4	Depositionen	87
<b>5</b>	<b>LÄRM</b>	<b>89</b>
5.1	Belästigung durch Lärm	89
5.2	Umgebungslärmkartierung und Lärmaktionsplanung	90
5.3	Lärmarten – Erkenntnisse und Entwicklungen	96
<b>6</b>	<b>WASSER</b>	<b>104</b>
6.1	Grundwasser	104
6.2	Hydrologie der Oberflächengewässer	115
6.3	Zustand der Fließgewässer	118
6.4	Stehende Gewässer	135
6.5	Abwasser	142
<b>7</b>	<b>BODEN</b>	<b>147</b>
7.1	Bodenmonitoring in Baden-Württemberg	147
7.2	Bodendauerbeobachtung	147
7.3	Regionales Bodenmonitoring	151
7.4	Geogene Sonderböden	152

<b>8</b>	<b>NATUR UND LANDSCHAFT</b>	153
8.1	Flächenschutz	153
8.2	Artenschutz	158
8.3	Umsetzung der Europäischen Richtlinien	161
8.4	Medienübergreifende Umweltbeobachtung	164
8.5	Wald	172
<b>9</b>	<b>ABFALLWIRTSCHAFT</b>	177
9.1	Von der Abfallwirtschaft zur Ressourcenwirtschaft	177
9.2	Abfallaufkommen in Baden-Württemberg	177
9.3	Entsorgung von Abfällen	180
<b>10</b>	<b>ANLAGENSICHERHEIT</b>	183
10.1	Anzahl der Betriebsbereiche in Baden-Württemberg	183
10.2	Standorte der Betriebsbereiche in Baden-Württemberg	183
10.3	Betriebsbereiche und ihre Tätigkeiten	184
10.4	Meldepflichtige Ereignisse	184
<b>11</b>	<b>RADIOAKTIVITÄT</b>	186
11.1	Radioaktivitätsüberwachung	186
11.2	Strahlenbelastung des Menschen	192
<b>12</b>	<b>ELEKTROMAGNETISCHE FELDER</b>	196
12.1	Vorkommen in der Umwelt	196
12.2	Grenzwerte	197
12.3	Einwirkungen durch elektromagnetische Felder	198
<b>13</b>	<b>ALTLASTEN</b>	203
13.1	Erfassung	203
13.2	Gefährdungsabschätzung	205
13.3	Sanierung	206
	<b>LITERATUR</b>	207
	<b>GLOSSAR</b>	217
	<b>EINHEITEN</b>	224

# 1 Nachhaltiges Baden-Württemberg

## WAS IST „NACHHALTIGES WIRTSCHAFTEN“?

Der Begriff der „Nachhaltigkeit“ wurde erstmals 1713 für die Forstwirtschaft niedergeschrieben als eine „continuierliche beständige und nachhaltige Nutzung (...)“ des Waldes [CARLOWITZ 1713]. Zugrunde lag das Prinzip, dass ein natürliches System nur dann erhalten werden kann, wenn nicht mehr geerntet wird, als nachwachsen kann. Über 250 Jahre später findet der Begriff der „Nachhaltigkeit“ – mit erweiterter Bedeutung im Sinne eines „weltweiten Gleichgewichts“ – in der Studie „Grenzen des Wachstums“ des Club of Rome weltweite Aufmerksamkeit [CLUB 1972].

## KONFERENZ VON RIO DE JANEIRO 1992

In der Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro, an der Delegationen aus 178 Staaten teilnahmen, wurde die Nachhaltigkeit eines der zentralen Themen der erarbeiteten Ergebnisse. Unter einer nachhaltigen Entwicklung versteht man jetzt eine „(...) Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen“. Das Wachstum von heute darf also nicht die natürlichen Lebensgrundlagen zukünftiger Generationen gefährden, was neben der intakten Umwelt auch das wirtschaftliche Auskommen und den sozialen Ausgleich betrifft.

## NACHHALTIGE POLITIK IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Mit dem Leitmotiv „Jetzt das Morgen gestalten“ richtet Baden-Württemberg sein politisches Handeln an der Grundidee der Nachhaltigkeit aus. Ziel der im März 2007 gestarteten Nachhaltigkeitsstrategie des Landes ist die gemeinsame Entwicklung langfristiger Handlungsleitlinien, mit denen die Prinzipien der Nachhaltigkeit in allen bedeutenden politischen und gesellschaftlichen Feldern verankert werden sollen [UM 2008].

Ein Baustein dieser Nachhaltigkeitsstrategie ist der regelmäßig fortgeschriebene Umweltplan Baden-Württemberg, der zuletzt im Dezember 2007 fortgeschrieben wurde und die Grundlagen und Ziele der Umweltpolitik Baden-Württembergs formuliert [UM 2007].

Als oberstes Steuerungsgremium der Nachhaltigkeitsstrategie des Landes dient die Nachhaltigkeitskonferenz. Die-

sem Gremium gehören neben allen Ministerinnen und Ministern des Landes Vertreter aus Wirtschaft und Industrie, der Sozialverbände, Umwelt- und Naturschutzverbände, Kommunen, Landwirtschaft und Bildungsorganisationen an. Die Nachhaltigkeitskonferenz tagt einmal jährlich.

## INDIKATOREN ALS KENNGRÖSSEN

Nachhaltiges Handeln führt naturgemäß erst auf mittlere Sicht zu erkennbaren Veränderungen. Dennoch müssen Entscheidungsträger frühzeitig und regelmäßig über die Wirksamkeit der angestoßenen Maßnahmen informiert sein. Hierfür werden objektive Kenngrößen benötigt, die Informationen verdichten und so Entwicklungen und Trends sichtbar machen können. Bereits die UN-Konferenz in Rio de Janeiro 1992 forderte in Kapitel 40 der dort verabschiedeten Agenda 21 die Entwicklung solcher Mess- und Kennzahlen, den so genannten Indikatoren. Sowohl international, z. B. von der „United Nations Division for Sustainable Development“, wie auch auf Länderebene, z. B. die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft „Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit“ – BLAG KliNa“, die „Länderinitiative Kernindikatoren – LIKI“ oder der „Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder – AG UGRdL“, beschäftigen sich seither Gremien mit der Definition, Optimierung und Vereinheitlichung von Indikatoren für die Bereiche Wirtschaft, Soziales und Umwelt.

## 1.1 UMWELTINDIKATOREN

Der vorliegende Indikatorensetz für das Land Baden-Württemberg umfasst die in Tabelle 1.1-1 dargestellten auf der Bund- /Länderebene abgestimmten Umweltindikatoren [BLAG KLINA 2007].

Neben der Definition des jeweiligen Indikators und seiner Bedeutung im Kontext der Nachhaltigen Entwicklung werden auch die im Umweltplan Baden-Württemberg bzw. dem Klimaschutzkonzept 2010 [UM 2005] festgelegten Ziele angeführt. 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 wird außerdem der derzeitige Status in Bezug zum Zielwert sowie der langfristige Trend anhand

Tab. 1.1-1: Umweltindikatoren in Baden-Württemberg [BLAG KLINA 2007].

<b>Klimaschutz und Energiepolitik</b>
Kohlendioxidemissionen
Energieproduktivität
Energieverbrauch
Klimaentwicklung – Phänologische Veränderungen
<b>Umweltverträgliche Mobilität</b>
Verkehrsleistung
Kohlendioxidemissionen des Verkehrs
<b>Ressourcennutzung</b>
Rohstoffproduktivität
Endenergieverbrauch privater Haushalte
Abfall
Umweltmanagement
<b>Schutz natürlicher Ressourcen</b>
Nitratgehalt des Grundwassers
Gewässergüte
Naturschutzflächen
Waldzustand
<b>Umwelt, Ernährung und Gesundheit</b>
Ökologische Landwirtschaft
Luftqualität – Feinstaubemissionen
Luftqualität – Stickstoffdioxidemissionen
Luftqualität – Bodennahes Ozon
<b>Flächennutzung, Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz</b>
Flächenverbrauch
Landschaftszerschneidung

seines Verlaufs während der letzten zehn Jahre gezeigt.

Für einige Indikatoren ist die Datengrundlage in Baden-Württemberg noch nicht ausreichend vorhanden. Dazu gehören die Indikatoren ‚Lärmbelastung‘, ‚Repräsentative Arten‘ und ‚Stickstoff Überschuss (Flächenbilanz)‘. Die Aus- und Bewertung der entsprechenden Daten wird weiterverfolgt.

### 1.1.1 KOHLENDIOXIDEMISSIONEN

**Definition:** Energiebedingte Kohlendioxidemissionen in Millionen Tonnen pro Jahr (Mio. t/a) und Tonnen pro Einwohner und Jahr (t/E·a).

**Bedeutung:** Die energiebedingten Kohlendioxidemissionen 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 Kohlendioxidemissionen um 2 bis 4 Mio. t/a im Durchschnitt der Jahre 2008 bis 2012 zu vermindern. Baden-Württemberg unterstützt damit die Erfüllung der auf Deutschland entfallenden Kyoto-Verpflichtung zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen zwischen 1990 und der Periode 2008 bis 2012 um 21 % [UM 2005].

**Status:** Die energiebedingten Kohlendioxidemissionen in Baden-Württemberg lagen nach vorläufigen Angaben im Jahr 2007 bei rund 71 Mio. t. Sie tragen mit knapp einem Zehntel zu den Gesamtemissionen energiebedingten Kohlendioxids in Deutschland bei. Bei den Kohlendioxidemissionen pro Einwohner liegt Baden-Württemberg im Vergleich

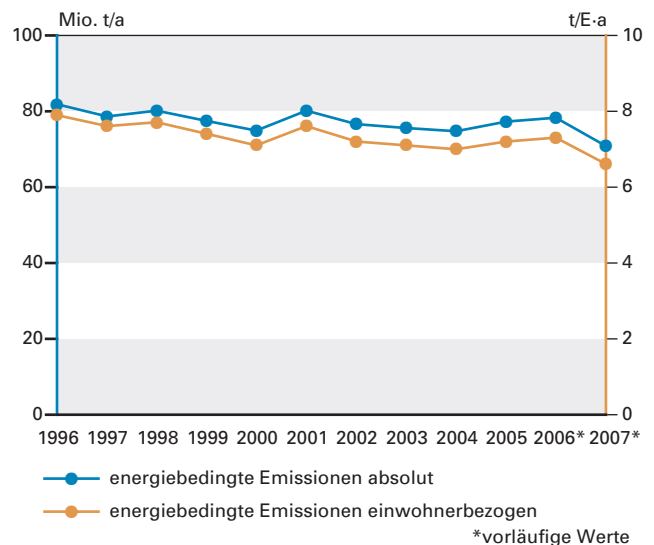


Abb. 1.1-1: Kohlendioxidemissionen. Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen 2009, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009



mit anderen Bundesländern im Mittelfeld [LAK 2008].

**Trend:** Während der letzten zehn Jahre sind die Kohlendioxidemissionen in Baden-Württemberg insgesamt leicht gesunken. Da die Bevölkerungszahl im Beobachtungszeitraum seit 1990 gestiegen ist, ist die Verringerung bei den spezifischen Emissionen pro Einwohner deutlicher.

### 1.1.2 ENERGIEPRODUKTIVITÄT

**Definition:** Bruttoinlandsprodukt pro Primärenergieverbrauch als Index (1991 = 100 %).

**Bedeutung:** Die Energieproduktivität stellt ein Maß für die Effizienz der Energieverwendung dar, indem die Wertschöpfung in Beziehung zum Energieverbrauch gesetzt wird. Es 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.

**Status:** Gegenüber dem Basisjahr 1991 konnte die Energieproduktivität in Baden-Württemberg auf 121 % gesteigert werden. Baden-Württemberg liegt damit bei der Steigerung der Energieproduktivität etwa im bundesdeutschen Durchschnitt von 123 % (Wert für 2006) [STALA 2009].

**Trend:** Die Energieproduktivität zeigt bis auf eine stagnierende Phase von 2000 bis 2005 einen Aufwärtstrend. Die wirtschaftliche Entwicklung in Baden-Württemberg koppelt sich langsam vom Energieverbrauch ab.

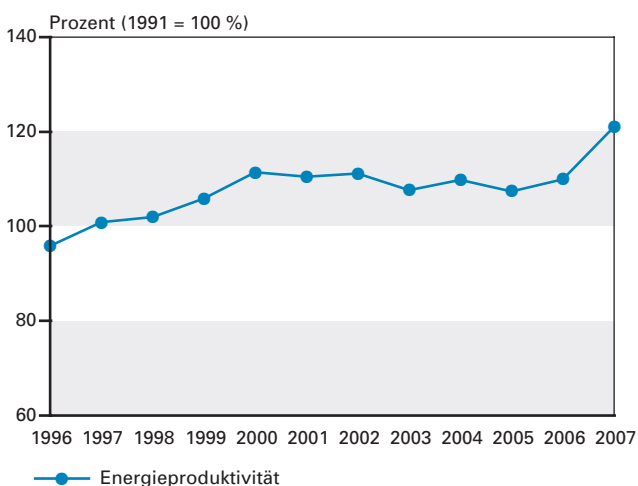


Abb. 1.1-2: Energieproduktivität. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

### 1.1.3 ENERGIEVERBRAUCH

**Definition:** Primärenergieverbrauch in Petajoule ( $10^{15}$  Joule) pro Jahr (PJ/a), ausgewiesener Anteil regenerativer Energie in Prozent und Primärenergieverbrauch in Gigajoule ( $10^9$  Joule) pro Einwohner und Jahr (GJ/E·a).

Die dargestellten Daten werden für alle Bundesländer von den Statistischen Landesämtern bereit gestellt. Sie unterscheiden sich auf Grund abweichender statistischer Verfahren von eigenen Berechnungen des Umweltministeriums Baden-Württemberg (Kap. 2.5). Beim Primärenergieverbrauch betragen die Unterschiede maximal 2 % (2002). Beim Anteil der regenerativen Energien am Primärenergieverbrauch liegen die Abweichungen bei  $\leq 10$  %. Größere Abweichungen um bis zu 32 % zeigen die Jahre 2002 bis 2004.

**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 und neue Formen der Energieversorgung zu finden. Neben der Energieeinsparung kann dies die Umstellung auf regenerative Energieträger sein, die die mit dem Energieverbrauch einhergehenden Umweltbelastungen minimieren.

**Ziel:** Das Land strebt an, bis 2020 den Anteil regenerativer Energien am Primärenergieverbrauch auf mindestens 12 % zu steigern [MR 1999].

**Status:** Der Anteil regenerativer Energien am Primärenergieverbrauch hat in den letzten Jahren stark zugenommen

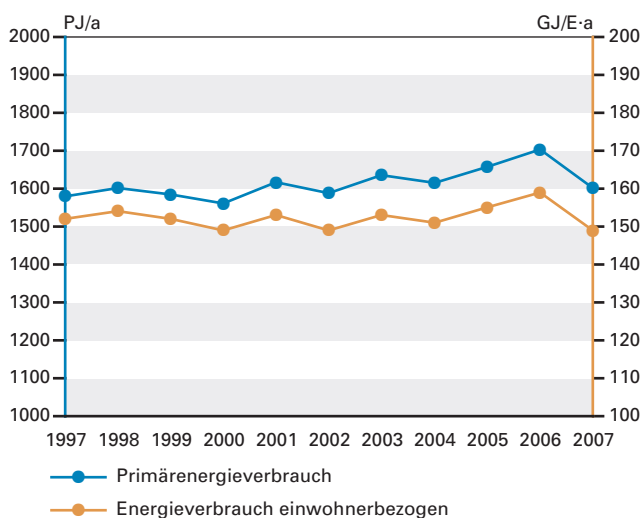


Abb. 1.1-3: Primärenergieverbrauch und Primärenergieverbrauch einwohnerbezogen. Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen 2009, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

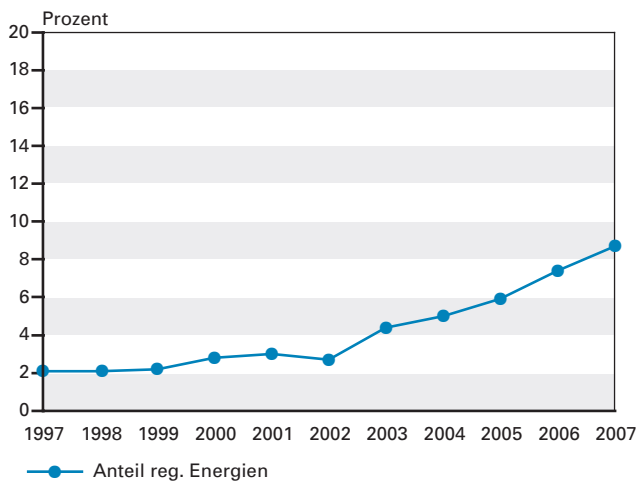


Abb. 1.1-4: Anteil regenerativer Energien. Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen 2009, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

und liegt im Jahr 2007 bei 8,7 %, der Bundesdurchschnitt beträgt 7,0 % [AGEB 2009].

**Trend:** Der Anteil regenerativer Energien am Primärenergieverbrauch zeigt seit 1999 eine deutlich steigende Tendenz. Der Energieverbrauch nimmt im Erhebungszeitraum 1997 bis 2006 geringfügig zu, zeigt 2007 im Vergleich zum Jahr 2006 jedoch einen deutlichen Rückgang.

#### 1.1.4 KLIMAENTWICKLUNG – PHÄNOLOGISCHE VERÄNDERUNGEN

**Definition:** Veränderung des Beginns der Apfelblüte in Tagen pro zehn Jahre [d/10a] und Veränderung der Dauer der Vegetationsperiode in Tagen pro zehn Jahren [d/10a].

**Bedeutung:** Die Phänologie befasst sich mit den im jahreszeitlichen Ablauf periodisch auftretenden Erscheinungen der Pflanzen- und Tierwelt, z. B. Blattaustrieb, Blüte und Blattfall, Zugverhalten und Paarungszeit von Vögeln. Verschiebungen der jeweiligen phänologischen Phasen in Abhängigkeit von Temperaturveränderungen sind wissenschaftlich belegt. Aus den Eintrittszeiten phänologischer Phasen kann somit der Einfluss veränderter Umweltbedingungen, vor allem Änderungen von Witterung und Klima, auf die Vegetationsentwicklung ermittelt werden. Langjährige Datenreihen haben dabei einen hohen Stellenwert.

**Status:** Von 1990 bis 2000 hat sich die Vegetationsperiode um 2,8 Tage verlängert. Im selben Zeitraum verschob sich die Apfelblüte um mehr als 4 Tage noch vorne. Der Vergleich der Zeiträume 1961 bis 1990 mit 1990 bis 2005 zeigt eine Vorverlagerung des Frühlings um durchschnittlich neun Tage (Kap. 3.3.2.2).

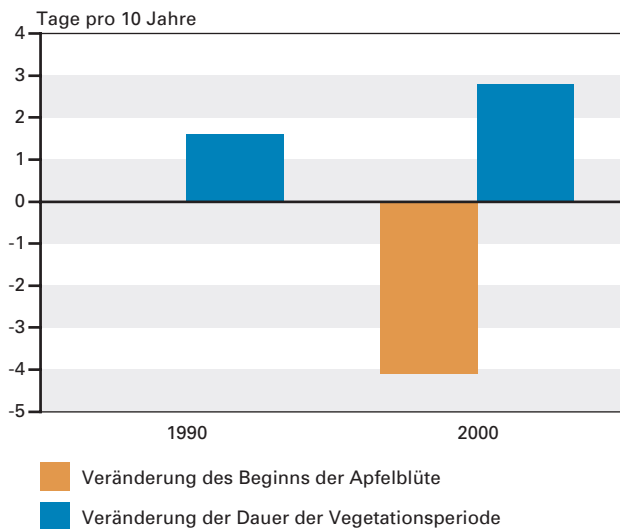


Abb. 1.1-5: Klimaentwicklung: Phänologie. Quelle: Deutscher Wetterdienst 2009

**Trend:** Die frühere Apfelblüte zeigt den früheren Beginn einer verlängerten Vegetationsperiode in Baden-Württemberg.

#### 1.1.5 VERKEHRSLAISTUNG

**Definition:** Güterverkehrsleistung von Straßengüterverkehr, Eisenbahn und Binnenschifffahrt in Milliarden Tonnenkilometern pro Jahr (Mrd. tkm/a) und Anteil des Schienen- und Binnenschiffsverkehrs an der Güterverkehrsleistung in Prozent sowie Personenkilometer pro Einwohner und Jahr (Pkm/E·a) im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) ab 2004.

**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. Mit dem Aktionspaket „Umweltfreundliche Mobilität“ will Baden-Württemberg die Verlagerung eines möglichst großen Teils des Verkehrszuwachses auf CO<sub>2</sub>-ärmere Verkehrssysteme unterstützen und den öffentlichen Personennahverkehr weiter stärken.

**Status:** Aktuell liegt der Anteil des Schienen- und Binnenschiffsverkehrs trotz insgesamt steigender Güterverkehrsleistung bei nur knapp 23 %. Baden-Württemberg liegt damit etwa im bundesdeutschen Mittel [DESTATIS 2009].

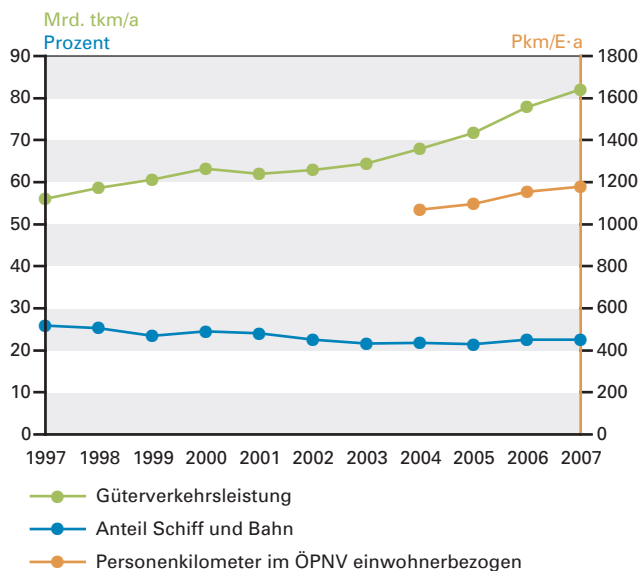


Abb. 1.1-6: Verkehrsleistungen und Personenkilometer im ÖPNV. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

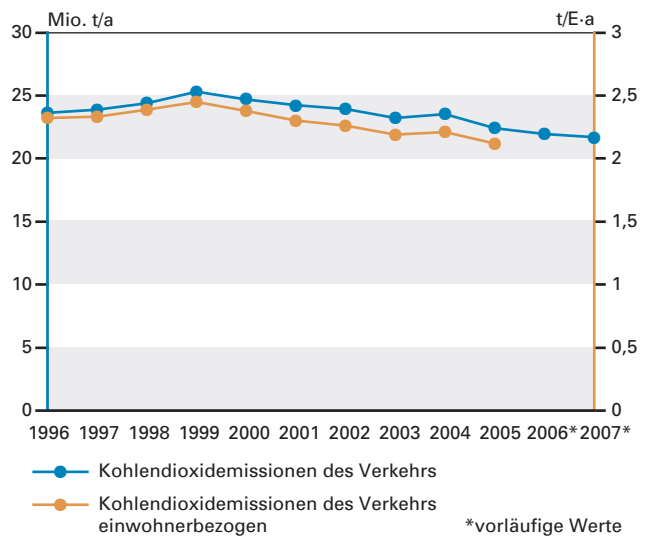


Abb. 1.1-7: Kohlendioxidemissionen des Verkehrs. Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen 2009

**Trend:** Obwohl die Güterverkehrsleistung in Baden-Württemberg seit 1997 um 45 % gestiegen ist, zeigt der Anteil der Verkehrsleistung auf der Schiene wie auch der Anteil der Binnenschifffahrt an der Güterverkehrsleistung in den letzten zehn Jahren einen rückläufigen Trend. Die Nutzung des öffentlichen Personennahverkehrs nahm seit 2004 um ca. 10 % zu.

### 1.1.6 KOHLENDIOXIDEMISSIONEN DES VERKEHRS

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

**Bedeutung:** 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 an, die Kohlendioxidemissionen des Verkehrs bis 2010 spürbar zu verringern.

**Status:** Mit Kohlendioxidemissionen des Verkehrs von 22 Mio. t/a wurde der niedrigste Wert seit 1992 erreicht.

**Trend:** Die Kohlendioxidemissionen des Verkehrs stiegen bis 1999 an. Seit 2000 ist in Baden-Württemberg eine geringfügige Reduktion zu verzeichnen. Durch steigende Fahrleistung wird der sinkende durchschnittliche Kraftstoffverbrauch immer noch weitgehend kompensiert.

### 1.1.7 ROHSTOFFPRODUKTIVITÄT

**Definition:** Verhältnis des Bruttoinlandsprodukts zur Inanspruchnahme von nicht erneuerbaren Rohstoffen in 1 000 €

pro Tonne, dargestellt als Index mit 1994 = 100 %.

**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 Kohlendioxidemissionen. 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.

**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 um den Faktor zwei gesteigert werden.

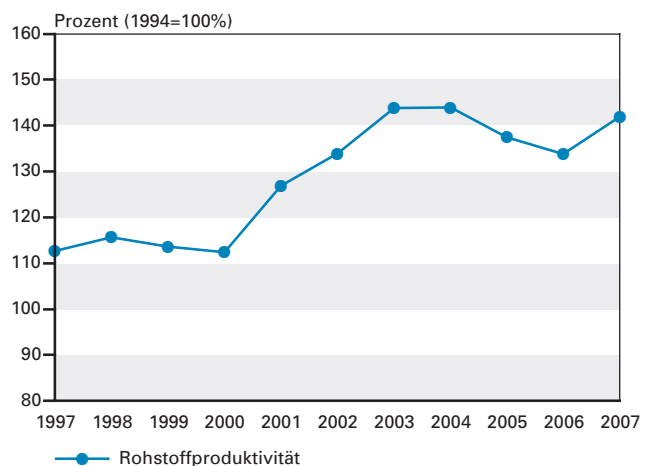


Abb. 1.1-8: Rohstoffproduktivität. Quelle: AG Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder 2009

**Status:** Die Steigerung der Rohstoffproduktivität um 42 % seit 1994 in Baden-Württemberg liegt höher als das Bundesmittel (30 %) [UGRDL 2009].

**Trend:** Der Anstieg der Rohstoffproduktivität in den letzten Jahren zeigt, dass mit Rohstoffen zunehmend produktiver umgegangen wird. Zwischen 2004 und 2006 wies die Entwicklung einen leichten Rückgang auf, stieg 2007 aber wieder deutlich an.

### 1.1.8 ENDENERGIEVERBRAUCH PRIVATER HAUSHALTE

**Definition:** Endenergieverbrauch des Sektors ‚private Haushalte und Kleinverbraucher‘ (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, übrige Verbraucher) in Terajoule ( $10^{12}$  Joule) pro Jahr (TJ/a) und mit Bezug auf Einwohner und Jahr in Gigajoule ( $10^9$  Joule) (GJ/E·a).

**Bedeutung:** Der Endenergieverbrauch privater Haushalte ist ein wesentlicher und wachsender Anteil des gesamten Endenergieverbrauchs. Die Endenergie wird in Form von Strom, Erdgas, Kohle oder Erdöl als Heizöl oder Kraftstoff 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 2005].

**Status:** Der Endenergieverbrauch privater Haushalte und

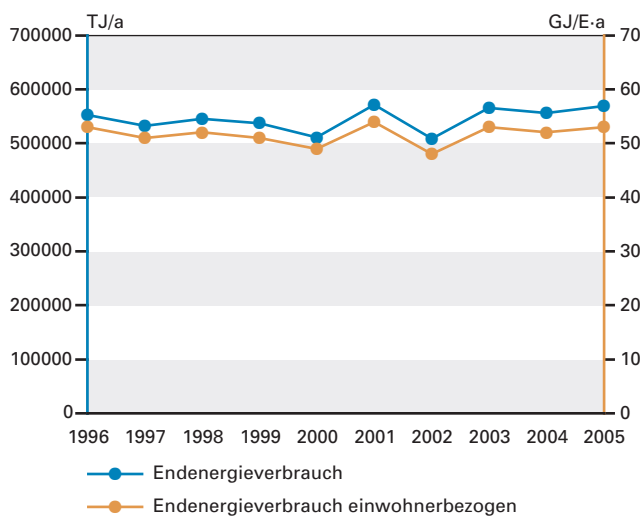


Abb. 1.1-9: Endenergieverbrauch privater Haushalte. Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen 2008

Kleinverbraucher liegt mit fast 570 000 TJ/a auf hohem Niveau. Wie auch bundesweit macht der Anteil dieser Verbrauchergruppe am gesamten Endenergieverbrauch rund die Hälfte aus.

**Trend:** Für den Zeitraum von 1996 bis 2004 streuen die Werte um ein mittleres Niveau. Die Unterschiede im Energieverbrauch sind größtenteils witterungsbedingt.

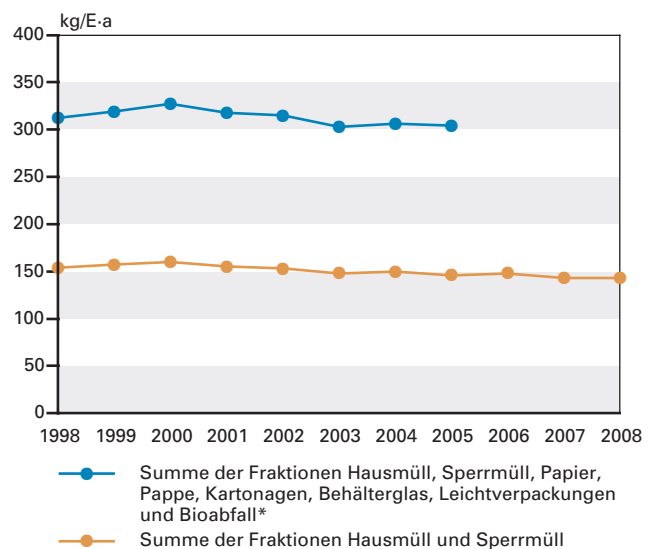
### 1.1.9 ABFALL

**Definition:** Aufkommen ausgewählter Siedlungsabfälle.

Bis einschließlich 2005 wird Siedlungsabfall definiert als die Summe der Fraktionen Hausmüll, Sperrmüll, Papier, Pappe, Kartonagen, Behälterglas, Leichtverpackungen und Bioabfall. Ab 2005 wird als Siedlungsabfall nur noch die Summe der Fraktionen Hausmüll und Sperrmüll dargestellt. Die Entwicklung der einzelnen Abfallanteile ist in Kapitel 9.2 dargestellt.

Das Siedlungsabfallaufkommen wird auf die Einwohnerzahl normiert in Kilogramm pro Jahr (kg/E·a) angegeben.

**Bedeutung:** Der Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen ist ein globales Problem mit regionalen Ursachen und Folgen. Ein beständig zu hoher Verbrauch an Ressourcen z. B. von Rohstoffen und Energie, deren zu wenig effiziente Nutzung bei wirtschaftlichen Aktivitäten und nicht optimierte Stoffkreisläufe können bei gleichzeitig zu geringer Substitutions- oder Regenerationsrate zu Ressourcenmangel führen. Mit der Herstellung und der Verteilung von Produkten werden insbesondere Rohstoffe wie Erdöl und Metalle sowie Energie verbraucht. Nach dem Gebrauch der Produkte sind



\* wird so nicht mehr erfasst

Abb. 1.1-10: Ausgewählte Siedlungsabfälle. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

diese als Abfall durch Einsammlung, Verwertung oder Beseitigung zu entsorgen. Der Teilindikator „Aufkommen ausgewählter Siedlungsabfälle“ beschreibt den Bereich des Konsums und den daraus resultierenden Entsorgungsbedarf, der von jedem Einzelnen unmittelbar beeinflusst werden kann.

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

**Status:** Das Aufkommen von Haus- und Sperrmüll ist mit 143 kg pro Einwohner im Vergleich zu anderen Bundesländern als guter Wert einzustufen [UGRDL 2009].

**Trend:** Seit Jahren bewegen sich die Abfallmengen auf gleich bleibendem Niveau.

### 1.1.10 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 (2001/761/EG). 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.

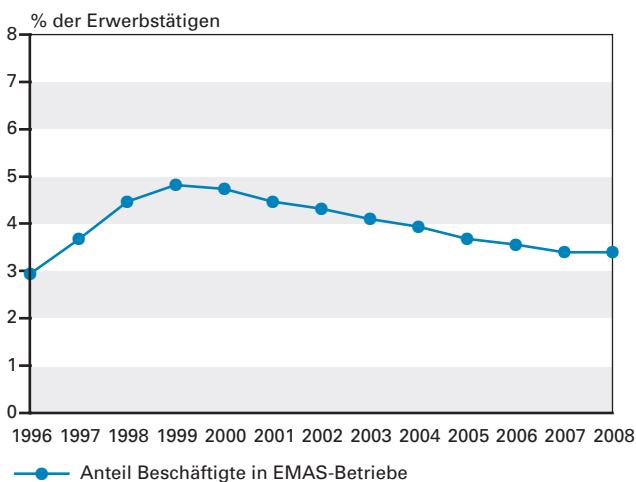


Abb. 1.1-11: Anteil der Beschäftigten in EMAS-geprüften Unternehmen an der Gesamtzahl der Erwerbstätigen. Quelle: Industrie- und Handelskammern / Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder 2009

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

**Status:** In Baden-Württemberg liegt der Anteil der Beschäftigten in EMAS-geprüften Betrieben gemessen an den Erwerbstätigen des Landes bei 3,4 % und damit über dem Bundesdurchschnitt von 2,2 % [EMAS 2009].

**Trend:** Nach einem Anstieg bis 1999 ist seither ein Abwärtstrend festzustellen.

### 1.1.11 NITRATGEHALT DES GRUNDWASSERS

**Definition:** Anteil der Messstellen mit einem Nitratgehalt größer 25 bzw. 50 Milligramm pro Liter (mg/l).

**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 der chemische Zustand eines Grundwasserkörpers gut, wenn die Nitratkonzentrationen 50 mg/l nicht überschreiten. Flächendeckend soll gemäß Umweltplan Baden-Württemberg eine hohe Grundwasserqualität sichergestellt werden.

**Status:** Der Anteil der Messstellen über 50 mg/l liegt bei 6,3 % im Jahr 2008.

**Trend:** Zwischen 1999/2000 und 2004 zeigt der Anteil der Messstellen mit Nitratgehalten über 25 mg/l einen Rückgang. Ab 2004 folgt ein Anstieg, der auf das Trockenjahr 2003 zurückzuführen ist. Mit 6,3 % im Jahr 2008 ging insbesondere der Anteil der Messstellen mit Nitratgehalten > 50 mg/l deutlich zurück.

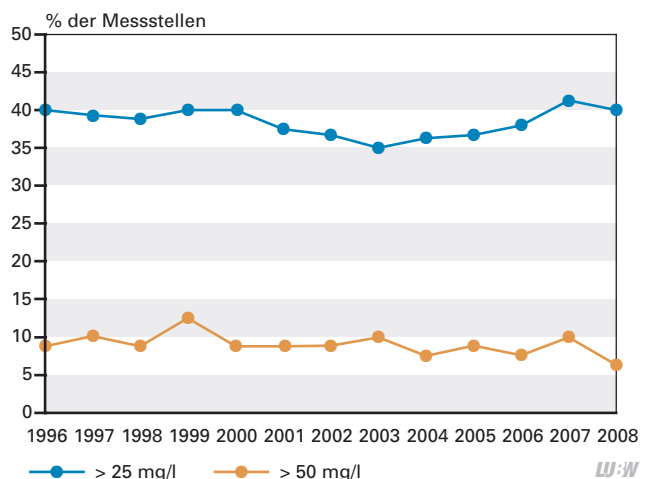


Abb. 1.1-12: Nitratgehalt im Grundwasser. Stand: 2009

### 1.1.12 GEWÄSSERGÜTE

**Definition:** Anteil der Fließgewässerstrecke, die die Gewässergüteklasse II oder besser erreicht hat in Prozent. Ab 2008 Änderung in der Methodik, jetzt Biologisches Monitoring nach Saprobie-Modul der EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG).

**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.

**Status:** Mit knapp 90 % 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.

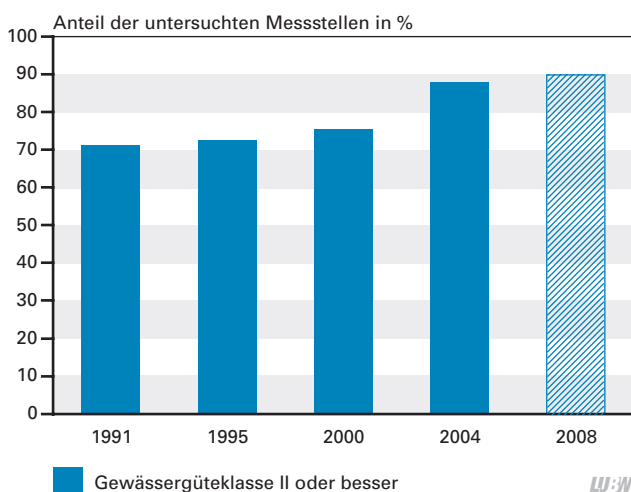


Abb. 1.1-13: Biologische Gewässergüteklasse II oder besser. 2008 wesentliche Änderung in der Methodik. Stand: 2009

### 1.1.13 NATURSCHUTZFLÄCHEN

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

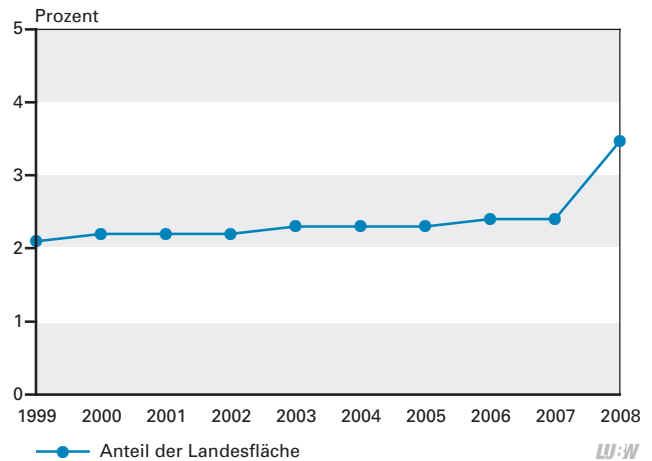


Abb. 1.1-14: Naturschutzflächen. Stand: 2009

**Bedeutung:** Die Ausweisung von Naturschutzgebieten, Nationalparken 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:** Laut Umweltplan Baden-Württemberg sollen weiterhin besonders wertvolle und schutzbedürftige Flächen als Naturschutzgebiete ausgewiesen werden.

**Status:** Der Anteil der Naturschutzflächen an der Landesfläche beträgt 3,38 %.

**Trend:** Im betrachteten Erhebungszeitraum hat sich der Anteil der Naturschutzflächen an der Landesfläche stetig erhöht. Durch die Ausweisung eines Biosphärengebiets auf der Schwäbischen Alb ergab sich 2008 eine Steigerung um einen Prozentpunkt.

### 1.1.14 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 deutlich geschädigter Waldfläche (Schadstufe 2-4) liegt 2008 in Baden-Württemberg bei 35,1 %. Im sechsten Jahr in Folge wurde, seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1983, ein mittlerer Nadel- und Blattverlust über der 25 %-Marke festgestellt.

Trend: Während in 2006 mit einem Anteil von 45 % deutlich geschädigter Waldfläche ein Höchststand erreicht wurde, konnte in 2008 eine Verbesserung der Situation auf rund 35 % deutlich geschädigter Waldfläche festgestellt werden. Der Grund für die Erholungstendenz ist vor allem in den für den Wald günstigen Witterungsbedingungen im Sommer 2007 und 2008 zu sehen.

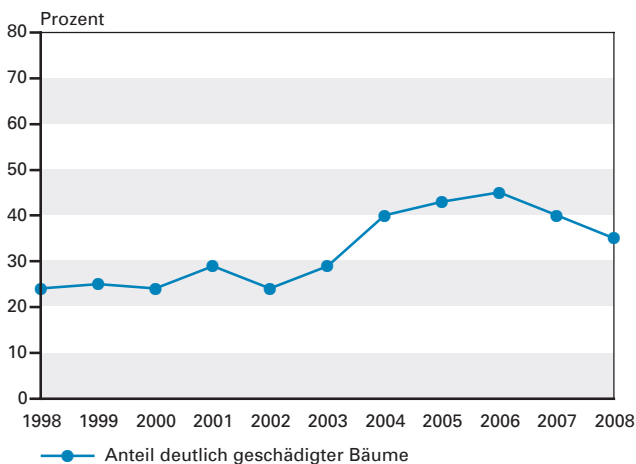


Abb. 1.1-15: Anteil deutlich geschädigter Bäume. Quelle: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 2009

### 1.1.15 ÖKOLOGISCHE LANDWIRTSCHAFT

Definition: Anteil der Flächen mit ökologischer Landwirtschaft nach EG-Öko-Verordnung (91/2092/EWG) 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 Struk-

turreichtum 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.

Status: In Baden-Württemberg werden bereits über 6 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche ökologisch bewirtschaftet. Bundesweit war 2007 ein Flächenanteil von 5,1 % erreicht [UGRDL 2009].

Trend: Es ist ein stetiger Aufwärtstrend des ökologischen Landbaus an der landwirtschaftlich genutzten Fläche zu beobachten.

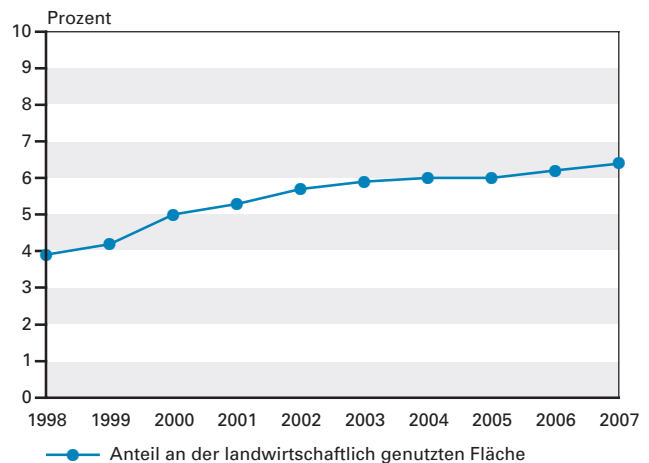


Abb. 1.1-16: Anteil ökologischer Landwirtschaft an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche. Quelle: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung 2009

### 1.1.16 LUFTQUALITÄT – FEINSTAUBIMMISSIONEN

Definition: Jahresmittelwert der Feinstaub PM<sub>10</sub>-Immissionskonzentration im städtischen Hintergrund in µg/m<sup>3</sup> Luft. Nach Vorgaben des Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) wurde der Indikator 2006 umgestellt. Waren vorher lokale Spitzenwerte anhand von Überschreitungshäufigkeiten dargestellt, zeigt er nun die langfristige, mittlere Luftbelastung in städtischen Gebieten.

Bedeutung: Schwebstäube werden primär durch menschliche Aktivitäten wie Verkehr (Dieselruß, Aufwirbelung, Reifen- und Bremsabrieb) oder Feuerungsanlagen (Öl-, Kohle-, Holzfeuerung) verursacht. Natürliche Quellen sind z. B. Bodenerosion und Seesalz.

Die Fraktion des Schwebstaubs, die kleiner als 10 µm ist, macht einen Großteil der Masse des Gesamtstaubs aus.

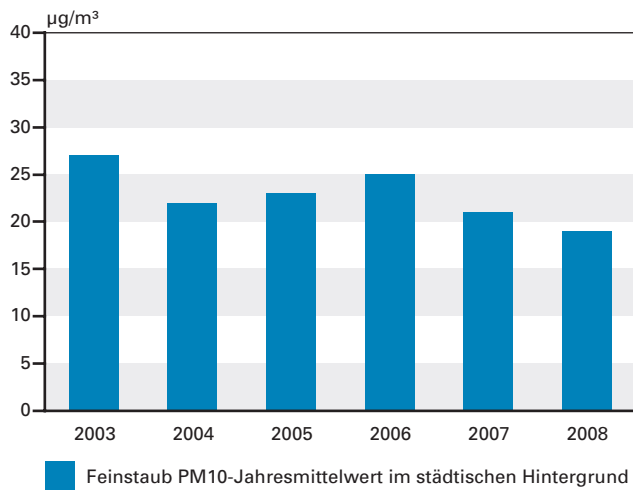


Abb. 1.1-17: Jahresmittelwert der PM10-Immissionskonzentration im städtischen Hintergrund. Stand: 2009

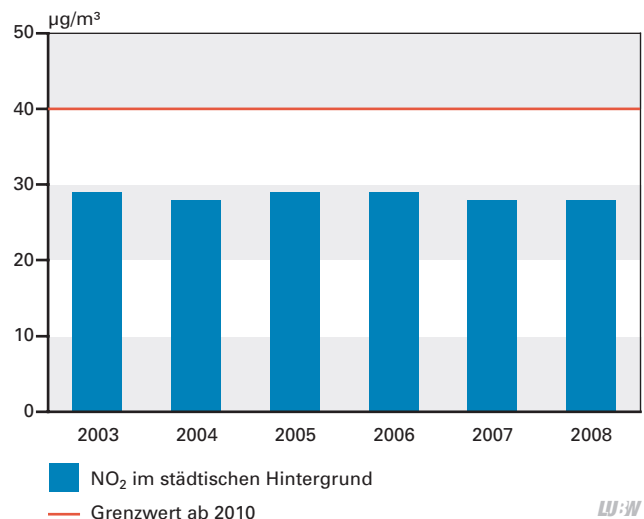


Abb. 1.1-18: Jahresmittelwert der Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)-Immissionskonzentration im städtischen Hintergrund. Stand: 2009

Dieser Fraktion kommt besondere Bedeutung zu, da solche kleinen Partikel bis in die Lunge gelangen und so zu Bronchitis und Atemwegssymptomen wie z. B. Asthma führen können. Zudem begünstigen sie allergische Reaktionen.

Der Indikator beschreibt die mittlere Luftbelastung in städtischen Gebieten und deren längerfristige Entwicklung. Die höchsten Feinstaubbelastungen werden allerdings nicht im städtischen Hintergrund gemessen, sondern treten an Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen sowie im Nahbereich bestimmter industrieller Emittenten auf (Kap. 4.3.3).

**Ziel:** Zum Schutz der menschlichen Gesundheit darf laut 22. Bundes-Immissionsschutzverordnung seit 2005 bei Feinstaub PM10 der Tagesmittelwert von 50 µg/m<sup>3</sup> Luft an nicht mehr als 35 Tagen pro Kalenderjahr überschritten werden. Das Land strebt eine Verminderung der lungen-gängigen Feinstaubemissionen an.

**Status:** Die Jahresmittelkonzentrationen von Feinstaub der Fraktion PM10 liegen im städtischen Hintergrund bei etwa 21 µg/m<sup>3</sup>, bei einem Grenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup>.

**Trend:** Witterungsbedingte Schwankungen der mittleren Feinstaubkonzentration erlauben keine Trendaussage.

### 1.1.17 LUFTQUALITÄT – STICKSTOFFDIOXID-IMMISSIONEN

**Definition:** Jahresmittelwert der Immissionskonzentration von Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) im städtischen Hintergrund in µg/m<sup>3</sup> Luft. Bis 2006 wurden für den Indikator kleinräumig auftretende Spitzenkonzentrationen dargestellt. Die jetzt betrachtete mittlere NO<sub>2</sub>-Belastung im städtischen Hintergrund hat besondere Relevanz und Aussagekraft zur Beur-

teilung der Immissionsbelastung der Bevölkerung.

**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 messbaren Konzentrationen vorhanden. Hauptemittent ist der Kraftfahrzeugverkehr.

Der Indikator beschreibt die mittlere Luftbelastung in städtischen Gebieten und deren längerfristige Entwicklung. Die höchsten NO<sub>2</sub>-Belastungen treten allerdings nicht im städtischen Hintergrund, sondern an Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen auf (Kap.4.3.2).

**Ziel:** Zum Schutz der menschlichen Gesundheit darf laut 22. Bundes-Immissionsschutzverordnung ab 2010 der Immissionsgrenzwert für NO<sub>2</sub> (gemittelt über ein Kalenderjahr) von 40 µg/m<sup>3</sup> Luft nicht überschritten werden.

**Status:** Die Messwerte liegen an nicht direkt durch den Kfz-Verkehr beeinflussten städtischen Standorten in Baden-Württemberg im Mittel bei 28 µg/m<sup>3</sup> und damit deutlich unter dem ab 2010 gültigen Grenzwert.

**Trend:** Die Jahresmittelwerte zeigen im städtischen Hintergrund kaum Schwankungen.

### 1.1.18 LUFTQUALITÄT – BODENNAHES OZON

**Definition:** Anzahl der Stunden pro Jahr (h/a) mit Überschreitungen des Stundenmittelwertes für Ozon von

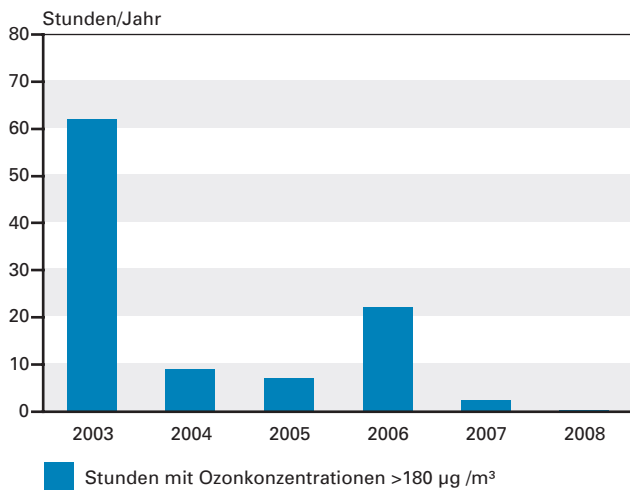


Abb. 1.1-19: Überschreitungshäufigkeit des Ozon-Warnwertes von 180 µg/m³ im städtischen Hintergrund. Stand: 2009

180 µg/m³ Luft an den Messstationen im städtischen Hintergrund.

**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 µg/m³ als 1-Stunden-Mittelwert sind gemäß der 33. Bundes-Immissionschutzverordnung die Bevölkerung zu informieren und Verhaltensempfehlungen auszusprechen. Die Landesregierung strebt eine Minderung der Ozonbelastung an.

**Status:** Im Jahr 2008 wurde der Informationswert von 180 µg/m³ nur an 2 von 8 Messstationen im städtischen Hintergrund überschritten, woraus sich ein Mittelwert über alle Stationen von 0,4 Stunden ergibt.

**Trend:** Die starken, witterungsbedingten jährlichen Schwankungen lassen keinen 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 heißen Sommer zu erklären (Kap. 4.3.4).

#### 1.1.19 FLÄCHENVERBRAUCH

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

**Bedeutung:** Mit der Inanspruchnahme von Freiflächen

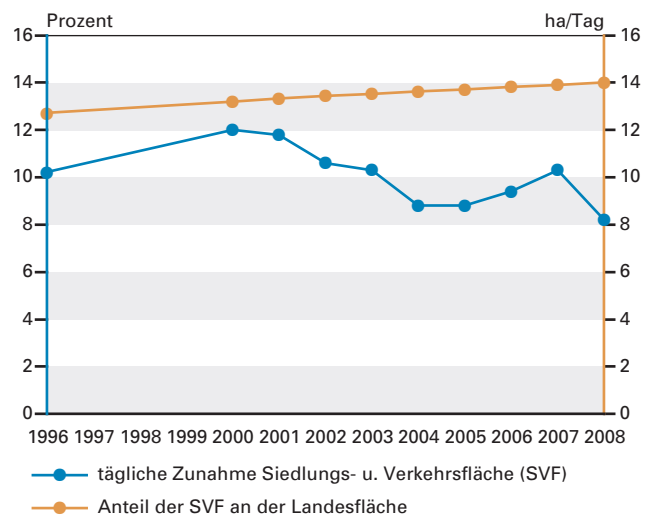


Abb. 1.1-20: Flächenverbrauch (bis 2000 Datenerhebung alle vier Jahre; jeweils zum 31.12. des Jahres). Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

für Siedlungs- und Verkehrszwecke werden Lebensräume für Flora und Fauna ebenso wie die ökologische Funktion des Bodens beeinträchtigt. Der Bau von Verkehrswegen bedingt außerdem eine Landschaftszerschneidung. 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 un bebauter Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke soll laut Umweltplan 2007 bis 2012 deutlich zurückgeführt werden.

**Status:** Die Siedlungs- und Verkehrsfläche liegt in den Flächenländern der Bundesrepublik zwischen 7 % und 22 %. Mit zum Ende des Jahres 2008 14 % Siedlungs- und Verkehrsfläche an der Landesfläche zeigt Baden-Württemberg im Ländervergleich einen durchschnittlichen Anteil, bei jedoch über dem Durchschnitt liegender Bevölkerungsdichte [UGRD 2009]. Die Flächenneuanspruchnahme liegt mit 8,2 Hektar pro Tag im Land auf dem niedrigsten Stand seit 1988.

**Trend:** Bei der Entwicklung der Flächenneuanspruchnahme sind erste Anzeichen für eine Trendwende erkennbar. Die Neuanspruchnahme für Siedlung und Verkehr ging seit dem Jahr 2000 unterbrochen von den Jahren 2005, 2006 und 2007 zurück und sank im Jahr 2008 auf 8,2 Hektar pro Tag.

#### 1.1.20 LANDSCHAFTSZERSCHNEIDUNG

**Definition:** Mittlerer Zerschneidungsgrad des Landes, ausgedrückt durch die effektive Maschenweite ( $m_{eff}$ ) in Quadratkilometer (km²) und Anteil der unzerschnittenen verkehrs-

armen Räume über 100 km<sup>2</sup> in Prozent der Landesfläche. Die effektive Maschenweite bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, mit der zwei Punkte nicht durch Hindernisse wie z. B. durch Siedlungen oder 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 Zerschneidung, 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.

**Status:** Die effektive Maschenweite beträgt derzeit 34,7 km<sup>2</sup>. Der aktuelle Anteil der unzerschnittenen verkehrarmen Räume liegt bei 7,7 % an der Landesfläche. In Baden-Württemberg sind noch 18 unzerschnittene Räume über 100 km<sup>2</sup> vorhanden. Diese Aussagen sind mit denjenigen aus den Umweltdaten 2006 nicht vergleichbar. Zwar wurden 2009 Landschaftszerschneidung und unzerschnittene Räume >100 km<sup>2</sup> nach der derselben Methode wie 2006 berechnet, aufgrund einer bundesweiten Einigung kam es aber bei den Zerschneidungskriterien zu wesentlichen Änderungen.

**Trend:** Da derzeit nur ein Wert zur Verfügung steht, sind Trendbewertung und grafische Darstellung nicht möglich.

**Quelle:** Bundesamt für Naturschutz 2009

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN:

mehr Informationen zu den Umweltindikatoren im Internet-Themenportal ‚Querschnittsthemen‘ der LUBW:  
[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

zur Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie im Internet-Angebot des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:  
[www.bmu.de](http://www.bmu.de)

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg:  
[www.statistik.baden-wuerttemberg.de](http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de)

Länderarbeitskreis Energiebilanzen:  
[www.lak-energiebilanzen.de](http://www.lak-energiebilanzen.de)

Arbeitsgruppe Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder:  
[www.ugrdl.de](http://www.ugrdl.de)

Umwelt-Kernindikatorensystem des Umweltbundesamtes:  
[www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de](http://www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de)

Bund / Länder-Arbeitsgemeinschaft „Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit“:  
[www.blag-klina.de](http://www.blag-klina.de)

## 1.2 UMWELT UND WIRTSCHAFT

Die ökonomische Bedeutung des Umweltschutzes beschränkt sich nicht auf die Kosten, die Firmen zunächst durch Umweltschutzmaßnahmen entstehen. Die Produktion von Umweltschutzgütern und das Angebot von Dienstleistungen ermöglicht Unternehmen die Erschließung neuer Einnahmequellen und die Schaffung neuer Arbeitsplätze. Die systematische Umsetzung von Umweltschutzmaßnahmen im Rahmen des betrieblichen Umweltschutzes wirkt sich zudem günstig z. B. auf Energiekosten oder den Materialverbrauch aus.

Nicht zu vernachlässigen sind die langfristigen Kosten, die der Volkswirtschaft durch konsequenten Umweltschutz und nachhaltiges Wirtschaften erspart werden.

### 1.2.1 AUSGABEN FÜR DEN UMWELTSCHUTZ

Die Investitionen für den Umweltschutz, die Unternehmen des produzierenden Gewerbes leisten, lassen sich nach drei Kategorien unterteilen:

- Additive Maßnahmen sind meist separate, nicht direkt mit dem übrigen Produktionsprozess verbundene Anlagenteile. Hierzu zählen beispielsweise Anlagen zur Abfallbehandlung oder Filteranlagen für Abluft oder Abwasser.
- Integrierte Maßnahmen lassen sich nicht vom Produktionsprozess trennen. Sie dienen in der Regel dem vorsor-

genden Umweltschutz, indem sie schädigende Stoffe erst gar nicht entstehen lassen. Hierzu zählen z. B. die Kreislaufführung von Wasser oder die Nutzung von Restwärme. Der finanzielle Aufwand, der bei integrierten Maßnahmen tatsächlich dem Umweltschutz zuzuordnen ist, lässt sich meist nicht exakt beziffern.

- Produktbezogene Maßnahmen können Verfahrensumstellungen zur Herstellung eines umweltfreundlicheren – z. B. recyclebaren Produktes – sein.

In Baden-Württemberg werden aufgrund des Gesetzes über Umweltstatistiken (UStatG 2005) jährlich Daten über Investitionen für den Umweltschutz erhoben (Abb. 1.2-1). Dargestellt sind die Ergebnisse der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes, einschließlich Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden, mit im Allgemeinen 20 und mehr Beschäftigten sowie alle zugehörigen Betriebe. Die Daten werden vom Statistischen Landesamt erhoben und veröffentlicht.

Im Berichtsjahr 2006 haben in Baden-Württemberg 1245 Betriebe Investitionen in Höhe von 245 Mio. € für den Umweltschutz gemeldet. Das sind rund 2,6 % der Gesamtinvestitionen. 2004 waren es mit 187 Mio. € noch 2,1 % der Gesamtinvestitionen; ohne Investitionen im Bereich Klimaschutz. Erstmals wurden im Jahr 2006 die für den Klimaschutz

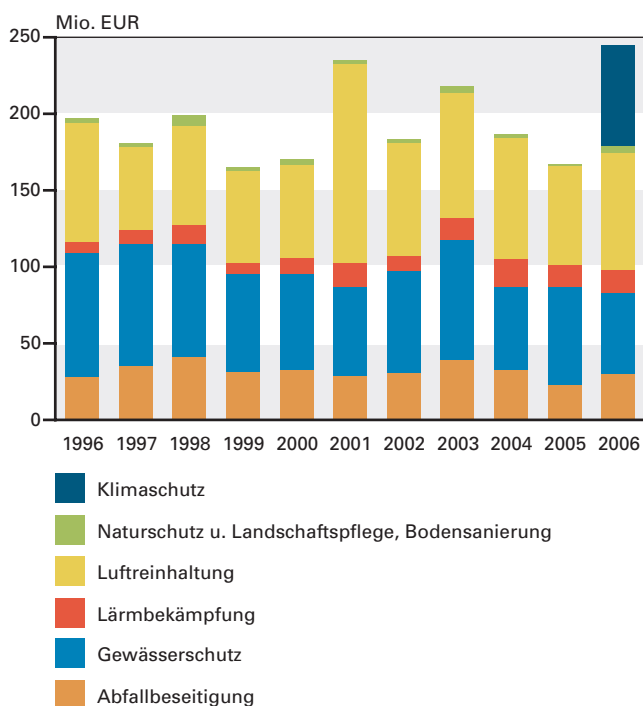


Abb. 1.2-1: Umweltschutzinvestitionen im verarbeitenden Gewerbe in Baden-Württemberg nach Bereichen. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

getätigten Investitionen abgefragt. Sie tragen mit 66 Mio. € zu über einem Viertel der insgesamt 2006 für den Umweltschutz getätigten Investitionen bei. Nach wie vor hoch sind die Investitionen, die in die Luftreinhaltung und den Gewässerschutz fließen: mit 31 % (Luftreinhaltung) und 22 % (Gewässerschutz) verursachen sie gemeinsam über die Hälfte aller Investitionen. Einen vergleichsweise geringen Investitionsaufwand verursachen Naturschutz, Landschaftspflege und Bodensanierung mit gemeinsam nur 1,8 % an den Gesamtinvestitionen für den Umweltschutz.

### 1.2.2 WIRTSCHAFTSFAKTOR UMWELTSCHUTZ

Nach einer Studie des Umweltbundesamtes exportierte Deutschland im Jahr 2005 potenzielle Umweltschutzgüter im Wert von 46 Mrd. €, das entspricht in etwa dem Ausfuhrvolumen der Elektrotechnikindustrie. Für die Jahre 2006 und 2007 sind weitere Steigerungen prognostiziert. Deutschland erreicht damit im Bereich Umweltschutz einen Welthandelsanteil von über 16 % [UBA 2008a].

Bei der Betrachtung von „potenziellen Umweltschutzgütern“ wie Pumpen, Mess-, Steuer- und Regelgeräte oder Leitungen besteht die Schwierigkeit, dass diese Güter auch anderweitig genutzt werden können. Experten – und damit die oben genannten Berechnungen – gehen davon aus, dass etwas 35 % bis 40 % dieser Güter tatsächlich Umweltschutzzwecken dienen [UBA 2008a].

Die Umsätze mit Wirtschaftsgütern für dem Umweltschutz beliefen sich in Baden-Württemberg im Jahr 2007 auf etwa 4,2 Mrd. € (bei 836 Unternehmen). Da 2006 erstmals der Umweltbereich Klimaschutz mit erfragt wurde, liegen die Gesamtausgaben 2006 und 2007 deutlich höher als in den Vorjahren.

Mit über 80 % macht nach wie vor der Umsatz mit Waren des produzierenden Gewerbes den weitaus größten Anteil aus. Bau- und Dienstleistungen erreichen mit 439 Mio. € und 312 Mio. € zusammen gerade ein Fünftel des Gesamtumsatzes (Abb. 1.2-2).

Der Anteil der ins europäische und außereuropäische Ausland exportierten Wirtschaftsgüter für den Umweltschutz ist in den letzten zehn Jahren von 18 % auf 34 % im Jahr 2007 angestiegen. Mit etwa 40 % am höchsten ist die Exportquote bei Gütern des Verarbeitenden Gewerbes, Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden. Im Baubereich ist der Anteil der exportierten Leistungen mit unter 4 % am geringsten (Abb. 1.2-3).

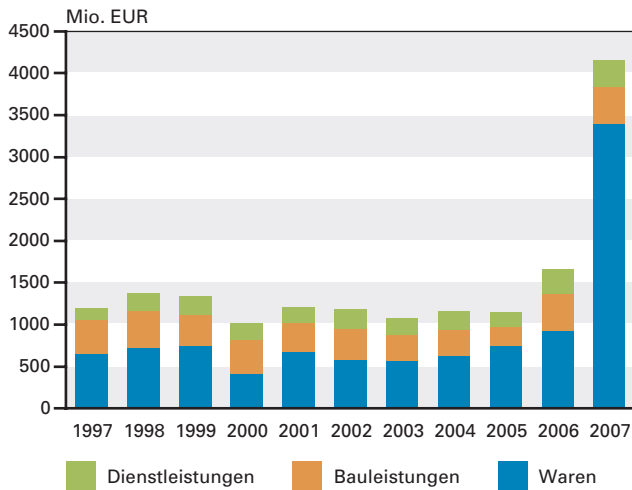


Abb. 1.2-2: Umsätze mit Waren, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz von Betrieben. Ab 2006 wurde erstmalig der Umweltbereich Klimaschutz erfragt. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

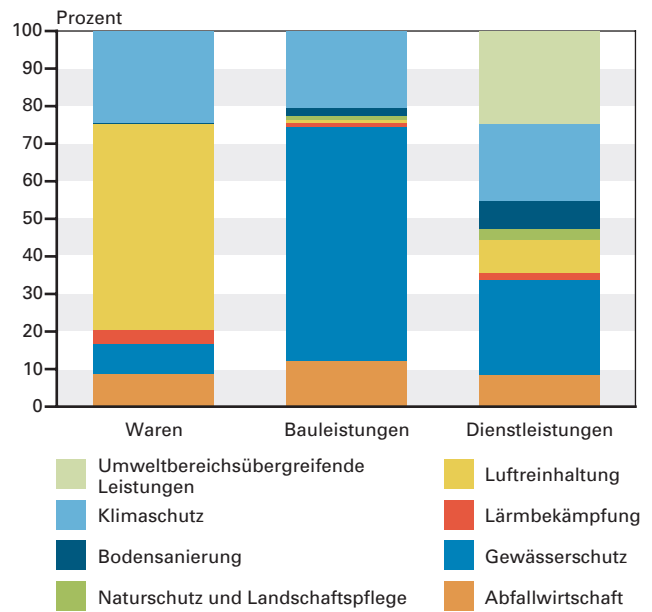


Abb. 1.2-4: Umsätze mit Waren, Bau- und Dienstleistungen, die ausschließlich dem Umweltschutz dienen im Jahr 2007. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

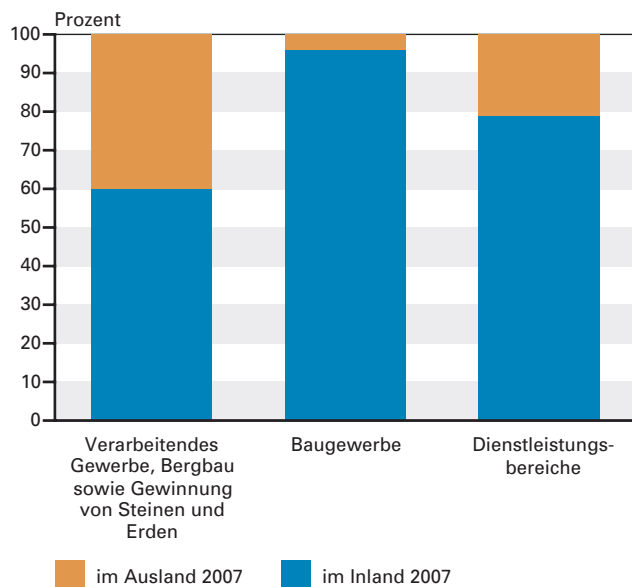


Abb. 1.2-3: Exportquoten von Wirtschaftsgütern für den Umweltschutz nach Bereichen. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

Deutliche Unterschiede ergeben sich, betrachtet man den Umweltbereich, in dem die Waren oder Dienstleistungen eingesetzt werden (Abb. 1.2-4). So werden über 50 % der Warenumsätze mit Produkten aus dem Bereich der Luftreinhaltung erzielt (z. B. Abgaskatalysatoren für Kraftfahrzeuge). Die Bauleistungen werden größtenteils (62 %) für den Gewässerschutz erbracht, z. B. für Regenrückhaltebecken, Bau oder Sanierung von Abwasserleitungen. Der Umsatz von Dienstleistungen erfolgte 2007 zu einem Viertel im Bereich Gewässerschutz. Ebenfalls ein Viertel machten umweltbereichsübergreifende Dienstleistungen aus. Weitere 20 % fallen auf den Klimaschutz. Dienstleistungen der Bereiche Bodensanie-

rung (8 %), Abfallwirtschaft (9 %) und Luftreinhaltung (9 %) erreichen gemeinsam ebenfalls ein Viertel des Gesamtumsatzes.

### 1.2.3 BESCHÄFTIGUNGSWIRKUNGEN DES UMWELTSCHUTZES

Nach einer vom Umweltbundesamt (UBA) in Auftrag gegebenen Studie des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung (DIW), des Niedersächsischen Instituts für

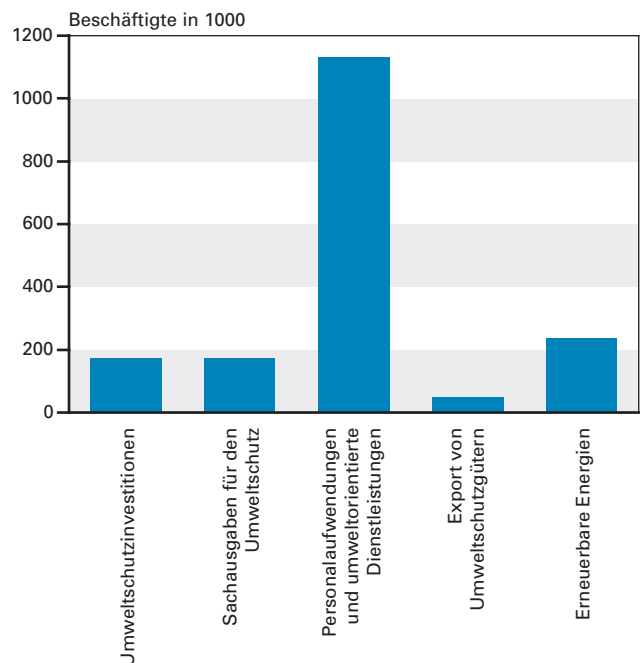


Abb. 1.2-5: Erwerbstätige im Umweltschutz – Deutschland 2006 [UBA 2008b].



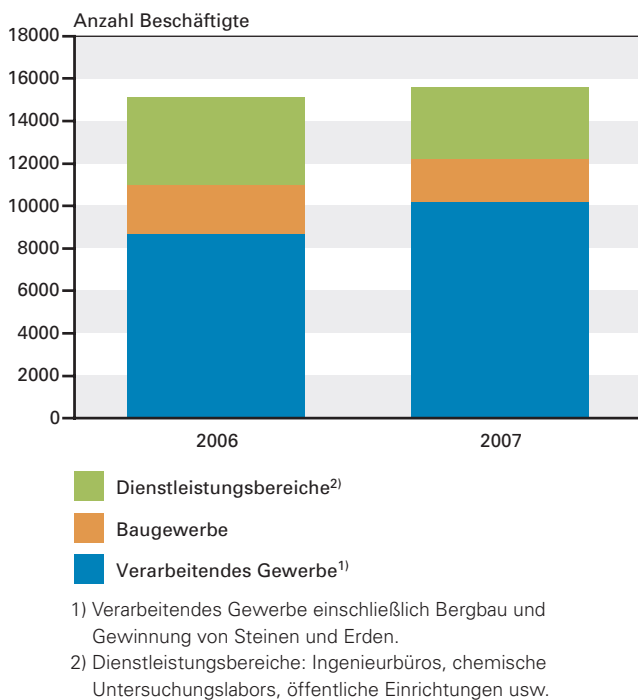


Abb. 1.2-6: Beschäftigte mit Waren-, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

Wirtschaftsforschung (NIW) und des Instituts für Wirtschaftsforschung (ifo) arbeiteten im Jahr 2006 bundesweit 1,8 Millionen Menschen im Umweltschutz – das entspricht 4,5 % der Erwerbstätigen. Über 60 % der Arbeitsplätze sind im Dienstleistungsbereich angesiedelt (Abb. 1.2-5).

In Baden-Württemberg arbeiteten 2007 über zwei Drittel der im Umweltschutz beschäftigten im verarbeitenden Gewerbe einschließlich Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden (Abb. 1.2-6). Dies sind 1500 mehr als 2006. Die Zahl der Arbeitsplätze im Bereich der umweltspezifischen Dienstleistungen und im Baugewerbe ging dagegen leicht zurück.

#### 1.2.4 BETRIEBLICHES UMWELTMANAGEMENT

Für zukunftsorientierte Unternehmen ist der betriebliche Umweltschutz fester Bestandteil unternehmerischen Denkens und Handelns, insbesondere mit Blick auf die Klimaschutzdebatte in der aktuellen öffentlichen Diskussion. Neben Kostensenkungspotenzialen und der Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit trägt der betriebliche Umweltschutz zur Vermeidung von Störfällen und Arbeitsunfällen bei und leistet einen entscheidenden Beitrag zur Erfüllung relevanter Rechtsvorschriften. Für Unternehmen wird es immer wichtiger, sich auch im Sinne der unternehmerischen Verantwortung nachhaltig umweltbewusst zu positionieren.

Zur kontinuierlichen Verbesserung des Umweltschutzes in Unternehmen hat sich die Einführung von Umweltmanagementsystemen bewährt. Mit dem EMAS-System (Eco Management and Audit Scheme) steht den Unternehmen seit 1995 ein anerkannter Standard auf europäischer Ebene zur Verfügung. Nach mehreren Erweiterungen erfolgte eine völlige Öffnung des Anwenderkreises auf alle Organisationen durch die im Jahr 2001 in Kraft getretene EMAS II (2001/761/EG). Diese Verordnung schreibt vor, dass die Notwendigkeit einer Revision spätestens fünf Jahre nach ihrem Inkrafttreten zu prüfen ist. Nach Einholung von Studien und Anhörung von Experten und Interessengruppen hat die europäische Kommission im Juli 2008 ihren ersten Entwurf zu EMAS III vorgelegt. Angestrebt wird das Inkrafttreten von EMAS III zum Jahreswechsel 2009/2010. Mit der Novelle der EMAS-Verordnung sollen die Effizienz des Systems und seine Attraktivität für die Anwender verbessert werden. Beispielhaft sei die Ausweitung des geografischen Anwendungsbereichs genannt. Mit der Teilnahme von Organisationen außerhalb der EU soll dem bisherigen Vorteil der weltweiten Gültigkeit der ISO 14001 (Zertifizierung nach der International Standard Organization) begegnet werden. Weitere Änderungen sind unter anderem in der Berichterstattung sowie in der Einbindung von Behörden zu erwarten. Um die Zahl der EMAS-Standorte in den nächsten fünf Jahren deutlich zu erhöhen, sollen zudem Erleichterungen zur Teilnahme für kleine und mittlere Unternehmen geschaffen werden, beispielsweise durch die Verlängerung des Validierungszyklus.

In Deutschland waren Ende 2008 rund 1400 Organisationen nach EMAS registriert an insgesamt knapp 1900 Standorten.

In Baden-Württemberg waren Anfang des Jahres 2009 363 Organisationen im EMAS-Register eingetragen (Abb. 1.2-7). Die Anzahl von Registrierungen ist damit seit 2006 leicht angestiegen. Baden-Württemberg stellt nach wie vor einen starken Anteil der in Deutschland registrierten Organisationen.

Es muss jedoch festgehalten werden, dass ein nicht unerheblicher Anteil der registrierten Organisationen auf den starken Anstieg in den Bereichen Erziehung und Unterricht (insbesondere Schulen) sowie Interessenvertretungen (insbesondere Kirchen) zurückzuführen ist. Dies macht die branchenbezogenen Aufschlüsselung deutlich (Abb. 1.2-8). Im produzierenden Gewerbe sind teilweise Rückgänge zu verzeichnen. In der Branche Stahl und Leichtmetallbau ist

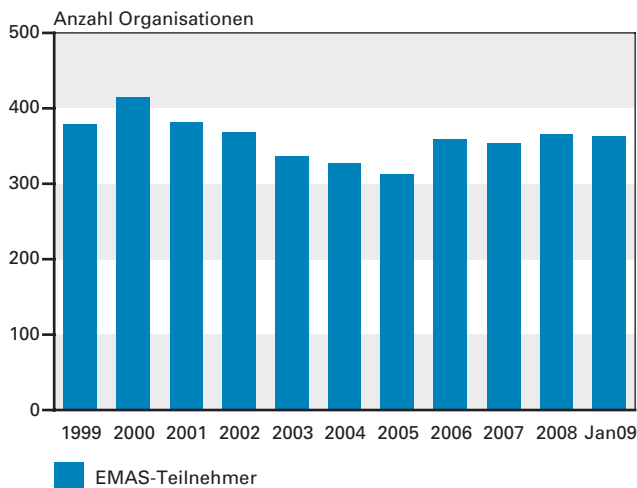


Abb. 1.2-7: EMAS-Teilnehmerzahlen in Baden-Württemberg. Quelle: Deutscher Industrie- und Handelskammertag 2009

die Zahl der registrierten Unternehmen jedoch kontinuierlich gestiegen.

Die weltweit gültige ISO 14001 gilt als weiterer zertifizierbarer Umweltmanagementstandard und ist privatrechtlicher Natur. Deutschlandweit verfügen rund 5800 Unternehmen und Organisationen über ein solches Zertifikat (Stand Januar 2007). Weltweit sind es knapp 130 000 Zertifizierungen (Stand Januar 2007).

Eine zentrale Erfassung zertifizierter Unternehmen und Organisationen, wie sie nach EMAS bereits vorliegt, ist für den ISO-Bereich bisher noch im Aufbau. Daher beruhen die bundesdeutschen Zahlen teilweise auf Näherungswerten (Abfrage von Zertifizierungsgesellschaften durch das Umweltbundesamt). Die letzte Auswertung auf Bundesländerebene wurde im Januar 2006 veröffentlicht. Eine aktuelle Aufschlüsselung auf Ebene der Bundesländer liegt derzeit nicht vor. Für Baden-Württemberg kann basierend auf einer Studie der LUBW vom Dezember 2006 (Umweltmanagementbeteiligung in Baden-Württemberg) von mindestens 824 Unternehmen mit einer gültigen ISO 14001-Zertifizierung ausgegangen werden (abgefragt wurden Zertifizierungsgesellschaften).

Für kleine und mittlere Unternehmen und Handwerksbetriebe stellt der Einstieg in den betrieblichen Umweltschutz über sogenannte „unterschwellige Systeme“ ein geeignetes Instrument dar. Dazu gehört beispielsweise das vom Umweltministerium Baden-Württemberg geförderte ECO+-Programm. Als Basisfördermodell für den betrieblichen Umweltschutz soll dem Betrieb ein rascher Überblick über Verbesserungspotenziale gegeben werden. Weitere geförderte Instrumente stellen beispielsweise das ECOfit-Programm und die Förderung des Umweltministeriums im

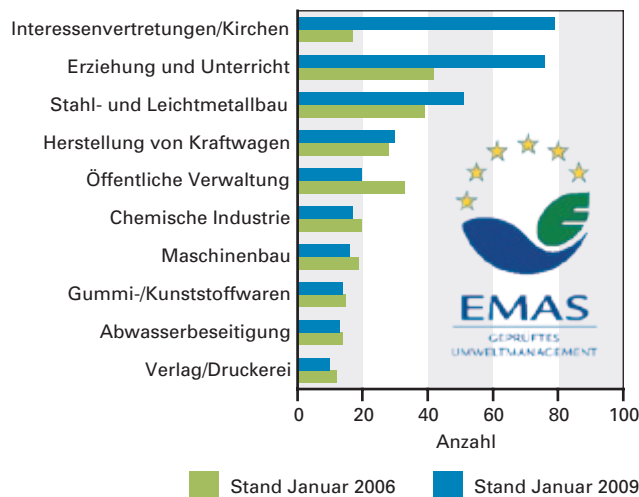


Abb. 1.2-8: Branchenbezogene EMAS-Beteiligung in Baden-Württemberg - die Top 10. Quelle: Deutscher Industrie- und Handelskammertag 2009

EMAS-Bereich dar. Auch der durch das Umweltministerium Baden-Württemberg ausgeschriebene Umweltpreis für Unternehmen bietet Betrieben Anreize zur kontinuierlichen Weiterentwicklung im betrieblichen Umweltschutz.

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

mehr Informationen zum Umweltmanagement im Internet-Themenportal ‚Betrieblicher Umweltschutz‘ der LUBW:

[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

Übersicht über die im EMAS-Register eingetragenen Organisationen:

[www.emas-register.de](http://www.emas-register.de)

Informationen zu ISO 14001:

[www.14001news.de](http://www.14001news.de)

Förderprogramme ECO+ und ECOfit:

[www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/9282/](http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/9282/)

Umweltpreis für Unternehmen:

[www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/10926/](http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/10926/)

Informationen zum europäischen Umweltmanagementsystem EMAS:

[www.emas.de](http://www.emas.de)

[www.ec.europa.eu/environment/emas/registration/](http://www.ec.europa.eu/environment/emas/registration/)

### 1.3 LOKALE AGENDA 21

Auf der Konferenz für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen 1992 in Rio de Janeiro verabschiedeten 178 Staaten die „Agenda 21“, ein umfangreiches weltweites Aktionsprogramm für eine umweltverträgliche, nachhaltige Entwicklung. Im Kapitel 28 der Agenda 21 ging die Aufforderung an die Kommunen, in einen Dialog mit der Bevölkerung, Organisationen und der Privatwirtschaft zu treten und eine „Lokale Agenda 21“ - LA 21 als kommunales Zukunftsprogramm zu beschließen.

Als erste Kommune in Baden-Württemberg hat der Gemeinderat Karlsruhe im April 1995 einen LA 21-Beschluss gefasst. Eine starke Verbreitung in den Kommunen setzte nach der Gründung des Landes-Agenda 21-Büros ein, das 1998 bei der LUBW eingerichtet wurde. Es unterstützt Kommunen und Initiativen bei der Umsetzung der LA 21 vor Ort.

Bis zum Jahr 2004 hatte jeder dritte Gemeinderat und Kreistag in Baden-Württemberg einen Beschluss zur LA 21 gefällt. Das Land liegt damit deutlich über dem bundesweiten Durchschnitt, wo jede fünfte Gemeinde eine LA 21 beschlossen hat (Tab. 1.3-1). Dabei ist ein starkes Gefälle nach Gemeindegrößen festzustellen. Während alle Stadtkreise und vier von fünf Großen Kreisstädten über 20 000 Einwohnern einen Agenda-Beschluss gefasst haben, ist es

bei den kleinen Gemeinden unter 5 000 Einwohnern nur jede sechste (Tab. 1.3-2).

Seit 2004 haben sich diese Beschlusszahlen kaum geändert. Künftig soll deshalb die Umsetzung der LA 21 vor allem durch einzelne kommunale Nachhaltigkeitsbausteine auch im Zusammenspiel mit der 2007 gestarteten Landesnachhaltigkeitsstrategie erfolgen. Schon die bisherige Umsetzung der LA 21 war vorwiegend durch konkrete Projekte geprägt. Seit 1999 hat Baden-Württemberg 280 örtliche Agenda-Projekte finanziell gefördert. Jedes dritte Projekt fand dabei mit Kindern und Jugendlichen, oft in Zusammenarbeit mit Schulen, statt. Dies unterstreicht die bewusstseinsbildende Funktion der LA 21. So sollen Multiplikatoren in der Bevölkerung gewonnen werden, die die Verbreitung eines nachhaltigen Lebensstils fördern. Bei der Themenauswahl steht dabei die Schonung der natürlichen Ressourcen an erster Stelle: 29 % der geförderten Projekte hatten das Thema ‚Umwelt- und Naturschutz‘, jedes fünfte Projekt widmet sich den Themen ‚Energie durch Förderung Erneuerbarer Energien‘ und des ‚Energiesparens‘. Nimmt man zu den Energieprojekten noch die 14 % Projekte hinzu, die sich mit dem Thema ‚Mobilität‘ befassen, ist jedes dritte Projekt im Thema ‚Klimaschutz‘ angesiedelt. Mit der Förderung eines ‚nachhaltigen Konsums‘, meist durch regionale oder fair gehandelte Produkte, befasst sich jedes sechste Projekt.

Ein weiterer wichtiger Baustein der LA 21 ist die Einrichtung eines Nachhaltigkeitsmanagements zum sparsamen Umgang mit den natürlichen Ressourcen in Verwaltungen, Betrieben und Organisationen. Inzwischen arbeitet jeder zehnte Arbeitnehmer in Baden-Württemberg in einem umweltmanagementorientierten Betrieb. Auch die Beschaffung nach ökologischen und nachhaltigen Kriterien nimmt zu. Eine Umfrage ergab, dass mindestens jede vierte Kommune in Baden-Württemberg nach nachhaltigen Kriterien beschafft. Die wichtigsten Einzel-Produktgruppen bilden dabei Recycling-Papier (84 %), energiesparende Bürogeräte (68 %) und Öko-Strom (56 %).

Zentraler Bestandteil der LA 21 und einer kommunalen Politik für eine nachhaltige Entwicklung ist der Klimaschutz. Der aktuelle Stand der Umsetzung wichtiger Bausteine für den kommunalen Klimaschutz in den Gemeinden wurde 2008 erhoben. Die Antworten kamen dabei vorwiegend aus den größeren Kommunen über 20 000 Einwohnern, von denen sich mehr als jede zweite beteiligte. Von den kleineren

Tab. 1.3-1: Beschlüsse der Gemeinderäte zur Lokalen Agenda 21 Baden-Württemberg. Stand: 2008

	Gesamt	mit Agenda-Beschluss	mit Agenda-Beschluss in %
Gemeinden	1 109	363	33
Landkreise	35	13	37
Gesamt	1 144	376	33

LUBW

Tab. 1.3-2: Beschlüsse zur Lokalen Agenda 21 Baden-Württemberg nach Gemeindegröße. Stand: 2008

Gemeindegröße (Einwohnerzahl)	Anzahl Beschlüsse	Anzahl Gemeinden	Anteil in %
> 100 000	9	9	100 %
20 000 – 100 000	73	92	79 %
10 000 – 20 000	78	147	53 %
5 000 – 10 000	106	274	39 %
< 5 000	97	587	16 %

LUBW

Gemeinden beteiligten sich weniger als 10 %. Insgesamt betrug die Rücklaufquote 12 % der 1 109 baden-württembergischen Gemeinden. Auch bei den Antworten der Umfrage sind typische Unterschiede zwischen großen und kleineren Gemeinden erkennbar, wobei verstärkte Aktivitäten besonders in größeren Kommunen zu verzeichnen sind.

Fast zwei Drittel der antwortenden Kommunen haben ein Energiemanagement in der Verwaltung eingerichtet und versuchen sparsam mit natürlichen Ressourcen umzugehen.

In 40 % der Kommunen gibt es eine institutionalisierte Zusammenarbeit von Kommune, Bevölkerung und Initiativen im Klimaschutz. Meist geschieht dies in Form von gemeinsamen Arbeitskreisen, wie sie in der LA 21 entstanden sind. Einen wichtigen Platz in der kommunalen Klimaschutzpolitik nimmt die kostenlose Beratung der Bevölkerung ein: 58 % der Kommunen betrieben Aufklärungsarbeit, meist geschieht dies in Kooperation mit den regionalen Energieagenturen, die mit Unterstützung des Landes inzwischen in vielen Land- und Stadtkreisen eingerichtet wurden. Vor allem kleinere Kommunen nutzen diese Möglichkeit, in den größeren spielen die Stadtwerke eine starke Rolle.

Als häufigstes „Schlüsselprojekt“ im kommunalen Klimaschutz werden Gemeinschaftssolaranlagen genannt. Mit 62 % der Nennungen wird fast in zwei Dritteln aller Gemeinden diese Möglichkeit für die Bevölkerung angeboten, sich finanziell an Erneuerbaren Energie-Anlagen zu beteiligen. Auch in den kleineren Gemeinden wird dies in jeder zweiten Gemeinde angeboten. Informationstage zum Klimaschutz bietet insgesamt fast jede zweite Gemeinde an, darunter alle antwortenden Stadtkreise und fast drei Viertel der großen Kreisstädte. Ein deutliches Gefälle ist auch beim Energieeinsparcontracting in kommunalen Liegenschaften festzustellen: während alle großen Stadtkreise und fast jede zweite große Kreisstadt diese Möglichkeit nutzt, sind es nur knapp jede vierte kreisangehörige Gemeinde.

Ähnlich sind die Unterschiede bei der Erstellung von Klimaschutzprogramm und -konzepten. Während 87 % der Stadtkreise solche Programme oder Konzepte erstellt haben, sind es nur 38 % der großen Kreisstädte und nur 8 % der kreisangehörigen Gemeinden. Insgesamt verfügt bisher nur ein knappes Viertel der antwortenden Kommunen über ein Klimaschutzprogramm, wobei hier in den nächsten Jahren mit einem deutlichen Anstieg zu rechnen ist.

## 1.4 UMWELTFORSCHUNG

### 1.4.1 FÖRDERUNG DER UMWELTFORSCHUNG

2008 feierte das ‚Baden-Württemberg Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung‘ – kurz BWPLUS – sein zehnjähriges Bestehen. Mit diesem Förderprogramm unterstützt das Umweltministerium Baden-Württemberg Projekte der anwendungsorientierten Umweltforschung, die für Baden-Württemberg in besonderem Maße relevant sind. BWPLUS ging 1998 aus der Vereinigung von vier Vorläuferprogrammen hervor. Das Umweltministerium passte das Programm seitdem mit neuen Förderschwerpunkten kontinuierlich den veränderten Herausforderungen und Rahmenbedingungen an. Die Entwicklung der Forschungsförderung in Baden-Württemberg zeigt Abbildung 1.4-1.

Die Förderschwerpunkte 2009 sind Thermische Energiespeicher, Lärm in der Umwelt, Flächenmanagement und Moore als Quellen und Senken klimarelevanter Gase. Im Rahmen von BWPLUS förderte das Umweltministerium Baden-Württemberg zwischen 1998 und 2008 mehr als 200 Umweltforschungsprojekte mit einem Gesamtfördervolumen von 31,3 Mio. €.

### 1.4.2 UMSETZUNG IN DIE PRAXIS

Bei der Vergabe von Fördergeldern legt das Land großen Wert auf den Anwendungsbezug der Umweltforschungsvorhaben.

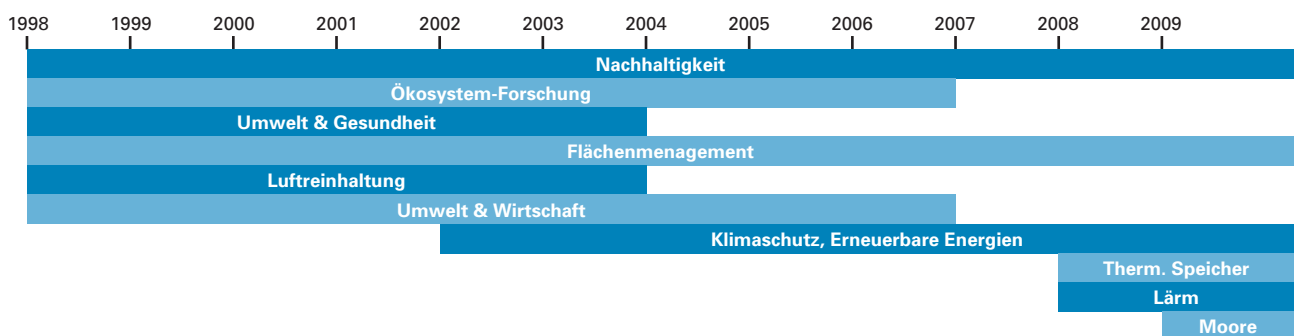


Abb. 1.4-1: Förderschwerpunkte in BWPLUS. Stand: 2009

Im Herbst 2008 wurden die Projektteilnehmer des Förderprogramms BWPLUS hinsichtlich der Praxisumsetzung ihrer Projekte befragt [ROLLER et al. 2008]. Die Umfrage, in deren Rahmen 75 Umweltforschungsvorhaben ausgewertet wurden, ergab, dass in etwa 65 % der Fälle eine Praxisumsetzung der Forschungsergebnisse ganz oder teilweise erfolgte.

Die Ergebnisse aus den Forschungsvorhaben wurden bislang vornehmlich bei Planungsprozessen (Abb. 1.4-2) und internen Behördenentscheidungen aufgegriffen. Sie flossen außerdem ein in politische Entscheidungen und rechtliche Bestimmungen oder technische Regeln.

Einige Forschungsvorhaben führten in der Wirtschaft zu veränderten bzw. neuen Dienstleistungen (Abb. 1.4-3), Produkten oder Investitionen. Sie trugen in einzelnen Fällen außerdem zu Unternehmensentscheidungen bei. Patente, Lizenzen oder veränderte bzw. neue Produktionsverfahren ergaben sich bei jeweils knapp 3 % der Projekte.

In knapp 67 % der Fälle wurden die Forschungsergebnisse von der Wissenschaft zitiert (Abb. 1.4-4). Mehr als die Hälfte der Umweltforschungsprojekte mündete in weiteren wissenschaftlichen Untersuchungen, sowohl durch

den Forschungsnehmer selbst als auch durch andere Forschungseinrichtungen.

Der Umfrage zufolge gewinnen vor allem Forschungseinrichtungen durch die Projektergebnisse an Know-how (Abb. 1.4-5). Verwaltungen und Unternehmen, davon überwiegend kleinere und mittlere Unternehmen, Vereine und Verbände profitieren ebenfalls.

**INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN:**

mehr Informationen zur Lokalen Agenda im Internet Themenportal ‚Agenda 21‘ der LUBW:

[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

mehr Informationen zur Umweltforschung im Internet-Themenportal ‚Umweltforschung‘ der LUBW:

[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

Umweltforschung Baden-Württemberg:

[www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/9277/](http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/9277/)

[www.bwplus.fzk.de](http://www.bwplus.fzk.de)

Umsetzung der Forschungsergebnisse in

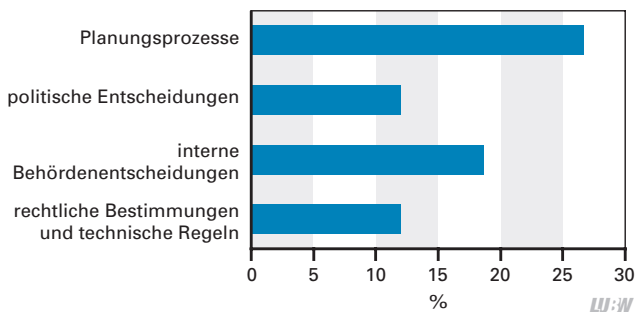


Abb. 1.4-2: Prozentsatz der Umweltforschungsprojekte, deren Ergebnisse in Politik, Recht, Verwaltung und Planung umgesetzt wurden; Mehrfachnennungen waren möglich. Stand: 2008

Beachtung der Forschungsergebnisse in der Wissenschaft durch

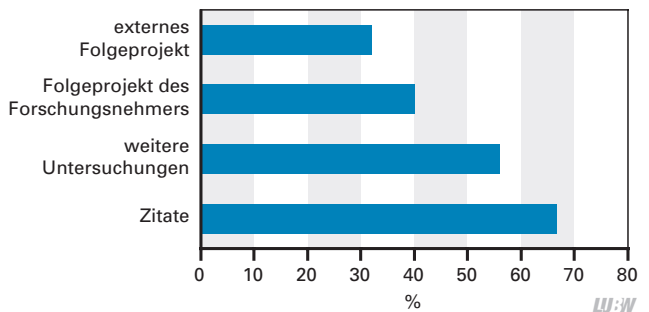


Abb. 1.4-4: Prozentsatz der Umweltforschungsprojekte, deren Ergebnisse in der Wissenschaft angewendet werden; Mehrfachnennungen waren möglich. Stand: 2008

Die Forschungsergebnisse führten bei Unternehmen zu

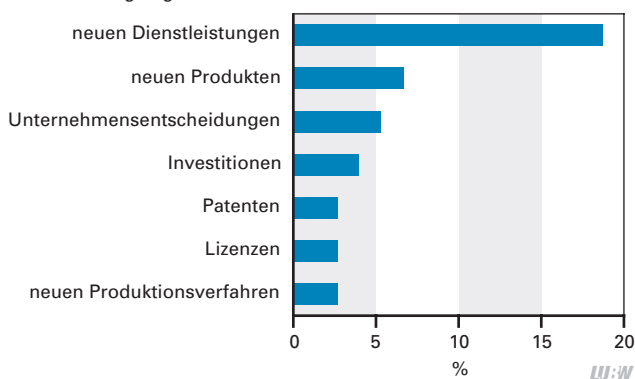


Abb. 1.4-3: Prozentsatz der Umweltforschungsprojekte, deren Ergebnisse in der Wirtschaft umgesetzt wurden; Mehrfachnennungen waren möglich. Stand: 2008

Die Forschungsergebnisse führten zur Schaffung von Know-how bei

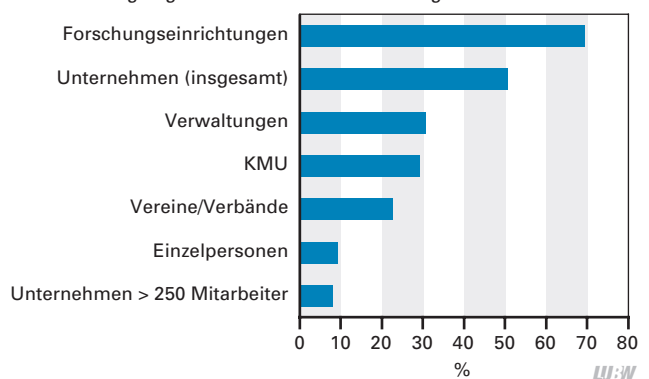


Abb. 1.4-5: Prozentsatz der Umweltforschungsprojekte, deren Ergebnisse zur Schaffung von Know-how führten; Mehrfachnennungen waren möglich. KMU – kleine und mittlere Unternehmen. Stand: 2008



## 2 Natürliche Ressourcen

### 2.1 ROHSTOFFGEWINNUNG UND -VERBRAUCH

#### 2.1.1 NICHT ERNEUERBARE ROHSTOFFE

Unter „nicht erneuerbaren Rohstoffen“ werden abiotische (unbelebte) Rohstoffe, Zwischenprodukte und Fertigwaren zusammengefasst. Die in Baden-Württemberg verbrauchten, nicht erneuerbaren Rohstoffe stammen zum größten Teil (2006: 64 %) aus dem Land selbst. Etwa ein Drittel wird aus dem Ausland importiert, 3 % aus anderen Bundesländern eingeführt. Nachdem in den Jahren 2001 bis 2003 ein deutlicher Rückgang zu verzeichnen war, steigt der Rohstoffverbrauch seit 2004 wieder leicht an. Dies ist in erster Linie dem gestiegenen Import aus dem Ausland zuzuschreiben. Die verwertete Entnahme im Land zeigt erst im Jahr 2005 höhere Zahlen. Insgesamt ist der Verbrauch von nicht erneuerbaren Rohstoffen in den letzten zehn Jahren jedoch leicht gesunken (Abb. 2.1-1).

In Baden-Württemberg werden vor allem mineralische Rohstoffe wie Kiese, Sand und Natursteine gewonnen (Abb. 2.1-2). Nachdem im Jahr 2004 ein Rückgang der Rohförderung um über 20 % zu beobachten war, blieb die Rohförderung in den letzten vier Jahren nahezu konstant. Insgesamt wurden 2007 in Baden-Württemberg rund 78 Mio. Tonnen mineralische Rohstoffe gefördert. In Tabelle 2.1-1

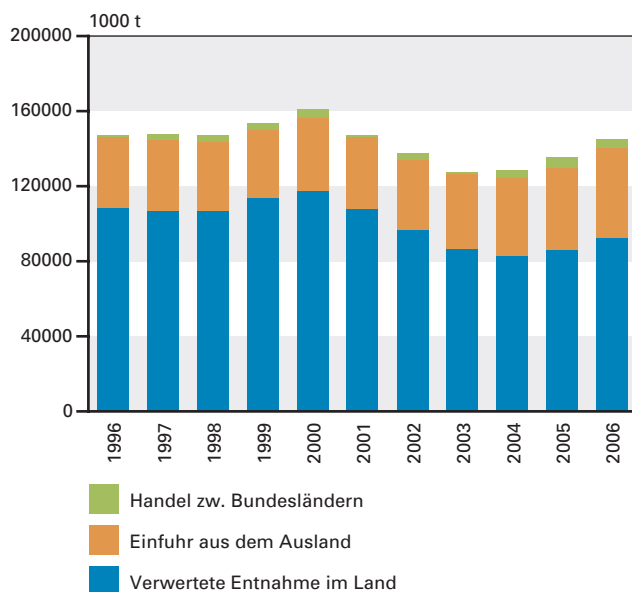


Abb. 2.1-1: Rohstoffverbrauch in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

ist die Fördermenge der einzelnen Gesteinsarten dargestellt.

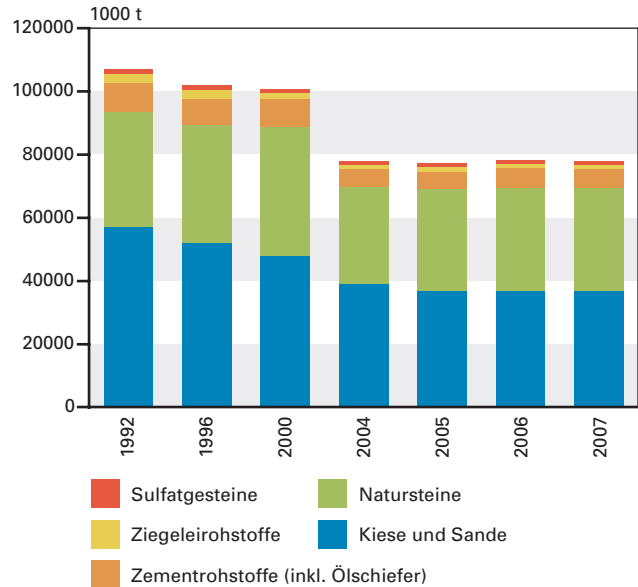


Abb. 2.1-2: Rohförderung mineralischer Rohstoffe. Nicht berücksichtigt: hochreine Kalksteine, Steinsalz/Sole, Fluss-/Schwerspat Quelle: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg 2008

Tab. 2.1-1: Rohförderung mineralischer Rohstoffe. Quelle: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg 2008

Rohstoff	Fördermenge 2007 in 1 000 t
Kiese und Sande (inkl. Mürlsandsteine und Gruse)	36 958
Natursteine (Kalksteine, Vulkanite, Plutonite, Metamorphite, Naturwerksteine)	32 694
Zementrohstoffe (inkl. Ölschiefer)	5 803
Ziegeleirohstoffe	1 364
Sulfatgesteine	1 205
Summe	78 025

#### 2.1.2 NACHWACHSENDE ROHSTOFFE

Unter nachwachsenden Rohstoffen versteht man land- und forstwirtschaftliche Produkte, die nicht im Nahrungs- bzw. Futtermittelbereich verwendet werden. Man unterscheidet zwischen Rohstoffen, die stofflich genutzt werden und solchen, die der Energieerzeugung dienen.



### 2.1.3 NACHWACHSENDE ROHSTOFFE AUS LANDWIRTSCHAFTLICHEM ANBAU FÜR DIE STOFFLICHE NUTZUNG

Nachwachsende Rohstoffe aus dem landwirtschaftlichen Anbau, die der Industrie wichtige Rohstoffe liefern, können wie folgt differenziert werden:

- 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)
- Proteinpflanzen (Ackerbohne, Lupine und Eiweißerbse)

In Baden-Württemberg liegen derzeit keine aussagekräftigen Daten zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen vor. Umfassende Ergebnisse werden von der für 2010 geplanten Landwirtschaftszählung erwartet.

Bundesweit wurden im Jahr 2008 auf 275 500 ha Pflanzen zur stofflichen Nutzung angebaut (Tab. 2.1-2).

Tab. 2.1-2: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland.  
Quelle: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe FNR 2009

	2007	2008*
	Angaben in 1000 Hektar	
Stärke	128	128
Zucker	22	22
Rapsöl	100	100
Sonnenblumenöl	8,5	10
Leinöl	3,1	3,5
Faserpflanzen	2	2
Heilstoffe	10	10
Gesamt	273,6	275,5

\* vorläufige Schätzung

#### 2.1.3.1 HOLZ ALS ROHSTOFF FÜR DIE STOFFLICHE NUTZUNG

In Baden-Württemberg werden im langjährigen Mittel ca. 10,7 Mio. m<sup>3</sup> Holz pro Jahr mit einem Wert von ca. 500 Mio. € eingeschlagen. 60 % dieser Erntemenge werden an Sägewerke verkauft, 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 nach den Ergebnissen der Bundeswaldinventur zwischen 1987 und 2002 trotz der Holzverluste durch die großflächigen Orkans Schäden um insgesamt 5 % gestiegen (Abb. 2.1-3). 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 in Baden-Württemberg ist die hohe Zuwachsleistung. Gute Böden und ideale Wetterbedingungen lassen 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 2007 wurden in Baden-Württemberg 8,5 Mio. m<sup>3</sup> Holz geschlagen, was einem bundesweiten Anteil von 11 % entspricht. Die rückläufigen Zahlen im Bundesvergleich sind Auswirkungen des Orkans „Kyrill“, der durch hohe Schadholzmengen vor allem im Norden Deutschlands den Markt entscheidend beeinflusste. 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 Baden-Württembergs formulierten Zielen soll der Anteil von Holz im Bauwesen von derzeit 23 % auf 30 % und der Prokopfverbrauch von Schnittholz von derzeit 0,4 m<sup>3</sup> auf 0,5 m<sup>3</sup> pro Einwohner und Jahr angehoben werden.

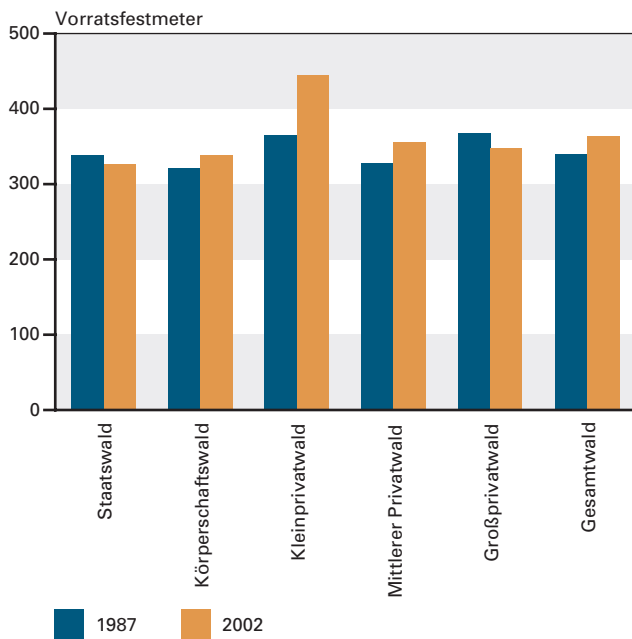


Abb. 2.1-3: Entwicklung der mittleren Hektarvorräte in den verschiedenen Waldeigentumsarten in Baden-Württemberg. Quelle: Bundeswaldinventur 2005

#### 2.1.4 NACHWACHSENDE ROHSTOFFE AUS LANDWIRTSCHAFTLICHEM ANBAU FÜR DIE ENERGETISCHE NUTZUNG

Als Energieträger leisten nachwachsende Rohstoffe aus landwirtschaftlichem Anbau einen wichtigen Beitrag zur Substitution von nicht erneuerbaren Primärenergieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas.

Zur Energieerzeugung können Pflanzen direkt oder erforderlichenfalls nach einer mechanischen Aufbereitung eingesetzt werden (z. B. Pflanzenöl). Sie können eine chemische Umwandlung zu Synthesegas, Pflanzenölmethylester oder biologische Umwandlung zu Biogas durchlaufen.

In Baden-Württemberg wurden nach den Ergebnissen der Agrarstrukturerhebung 2007 zur Bestückung der Biogasanlagen auf rund 41 000 ha Energiepflanzen angebaut, was ungefähr 3 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche

Tab. 2.1-3: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Quelle: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe 2009

	2007	2008*
Angaben in 1000 Hektar		
Raps für Biodiesel / Pflanzenöl	1 120	1 000
Zucker und Stärke für Bioethanol	250	250
Pflanzen für Biogas	400	500
Sonstiges	1	2
Gesamt	1 771	1 752

\* vorläufige Schätzung

entspricht [STALA 2009]. Insgesamt wurden Ende 2008 in Baden-Württemberg 558 Biogasanlagen betrieben, die eine Gesamtleistung von 140 300 kW erbringen.

Bundesweit wurden 2008 auf einer Fläche von etwa 1,7 Mio. ha nachwachsende Rohstoffe zur energetischen Nutzung angebaut (Tab. 2.1-3).

#### 2.1.5 HOLZ ALS ROHSTOFF FÜR DIE ENERGETISCHE NUTZUNG

Rund 2,5 Mio. m<sup>3</sup> Holz werden derzeit in Baden-Württemberg in unterschiedlichen Aufarbeitungsformen (Scheitholz, Pellets, Hackschnitzel) energetisch verwertet. Im Zeitraum 1995 bis 2006 hat das Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum den Bau von 209 Holzhackschnitzel-Heizanlagen mit einer Gesamtleistung von 146 Megawatt mit fast 14 Mio. € unterstützt.

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

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau beim Regierungspräsidium Freiburg:

[www.lgrb.uni-freiburg.de](http://www.lgrb.uni-freiburg.de)

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.:

[www.fnr.de](http://www.fnr.de)

Landesforstverwaltung:

[www.wald-online-bw.de](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 wirt-

schaftliche Aktivitäten. Folgen der Flächeninanspruchnahme sind ein Verlust der natürlichen Funktionen der Böden und eine zunehmende Zerschneidung von Flächen (vgl. Kap. 1.1 und Kap. 2.3). Ursprüngliche und zusammenhängende Lebensräume für Tiere und Pflanzen gehen verloren. Ende 2008 wurden von den 3,58 Mio. ha Bodenfläche des Landes 1,64 Mio. ha als Landwirtschaftsfläche und 1,37 Mio. ha als Waldfläche genutzt. Damit sind die Land- und Forstwirtschaft die Nutzer auf der größten Fläche in Baden-Württemberg (Abb. 2.2-1).

Die Siedlungs- und Verkehrsfläche umfasste 2008 500386 ha, das sind 14 % der Landesfläche. Davon werden 53,6 % als Gebäude- und Freifläche, 38,9 % als Verkehrsfläche, 5,9 % als Erholungsfläche, 0,9 % als Betriebsfläche ohne Abbau und 0,7 % als Friedhofsfläche genutzt. Die Flächen-nutzung in dieser Nutzungsartengruppe setzt sich aus den oben angegebenen unterschiedlichen Nutzungen zusammen und enthält z. B. auch die Gärten bei der Gebäude- und Freifläche sowie Parkanlagen, aber auch Tennisplätze oder Freibäder bei der Erholungsfläche. Die Siedlungs- und Verkehrsfläche ist somit nicht vollständig versiegelt. Heute wird davon ausgegangen, dass von der Siedlungs- und Ver-

kehrsfläche knapp die Hälfte der Fläche versiegelt ist. Die restliche Fläche ist jedoch zum Teil 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 2008 täglich 8,2 ha. Dies entspricht einer Fläche von rund 12 Fußballfeldern. Im Vergleich zu 2007 (10,3 ha tägliche Neuinanspruchnahme) ging damit die Flächeninanspruchnahme um rund 20,4 % zurück. Zum Zeitpunkt der Verabschiedung des ersten Umweltplans der Landesregierung im Jahr 2000 betrug die tägliche Neuinanspruchnahme noch 12 ha. Zum Zeitpunkt der Fortschreibung des Umweltplans 2007 waren es täglich noch 9,4 ha. Bei dieser Fortschreibung hat die Landesregierung auch an dem bereits im Jahr 2000 definierten Ziel einer „deutlichen Reduzierung der Flächeninanspruchnahme“ festgehalten. Langfristig muss es schon aus demografischen Gründen Ziel des Landes sein, durch Flächenkreislaufwirtschaft zur „Netto-Null“ bei der Flächeninanspruchnahme zu kommen [UM 2007].

In den Jahren 1993 bis 2008 hat die für Siedlung und Verkehr genutzte Fläche um 61 046 ha zugenommen (Abb. 2.2-2).

Diese Zunahme wie auch eine Zunahme der Waldfläche durch Aufforstungen und fortschreitende Sukzession ging zum überwiegenden Teil auf Kosten der landwirtschaftlich genutzten Fläche. Die Ursachen der Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche (Abb. 2.2-3) liegen in der Bevölkerungszunahme, den gestiegenen Wohnraumansprüchen sowie in der Zunahme der Flächennutzungen für wirtschaftliche Aktivitäten und in der gestiegenen Mobilität. Diese förderte auch die Siedlungsdispersion, die Nutzungsentmischung und Dekonzentration [WM 2005].

Bereits seit vielen Jahren unterstützt das Land Bemühungen zum Flächensparen durch Initiativen zur Bewusstseinsbildung und zur Entwicklung von Instrumenten für eine sparsame Flächeninanspruchnahme. Die Nachhaltigkeitsstrategie des Landes Baden-Württemberg [UM 2008] hat die Reduzierung der Umwandlungsrate von Landwirtschafts- und natürlichen Flächen in Siedlungs- und Verkehrsflächen auf ‚Netto-Null‘ und die Erhaltung großer und bislang unzerschnittener Flächen zum Ziel.

Die Landesregierung verabschiedete 2007 ein Strategieprogramm mit den Schwerpunkten ‚Bewusstseinsbildung‘,

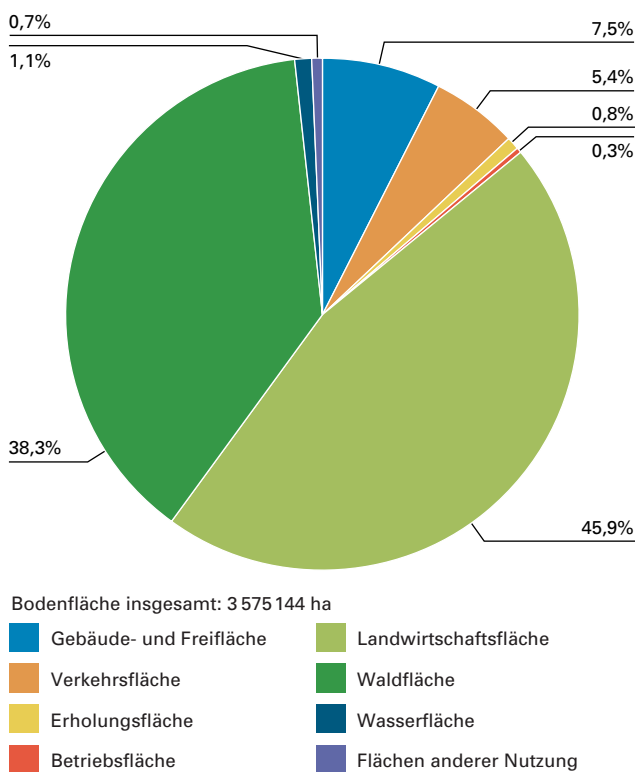


Abb. 2.2-1: Flächennutzung in % der Bodenfläche von Baden-Württemberg. Stand: 31.12.2008. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

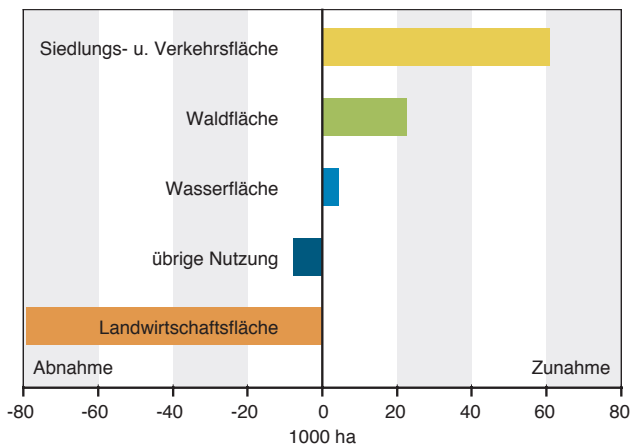


Abb. 2.2-2: Veränderung der Flächennutzung in Baden-Württemberg 1993 bis 2008 in ha. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

„rechtliche Rahmenbedingungen“, Verwaltungsvollzug“ sowie „ökonomische und steuerliche Anreize“:

- Bewusstseinsbildung – das 2004 vom Umweltministerium ins Leben gerufene Aktionsbündnis „Flächen gewinnen“ bewährte sich und wird fortgesetzt. 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 zuständigen Ministerien vertreten. Zur Information und Aufklärung von Gemeinderäten, lokalen und regionalen Entscheidungsträgern sowie in der Bauwirtschaft diente eine Öffentlichkeitskampagne des Landes: Durchführung eines Gewerbeflächentages, Durchführung von vier Regionalkonferenzen, Erstellung einer Zwischenbilanz und Erstellung von Berichten über Forschungs- und Modellprojekte [UM, LUBW, FZK 2008]. Statistische Erhebungen und Indikatoren sollen vorangetrieben [LUBW 2007a] und Verfahren zur vergleichenden Bilanzierung der Flächeninanspruchnahme entwickelt werden um den haushälterischen Umgang mit der Ressource Fläche zu verbessern. Das Aktionsbündnis unterstützt auch die Flächenmanagement-Plattform, ein Internet-Auftritt des Umweltministeriums Baden-Württemberg. Diese Plattform informiert umfassend über das Aktionsbündnis, Praxisbeispiele und fachliche Empfehlungen, Verlinkungen zu weiteren Akteuren und u. a. zum Landesentwicklungsbericht.
- Rechtliche Rahmenbedingungen und Verwaltungsvollzug – zugunsten einer Reduzierung der Flächeninanspruchnahme werden Landesplanungsgesetz, Regionalpläne und Raumordnungsgesetz ergänzt und angepasst. Die Innenentwicklung soll Vorrang vor der Inanspruchnahme von

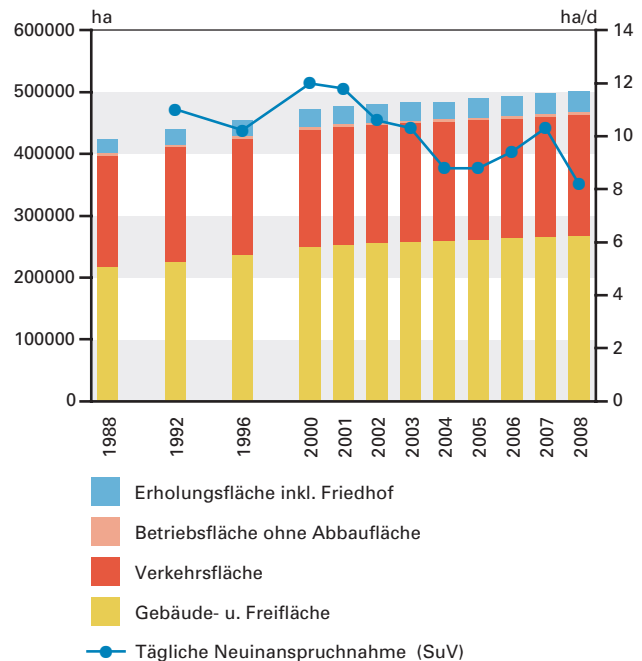


Abb. 2.2-3: Summe in ha und Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen (SuV) Baden-Württembergs in ha/d, (Stand jeweils 31.12. des Vorjahres). Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

Freiräumen haben. Bei der Plausibilitätsprüfung des Flächenbedarfs im Genehmigungsverfahren soll ein strenger Maßstab angelegt und bei den bislang gesplitteten Genehmigungszuständigkeiten für Flächennutzungspläne soll die Zusammenführung der Zuständigkeiten geprüft werden.

- Ökonomische und steuerliche Anreize – die Fördermaßnahmen des Landes werden für die Stärkung der Innenentwicklung harmonisiert und gebündelt. Im Rahmen der Städtebauförderung wird die Revitalisierung der Innenstädte und die Um- und Wiedernutzung von brachgefallenen Gebäuden und Flächen weiter vorangetrieben. Die im Modellprojekt MELAP (Modellprojekt zur Eindämmung des Landschaftsverbrauchs durch Aktivierung innerörtlicher Potenziale) gewonnenen Erfahrungen flossen in einer umfassenden Novellierung des Entwicklungsprogramms Ländlicher Raum (ELR) ein.
- Auch bei der Umsetzung der europäischen Strukturförderung hat die Schonung der natürlichen Ressourcen einen hohen Stellenwert. So werden bei der Kofinanzierung durch das ELR keine kommunalen Infrastrukturmaßnahmen gefördert, die weitere Flächen als Siedlungs- und Verkehrsflächen in Anspruch nehmen. Die verkehrspolitischen Zielsetzungen sehen u. a. Prioritäten im Ausbau vor Neubau, in der Bündelung der Trassen und Rekultivierung nicht mehr benötigter Straßenflächen.

## INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Flächenmanagementplattform beim Umweltministerium Baden-Württemberg:

[www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/27062/](http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/27062/)

Daten zur Flächennutzung beim Statistischen Landesamt Baden-Württemberg:

[www.statistik.baden-wuerttemberg.de](http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de)

## 2.3 LANDSCHAFTSZERSCHNEIDUNG

Große, durch Siedlung und Verkehrsinfrastruktur noch nicht zerschnittene Freiräume sind für Tierarten mit großen Raumansprüchen, aber auch für den Erholung suchenden Menschen von besonderer Bedeutung. Die historische Siedlungsentwicklung in Baden-Württemberg und die Zunahme des Flächenverbrauchs durch wachsende Siedlungen sowie der Ausbau von Straßen und Schienenwegen haben ein Siedlungsnetz geschaffen, das große, unzerschnittene, verkehrsarme Räume selten gemacht hat. Aufgrund ihrer hohen ökologischen Bedeutung und ihrer Gefährdung zählen die großen unzerschnittenen verkehrsarmen Räume zu den im Rahmen der raumordnerischen und fachplanerischen Freiraumsicherung besonders schutzwürdigen Flächen.

Die Kriterien zur ‚Ausweisung Unzerschnittener Verkehrsarmer Räume‘ sind:

- Größe über 100 km<sup>2</sup>
- Keine zerschneidenden räumlichen Objekte wie
  - Siedlungsflächen,
  - Straßen ab einer Verkehrsstärke von 1 000 Kfz/24 Std.,
  - Zweigleisige und elektrifizierte eingleisige Bahnstrecken,
  - Flughäfen.

Tunnel ab einer Länge von 1 000 m blieben unberücksichtigt. Datengrundlagen sind die Verkehrsstärkedaten aus dem Jahre 2000, die dem Straßennetz nach ATKIS (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) zugeordnet sind.

Baden-Württemberg besitzt noch 18 ‚Unzerschnittene Verkehrsarme Räume‘ (UZVR) mit einer Größe über 100 km<sup>2</sup> und zwei Räume, die geringfügig kleiner als 100 km<sup>2</sup> sind. Die ‚Unzerschnittenen Verkehrsarmen Räume‘ liegen vor allem im Nordosten des Landes, im Schwarzwald und auf der Schwäbischen Alb (Abb. 2.3-1). Die zumeist wenig

besiedelten und sehr walddreichen Räume im Schwarzwald unterscheiden sich durch eine sehr geringe ‚innere‘ Zerschneidung von den landwirtschaftlich geprägten Räumen im Nordosten. Dort führt die geringe Verkehrsdichte zur Zuordnung in diese Kategorie.

## INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

mehr Informationen zur Landschaftszerschneidung im Internet-Themenportal ‚Natur und Landschaft‘ der LUBW: [www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

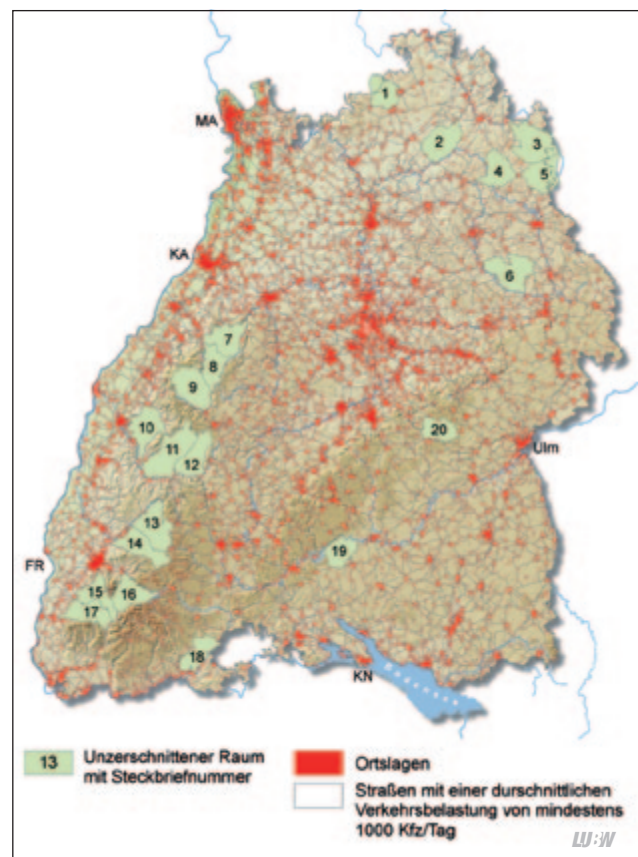


Abb. 2.3-1: ‚Unzerschnittene Verkehrsarme Räume‘ mit einer Größe über 100 km<sup>2</sup> in Baden-Württemberg. Stand: 2008

## 2.4 WASSERGEWINNUNG UND WASSERNUTZUNG

Wasser gehört zu den erneuerbaren, natürlichen Ressourcen. Die Entnahme, Nutzung und Rückführung von Wasser aus dem Wasserkreislauf ist auch ein Eingriff in den Naturhaushalt, bei dem negative Auswirkungen wie z. B. Einträge von Nähr- und Schadstoffen, erhöhte Wassertemperaturen



(vgl. Kap. 6.3.2.3) oder geringe Abflussmengen (vgl. Kap. 6.3.2.2) minimiert werden sollten.

Im Jahr 2007 wurden in Baden-Württemberg 5,0 Mrd. m<sup>3</sup> Wasser aus Grund-, Quell- und Oberflächengewässern gewonnen. Aus Oberflächengewässern wird der mit Abstand größte Anteil von 4,4 Mrd. m<sup>3</sup> (88 %) entnommen. Aus dem Grundwasser wurden 0,47 Mrd. m<sup>3</sup> (9 %) gefördert, während nur ein geringer Teil von 0,14 Mrd. m<sup>3</sup> (3 %) aus Quellwasser stammt. Die Wassergewinnung ist seit Ende der 1980er Jahre rückläufig und seitdem um etwa 34 % gesunken (Abb. 2.4-1). Vor allem die Wassergewinnung aus Oberflächengewässern wurde deutlich reduziert, der Anteil an Quellwasser und Grundwasser veränderte sich kaum. Die geringere Wassergewinnung aus Oberflächengewässern bewirkte maßgeblich den sinkenden Gesamtwert.

Die Wassergewinnung erfolgt im Wesentlichen durch die Energiewirtschaft, öffentliche Wasserversorgung und verarbeitendes Gewerbe. Davon förderte die Energiewirtschaft im Jahr 2007 mit 3,90 Mrd. m<sup>3</sup> (78 %) den weitaus größten Teil. Die öffentliche Wasserversorgung entnahm 0,66 Mrd. m<sup>3</sup> (13 %) und das produzierende Gewerbe 0,43 Mrd. m<sup>3</sup> (9 %). Vor allem die geringere Inanspruchnahme der Wasservorkommen durch die Energiewirtschaft aufgrund des Einsatzes wassersparender Technologien bei der Kühlung bewirkte einen deutlichen Rückgang bei der Wassergewinnung (Abb. 2.4-2). Die Energiewirtschaft gewinnt Wasser annähernd zu 100 % aus Oberflächengewässern.

Das gewonnene Wasser wird unterschiedlich genutzt (Abb. 2.4-3). Das meiste Wasser wird zu 81 % für die Kühlzwecke im Kraftwerksbetrieb der Energiewirtschaft verwendet. In

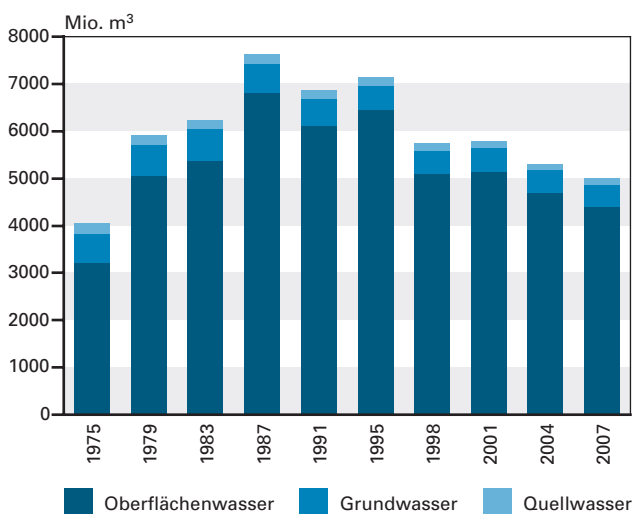


Abb. 2.4-1: Wassergewinnung nach Art des gewonnenen Wassers. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

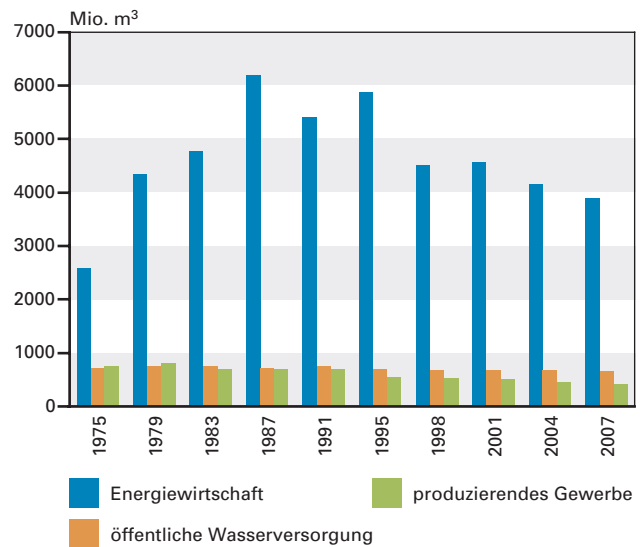


Abb. 2.4-2: Wassergewinnung nach Sektoren. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

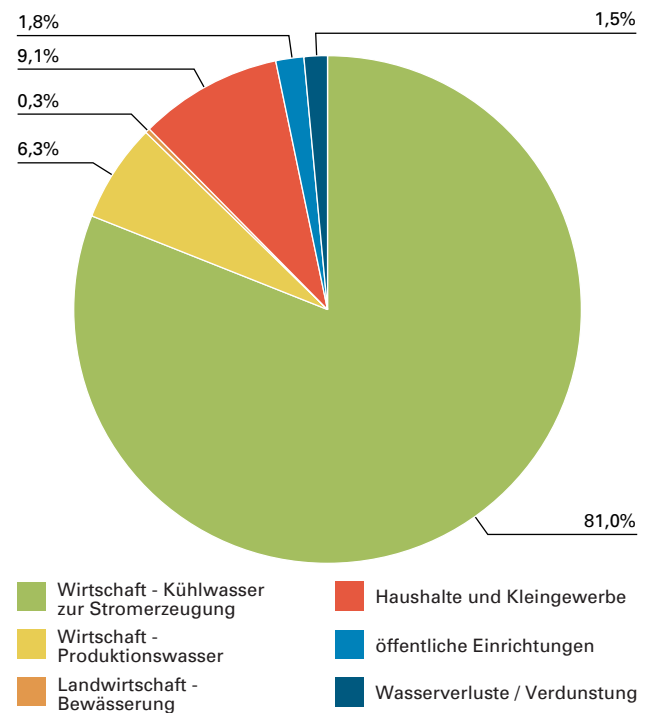


Abb. 2.4-3: Verwendungszweck des 2007 gewonnenen Wassers. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

der Wirtschaft als Produktionswasser wird mit etwa 6,3 % Anteil weniger Wasser genutzt als von der Gruppe Haushalte und Kleingewerbe (9,1 %). Der Verbrauch der öffentlichen Einrichtungen (Krankenhäuser, Schulen usw.) umfasst auch den Eigenverbrauch der Wasserwerke, beispielsweise zur Rohrnetzspülung. Einen relativ geringen Wasserbedarf hat die Landwirtschaft zur Bewässerung (0,3 %). Bei der Verteilung des Wassers durch das Leitungsnetz kommt es zu Verlusten in der Höhe von 1,5 % am gesamten Wasserverbrauch.



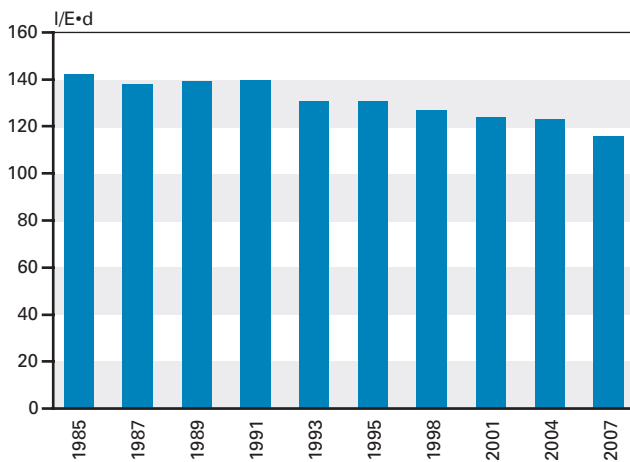


Abb. 2.4-4: Durchschnittlicher täglicher Prokopfverbrauch. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

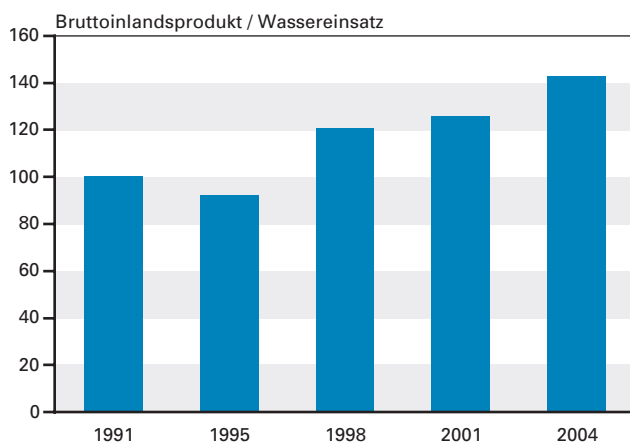


Abb. 2.4-5: Wasserproduktivität (Bruttoinlandsprodukt, preisbereinigt, verkettet, 1991=100). Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

Von dem durch die öffentliche Wasserversorgung gewonnenen Wasser wird ein Großteil als Trinkwasser an Endverbraucher abgegeben. Für Baden-Württemberg ergibt sich 2007 ein durchschnittlicher Prokopfverbrauch von 116 Litern je Einwohner und Tag (Abb. 2.4-4). Der Verbrauch von Trinkwasser ist seit 1985 um 18 % gesunken.

Die Ressource Wasser wird überwiegend für wirtschaftliche Zwecke eingesetzt. Für die Einschätzung der sparsamen Nutzung von Wasser wird die Wasserproduktivität berechnet. Sie gibt an wie viel wirtschaftliche Leistung mit einem Kubikmeter Wasser produziert wird. Die Wasserproduktivität berechnet sich aus dem Quotienten von Bruttoinlandsprodukt zu konstanten Preisen von 1991 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.

Die Wasserproduktivität steigt seit Mitte der 1990er Jahre kontinuierlich an (Abb. 2.4-5).

## INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg:  
[www.statistik.baden-wuerttemberg.de](http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de)

## 2.5 ENERGIEERZEUGUNG UND -VERBRAUCH

Klimaschutz und Energiefragen sind durch die bei der Energieumwandlung potenziell entstehenden klimaschädlichen Kohlendioxidemissionen 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, Raumbeleuchtung 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 2.5-1 sind beispielhaft einige Umrechnungsfaktoren für gebräuchliche Energieeinheiten angegeben.

Tab. 2.5-1: Umrechnungsfaktoren für die gängigen Energieeinheiten. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

Einheit	t SKE	MWh	GJ	t ROE
1 t SKE	1,000	8,140	29,308	0,699
1 MWh	0,123	1,000	3,600	0,086
1 GJ	0,034	0,278	1,000	0,024
1 t ROE	1,429	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.

### 2.5.1 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. 2.5-2). Wie die weltpolitischen und wirtschaftlichen Ereignisse der letzten Jahre gezeigt haben, sind neben dem Klimaschutz

Tab. 2.5-2: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren verschiedener Brennstoffe.  
Quelle: LfU 1999

Brennstoff	kWh/kg	kg CO <sub>2</sub> /kg	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
Brennstoff	kWh/m <sup>3</sup>	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	kg CO <sub>2</sub> / kWh
Erdgas	11,32	2,48	0,22

die Frage der Versorgungssicherheit, die Importabhängigkeit und der Preis weitere gleichberechtigte wichtige Aspekte der Energieerzeugung aus den verschiedenen Energieträgern.

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 notwendige Voraussetzung für die wirtschaftliche Zukunftssicherung des Landes. In den Kraftwerken für die allgemeine Versorgung („öffentliche Kraftwerke“) wurden nach vorläufigen Angaben im Jahr 2007 in Baden-Württemberg 67,86 Mrd. kWh Strom

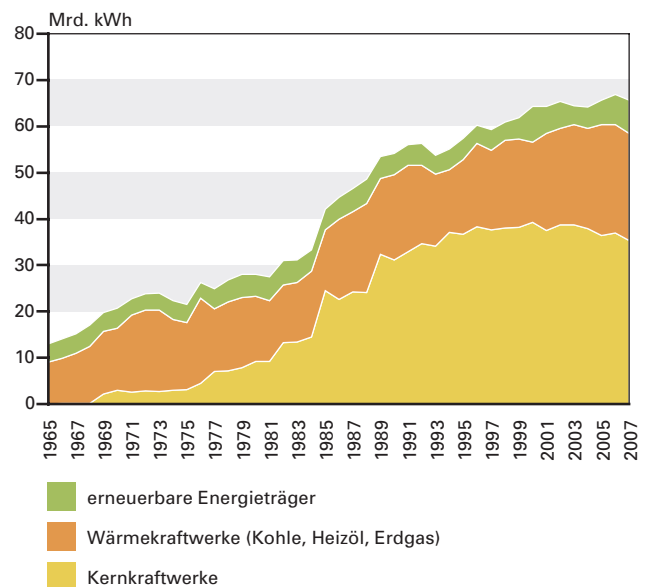


Abb. 2.5-1: Stromerzeugung in den Kraftwerken der allgemeinen Versorgung in Baden-Württemberg 1965 bis 2007, seit 1993 geänderte Erhebungsgrundlage. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

erzeugt. Dies waren 2 % weniger als im Vorjahr. Mehr als die Hälfte des erzeugten Stroms stammt aus der Kernenergie. Weitere 34 % des Stroms wurden aus Steinkohle und Erdgas gewonnen. Die erneuerbaren Energieträger, vor allem die Wasserkraft, trugen mit 7,1 Mrd. kWh zur Stromerzeugung bei, dies waren gut 10 % der Erzeugung (Abb. 2.5-1).

#### 2.5.1.1 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 %, 2005 ca. 24 %) den Anteil der fossilen Energieträger am Primärenergieverbrauch von 1973 ca. 93 % auf ca. 67 % im Jahr 2005 zu senken. Jedoch führte eine ca. 42%-ige Zunahme des Primärenergieverbrauchs im gleichen Zeitraum zu einer Zunahme der absoluten Menge des Verbrauchs an fossilen Energien [STALA 2009].

#### 2.5.1.2 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. 2.5-1). 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 an der Stromerzeugung in den Kraftwerken der allgemeinen Versorgung mit 66 % am höchsten, im Jahr 2007 betrug er nach vorläufigen Angaben rund 52 %.

#### 2.5.1.3 REGENERATIVE ENERGIEN

Die Nutzung regenerativer Energien ist ein wichtiger Baustein, um die genannten Klimaschutzziele in Baden-Württemberg zu erreichen. In Baden-Württemberg bieten sich in naher Zukunft vor allem Ausbaupotenziale bei der Wasserkraft, der Bioenergie und der Geothermie an. Auf Grundlage erster Abschätzungen für das Jahr 2008 mit Datenstand Juli 2009 sollen im Folgenden die derzeitigen

Anteile und Entwicklungen im Bereich der regenerativen Energien in Baden-Württemberg aufgezeigt werden [UM & WM 2009].

2007 lag die Quote der regenerativen Stromerzeugung aus Wasserkraft bei 7,2 % der Bruttostromerzeugung. 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.

Die Wasserkraft lieferte 2008 Energie für ca. 1,2 % des Primärenergieverbrauchs, dies entspricht etwa 15,5 % 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 2008 ca. 19 Mrd. kWh Bioenergie als Primärenergie genutzt. Dies sind etwa 66 % des Primärenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien in unserem Land. Damit trägt die Bioenergie zu ca. 5,2 % zum gesamten Primärenergieverbrauch Baden-Württembergs bei. Den größten Anteil hat hierbei die Nutzung von Holz als Brennstoff in Feuerungen und die Nutzung von Biodiesel und Pflanzenöl.

Nach einer Potenzialabschätzung der ‚Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe‘ könnte Bioenergie bis zu 17 % des Gesamtenergiebedarfs in Deutschland decken [FNR 2009]. 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 Raumheizung, nutzbar ist. Derzeit trägt die Geothermie mit etwa 248 Mio. kWh Wärme noch nicht in größerem Umfang zur Energiebereitstellung in Baden-Württemberg bei.

Bereits die mit heutiger Technik nutzbaren Erdwärmepotenziale übersteigen jedoch 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 über-

nehmen, da z. B. der Oberrheingraben und das süddeutsche Molassebecken sehr günstige Voraussetzungen für die Erdwärmennutzung 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 Celsius 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 betriebs sicher betrachtet werden.

Im Jahre 2008 wurden in Baden-Württemberg, das im deutschlandweiten Vergleich sehr gute Bedingungen für die Solarenergienutzung hat, etwa 898 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 hin zur Marktreife verspricht für die Zukunft weitere breite 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 % bis 18 %). Hinzu kommen die sehr hohen Kosten und der relativ hohe Energiebedarf zur Herstellung solcher Anlagen. Die Stromerzeugung mit Photovoltaikanlagen war im Jahr 2008 mit etwa 1030 Mio. kWh noch gering, deckte damit aber bereits knapp 1,4 % der Bruttostromerzeugung 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 ohne verlässliche meteorologische Vorhersagemethoden und -modelle 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 2008 standen von 20 301 Windenergieanlagen in Deutschland nur 344 in Baden-Württemberg [DEWI 2007]. Die Windenergie trug in Baden-Württemberg im Jahre 2008 mit etwa 595 Mio. kWh zur Stromerzeugung bei, was etwa 0,8 % der Stromerzeugung entsprach.

## **2.5.2 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 Umwandschritte 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.

### **2.5.2.1 PRIMÄRENERGIE**

Insgesamt hat der Primärenergieverbrauch (PEV) von 1991 bis 2006 um gut 12 % zugenommen (Abb. 2.5-3).

Verbrauch und Verluste bei der Energieumwandlung von Primär- in Endenergie von ca. 155 TWh bei einem PEV 2006 von ca. 473 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. Hier bietet als

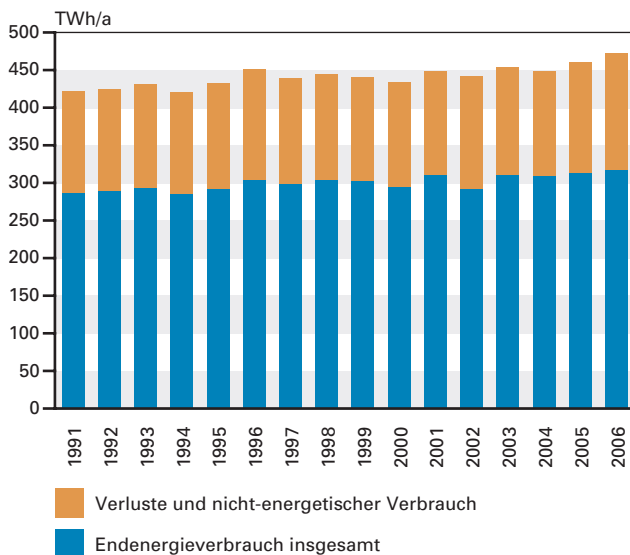


Abb. 2.5-3: Entwicklung des Primär- und Endenergieverbrauchs (= Primärenergieverbrauch) in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

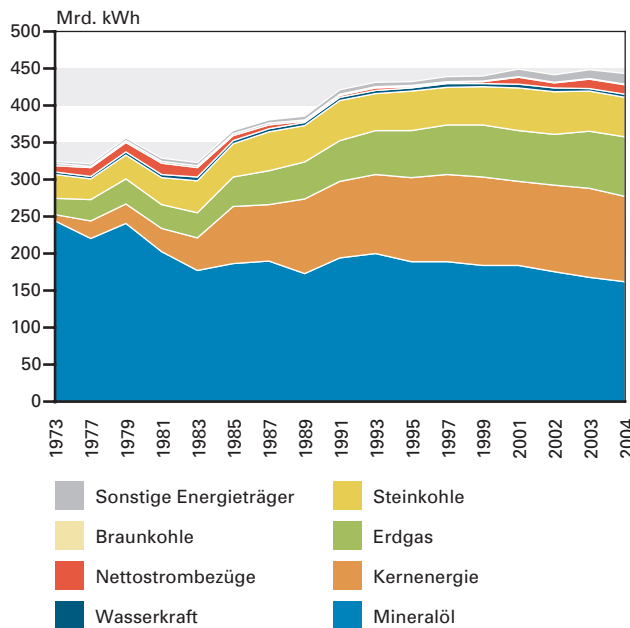


Abb. 2.5-4: Anteile der Energieträger am Primärenergieverbrauch in Baden-Württemberg. Quelle: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2008

Gegenmaßnahme die verstärkte Nutzung der Kraftwärmekopplung, auch in kleinen dezentralen Anlagen wie Blockheizkraftwerken, die Möglichkeit, die Primärenergie durch die gleichzeitige Wärmenutzung besser auszunutzen. Zwischen den Energieträgern gab es von 1973 bis 2004 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 37 % (2004) zurückgeführt. Entsprechend wurde insbesondere die Kernenergie ausgebaut (Anteil 1973:

2,6 %, Anteil 2004: ca. 25,9 %), und es kam verstärkt Erdgas zum Einsatz (Anteil 1973 ca. 6,9 %, Anteil 2004 ca. 18,1 %) (Abb. 2.5-4).

### 2.5.2.2 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 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 304 TWh lag der EEV im Land auch 2004 über dem Durchschnitt der 1980er Jahre von ca. 260 TWh [WM 2007]. Die zeitliche Entwicklung des EEV ist naturgemäß qualitativ im Wesentlichen identisch mit der des PEV (Abb. 2.5-3).

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. 2.5-5).

Das starke Absinken des Mineralölanteils von 74,5 % (1973) auf 46,8 % (2004) 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 21,8 % (2004) ausbauen [WM 2007]. Einen immer größeren Anteil am Endenergieverbrauch nimmt der elektrische Strom ein. Der Stromanteil am Endenergieverbrauch hat sich von 12,8 % 1973 auf 24 % 2002 fast verdoppelt [WM 2007]. Bei der besonders hochwertigen Endenergieform „Elektrischer Strom“ bestehen große Einsparpotenziale.



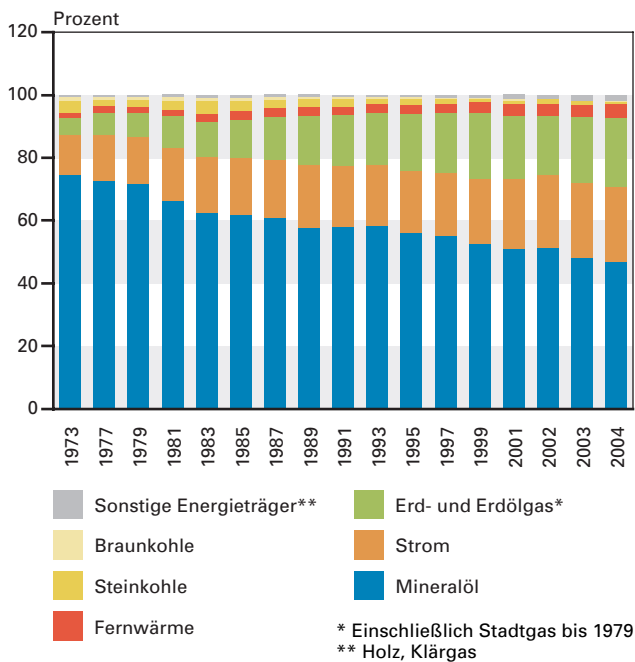


Abb. 2.5-5: Prozentuale Anteile der Endenergieträger am Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg. Quelle: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2008

Die prozentualen Anteile der Verbrauchergruppen Industrie, Haushalte/Kleinverbraucher und Verkehr am Endenergieverbrauch zeigt Abbildung 2.5-6.

Einen wichtigen Anteil am Endenergieverbrauch nehmen dabei die Verbrauchergruppen Haushalte/Kleinverbraucher und Verkehr ein. Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs ist von einer Zunahme des Verkehrsanteils und einer Abnahme des Industrieanteils gekennzeichnet. Die Tatsache, dass

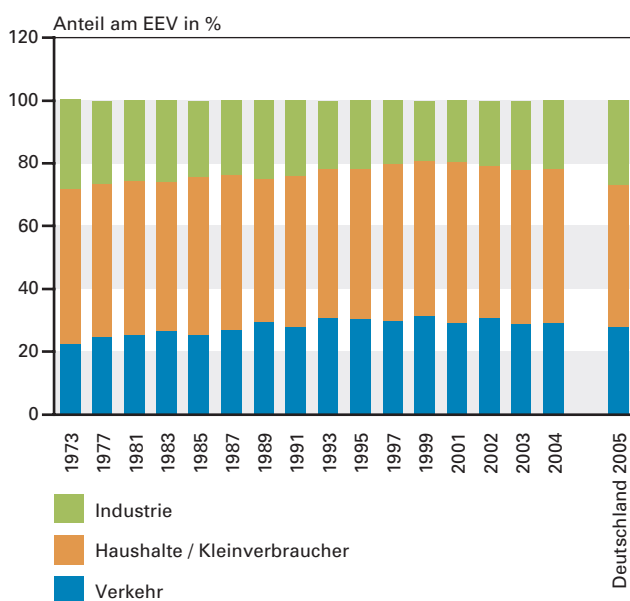


Abb. 2.5-6: Prozentuale Anteile der Verbrauchergruppen am Endenergieverbrauch (EEV) in Baden-Württemberg. Quelle: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2008

die Industrie in Baden-Württemberg im Vergleich zur Bundesrepublik Deutschland einen geringeren 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.

### 2.5.3 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 2005 ergab sich ein Wert von 1,43 kWh/Euro (PEV/BIP) bzw. 42,92 MWh (PEV/Einwohner) (Abb. 2.5-7). Für ganz Deutschland liegen diese Werte deutlich höher (PEV/BIP = 1,79 kWh/Euro, PEV/Einwohner = 48,72 MWh).

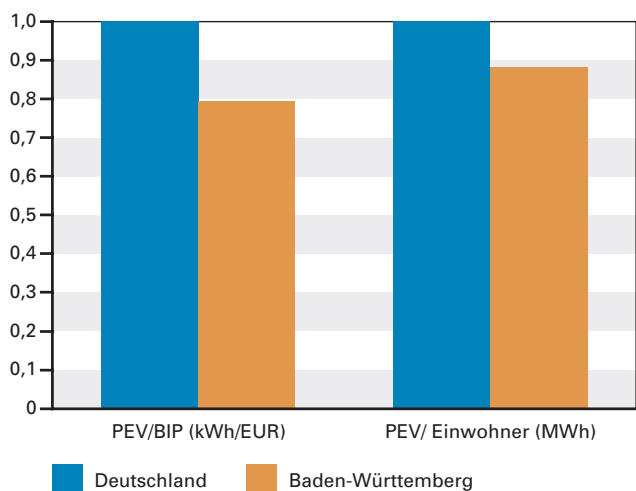


Abb. 2.5-7: Vergleich Deutschland – Baden-Württemberg beim Primärenergieverbrauch (PEV) zum Bruttoinlandsprodukt (BIP) und Einwohner 2005. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2008

#### 2.5.3.1 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 Beleuchtung, beim Kühlen und Gefrieren, bei der Informations- und 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 z. B. durch die verstärkte Nutzung von Telekommunikationsgeräten, Unterhaltungselektronik oder der verstärkte Einsatz elektrischer Haushaltsgeräte zunichte gemacht. Viele dieser Geräte, wie z. B. Mobiltelefone, Digitalkameras, Spielkonsolen oder Endgeräte zur Internetnutzung sind entweder durch Akkuverwendung 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.

#### **2.5.3.2 PERSPEKTIVEN FÜR DEN STROMVERBRAUCH**

Nur ein Teil der technisch möglichen und wirtschaftlich sinnvollen Stromeinsparung wird umgesetzt, z. T. aus Unwissen oder Motivationsmangel oder aufgrund mangelnder Umsetzung erforderlicher Investitionen. Zudem verkürzen 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 der Zuwachs an insgesamt installierten Elektrogeräten.

#### **2.5.3.3 WÄRMEEFFIZIENZ BEI INDUSTRIE UND GEWERBE**

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

Der große prozentuale Anteil des Wärmemarktes am Endenergieverbrauch, insbesondere auch die Haushalte, zeigt,

dass effektiver Klimaschutz hier ansetzen muss. Aus diesem Grunde werden durch Maßnahmen wie den Energiesparcheck Baden-Württemberg, das Informationsprogramm „Zukunft Altbau“, das „Erneuerbare-Wärme-Gesetz“, aber auch durch Förderprogramme wichtige Weichen für den Klimaschutz gestellt.

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

- durch Recycling, Kreislaufführung und Lebensdauerverlängerung für Produkte,
- durch Wärmerückgewinnung,
- durch Modernisierung bei Öfen und Trocknungsanlagen.

#### **2.5.3.4 WÄRMEEFFIZIENZ 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.

Für den Erfolg von Klimaschutzmaßnahmen in diesem Sektor ist besonders 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. Das Erneuerbare-Wärme-Gesetz des Landes (EWärmeG) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz des Bundes (EEWärmeG) regeln seit Anfang 2008 bzw. Anfang 2009 den Einsatz erneuerbarer Energien bei der Wärmeversorgung von neuen und bestehenden Wohngebäuden. und leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele.

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. Die mit dem Energieverbrauch verbundenen Um-

weltschäden als externe Kosten sind nicht im Energiepreis berücksichtigt.

#### **INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN**

Umweltministerium Baden-Württemberg:  
[www.um.baden-wuerttemberg.de](http://www.um.baden-wuerttemberg.de)

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg:  
[www.wm.baden-wuerttemberg.de](http://www.wm.baden-wuerttemberg.de)

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg - Informationszentrum Energie:  
[www.wm.baden-wuerttemberg.de/informationszentrum-energie/63806.html](http://www.wm.baden-wuerttemberg.de/informationszentrum-energie/63806.html)

Landesportal Baden-Württemberg:  
[www.baden-wuerttemberg.de/de/Energie/85717.html](http://www.baden-wuerttemberg.de/de/Energie/85717.html)

Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH:  
[www.kea-bw.de](http://www.kea-bw.de)

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg:  
[www.statistik.baden-wuerttemberg.de](http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de)

Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder:  
[www.ugrdl.de](http://www.ugrdl.de)

# 3 Klima

## 3.1 KLIMAWANDEL UND KLIMASCHUTZ

Der vierte Bericht des „Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung der Vereinten Nationen“ (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) stellt eine erhebliche Verbesserung der Wissensgrundlage zum Klimawandel fest, so dass heute von einer eindeutigen Erderwärmung gesprochen werden kann [IPCC 2007]. Er bewirkt ein ausgedehntes Abschmelzen von Gletschern, insbesondere in der Arktis und in Hochgebirgslagen, sowie einen Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels.

Die nördliche Hemisphäre ist vom Klimawandel besonders betroffen. Europa hat sich seit der vorindustriellen Zeit auf dem Land um 1,2 °C erwärmt und liegt damit deutlich über dem globalen Durchschnitt auf dem Land von 1,0 °C [EEA 2008].

Der Klimawandel macht auch vor Baden-Württemberg nicht halt, der Anstieg der Jahresmitteltemperatur im Zeitraum 1931 bis 2005 beträgt 1,0° C über dem Mittel des Referenzzeitraumes 1961 bis 1990 [KLIWA 2008].

Der größte Teil des beobachteten Anstiegs der globalen Temperatur ist nach der Analyse der Experten des IPCC mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 90 % auf den Anstieg der anthropogenen Treibhausgasemissionen zurückzuführen. Mittlerweile hat die globale Konzentration des Treibhausgases Kohlendioxid in der Luft mit 387 ppm einen Wert erreicht, der sehr deutlich über den in den letzten 800 000 Jahren aufgetretenen Kohlendioxidkonzentrationen liegt, wie die Untersuchungen von Eisproben in der Antarktis ergaben.

Ein weiterer Anstieg der Temperatur ist wegen der bereits in der Atmosphäre angereicherten Treibhausgase nicht mehr zu vermeiden. Eine große Zahl von Modellberechnungen, die verschiedenste Szenarien z. B. für das Emissionsverhalten, Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum usw. berücksichtigt, belegen dies.

Derzeit stellt sich nicht mehr die Frage, ob ein weiterer Temperaturanstieg erfolgt, sondern in welchem Ausmaß der Anstieg der Temperaturen bis zum Ende des Jahrhunderts stattfindet. So reicht die Spannweite der Prognosen der globalen Klimamodelle von 1,1 °C bis 6,4 °C im Vergleich zum Zeitraum 1980 bis 1999. Die Klimamodelle las-

sen für die Zukunft außerdem vermehrt Extremereignisse wie Hitzewellen und lokale Starkniederschläge (Gewitter) erwarten.

Um schwerwiegende und unumkehrbare Auswirkungen der Klimaänderungen zu vermeiden, haben sich Deutschland und die Europäische Union als langfristiges Ziel gesetzt, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf 2 °C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen.

Auf dem Gipfel des Europäischen Rates im März 2007 verständigten sich die Regierungschefs auf energie- und klimapolitische Ziele, die bis 2020 umzusetzen sind:

- Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 20 %,
- Erhöhung des Anteils der Erneuerbaren Energien auf 20 %,
- und die Steigerung der Energieeffizienz um 20 % gegenüber 1990.

Die Europäische Kommission hat im Januar 2008 ein Klima- und Energiepaket vorgestellt, welches mehrere Vorschläge zu europäischen Rechtsakten enthält, um die sogenannten 20-20-20-Ziele zu erreichen.

Daneben gilt es insbesondere die Folgen des Klimawandels auf regionaler und lokaler Ebene frühzeitig zu verfolgen, zukünftige Folgen abzuschätzen und geeignete Maßnahmen zu ergreifen.

Um gesundheitliche, ökologische und ökonomische Beeinträchtigungen durch den Klimawandel zu vermeiden, müssen Anpassungsmaßnahmen in beinahe allen Bereichen entwickelt werden. Die EU hat 2007 ein Grünbuch zur Anpassung an den Klimawandel veröffentlicht, und Anfang 2009 ein Weißbuch mit Vorschlägen zu Anpassungsmaßnahmen herausgebracht [EU 2007]. Mit der ‚Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel‘ wurden im Dezember 2008 auch in Deutschland erste Schritte eingeleitet. Die Landesregierung hat mit dem ‚Klimaschutzkonzept 2010‘ ein umfangreiches Maßnahmenpaket verabschiedet, mit dem eine Kohlendioxidminderung von 2 Mio. bis 4 Mio. t Kohlendioxid im Durchschnitt der Jahre 2010 bis 2012 erreicht werden soll [UM 2005]. Schwerpunkte liegen in den Bereichen energetische Modernisierung von Gebäuden, umweltfreundliche Mobilität, Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe und Haushalten, Energieeinsparung in

Landesgebäuden, kommunaler Ausbau der erneuerbaren Energien sowie Kraft-Wärme-Koppelung. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung soll auf 11,5 % verdoppelt werden.

## 3.2 EMISSION VON TREIBHAUSGASEN

### 3.2.1 TREIBHAUSGASE UND IHRE RELEVANZ

Der Klimawandel ist eine globale Herausforderung und Maßnahmen können nicht allein auf Ebene eines einzelnen Staates oder eines Bundeslandes getroffen werden.

Das Kyoto-Protokoll, das im Februar 2005 völkerrechtlich verbindlich in Kraft trat, ist derzeit das wichtigste Instrument des globalen Klimaschutzes. Es hat das Ziel, in der Zielperiode 2008 bis 2012 die Treibhausgasemissionen 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 der Verbrennung von Kohle, Gas, Erdöl
- Methan (CH<sub>4</sub>), z. B. aus Viehzucht und Deponien
- Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O, Lachgas), z. B. aus Stickstoffdüngung und Deponien
- Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC), z. B. aus der Aluminiumproduktion
- Halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFC), z. B. aus Kühlmitteln und chemischer Industrie
- Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>), z. B. aus Elektroindustrie und chemischer Industrie

Über die Kyoto-Ziele hinausgehend hat sich die EU verpflichtet, die Klimagasemissionen um 8 % im Durchschnitt der Jahre 2008 bis 2012 gegenüber 1990 zu senken und Deutschland strebt eine Minderung der Emissionen von 21 % an.

Während es für die bedeutenden 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 Bedeutung der verschiedenen Gase für den Treibhauseffekt.

Um die Treibhauswirksamkeit der Gase bzw. Gasgruppen durch eine einzige Zahl bewerten und miteinander verglei-

Tab. 3.2-1: CO<sub>2</sub>-Äquivalente einiger Treibhausgase des Kyoto-Protokolls [IPCC 2007].

	CO <sub>2</sub> -Äquivalente*
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	1
Methan (CH <sub>4</sub> )	21
Distickstoffoxid (N <sub>2</sub> O)	310
Trifluormethan (HFC/CHF <sub>3</sub> )	11 700
Schwefelhexafluorid (SF <sub>6</sub> )	6 500
Tetrafluormethan (PFC/CF <sub>4</sub> )	23 900

\* Potenzial bezogen auf 100 Jahre

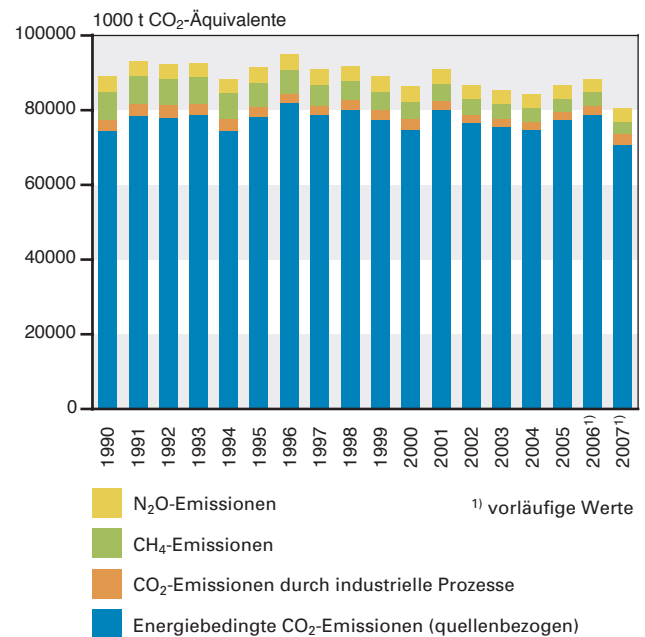


Abb. 3.2-1: Klimarelevante Emissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

chen zu können, wird die Treibhauswirkung der Gase mit der von CO<sub>2</sub> verglichen und als „CO<sub>2</sub>-Äquivalent“ bezeichnet (Tab. 3.2-1).

Wie Abbildung 3.2-1 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.

### 3.2.2 KOHLENDIOXIDEMISSIONEN NACH EMITTENTENGRUPPEN

Im Zeitraum von 1990 bis 2007 sind die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg bei jährlichen, vorrangig witterungsbedingten Schwankungen leicht zurückgegangen. 2007 lagen sie nach vorläufigen Berech-

nungen mit rund 71 Mio. Tonnen deutlich unter den Vorjahreswerten (Abb. 3.2-2). Dies ist bedingt durch extrem gestiegene Energiepreise sowie einen sehr milden Winter. Inwieweit die stark erhöhten Preise für Heizenergie und Kraftstoffe zu einem anhaltenden Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen führen, bleibt abzuwarten.

Zu berücksichtigen ist, dass die Bevölkerung in Baden-Württemberg zwischen 1990 und 2007 um 9,4 % auf 10,75 Mio. Einwohner zunahm. Die spezifische CO<sub>2</sub>-Emission pro Einwohner wurde somit deutlich reduziert.

Die energiebedingten 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 z. B. aus der Zementindustrie; diese werden wegen geringer Mengen im Folgenden vernachlässigt.

Der Verlauf der CO<sub>2</sub>-Emissionen 1985 bis 2007 folgt qualitativ der Entwicklung des Primärenergieverbrauchs (Abb. 3.2-2).

Die Aufgliederung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Emittentengruppen Industrie, Kraftwerke/Raffinerien, Haushalte/Kleinverbraucher und Verkehr zeigt, dass der Verkehr die gleiche Bedeutung für die CO<sub>2</sub>-Problematik hat wie die anderen Emittentengruppen (Abb. 3.2-3).

Der Anteil der Industrie und die Anteile der Haushalte/Kleinverbraucher gingen bis 2007 deutlich zurück, während der Anteil der Kraftwerke zugenommen hat.

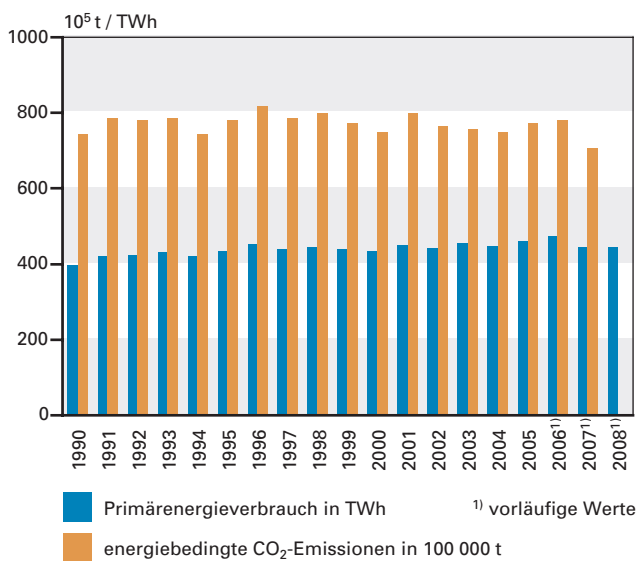


Abb. 3.2-2: Entwicklung von Primärenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg. Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009, IUM & WM 2009)

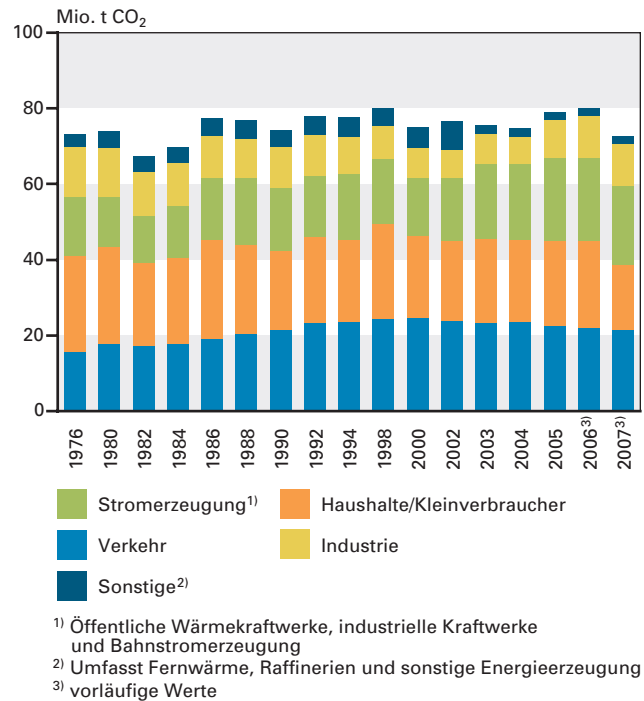


Abb. 3.2-3: Anteile der Emittentengruppen an den CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg. Quelle: IWM 2007; Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

Mit einer Pro-Kopf-Emission von ca. 6,6 t CO<sub>2</sub>/Einwohner lag Baden-Württemberg 2007 etwa ein Drittel unter dem deutschen Durchschnitt von gut 9 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 24 % deutlich höher als im Bundesdurchschnitt (ca. 11 %). 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 Weltdurchschnitt.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die erheblichen technologischen Effizienzgewinne in Baden-Württemberg durch die starke Zunahme der Bevölkerung und den steigenden Wohlstand ausgeglichen wurden. Hinzu kommt die Entwicklung im Verkehrssektor, in dem die Emissionen bis Ende der 1990er Jahre unerwartet stark anstiegen.

### 3.2.3 SONSTIGE TREIBHAUSGASEMISSIONEN NACH EMITTENTENGRUPPEN

CO<sub>2</sub>-Emissionen tragen in Baden-Württemberg mit rund 91 % zum anthropogenen Treibhauseffekt bei (davon rund 88 % energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen). Im Folgenden sollen auch die Emissionen der anderen oben genannten Treibhausgase kurz betrachtet werden.

Die CH<sub>4</sub>-Emissionen machen in Baden-Württemberg bezogen auf ihr Treibhauspotenzial etwa 4 % der gesamten Treibhausgasemissionen aus (Abb. 3.2-1). Sie sind zwischen 1990 und 2007 um 53 % zurückgegangen (Abb. 3.2-4).

Verursacher sind zu 55 % die landwirtschaftliche Viehwirtschaft, zu rund 26 % die Abfallwirtschaft (Hausmülldeponien, Kompostierungsanlagen, Sickergruben) und zu knapp 18 % energieverbrauchsbedingte Emissionen (insbesondere Gasverluste und Feuerungen). Gründe für die rückläufige Entwicklung sind der Ausbau der Deponiegaserfassung, die Reduzierung der abgelagerten organischen Abfälle und die Reduzierung der Viehbestände bzw. der technische Fortschritt bei der landwirtschaftlichen Produktion. Der Anteil an N<sub>2</sub>O an den Treibhausgasemissionen macht in Baden-Württemberg bezogen auf das Treibhauspotenzial etwa 4 % aus (Abb. 3.2-1). Die absolut emittierte Menge bewegte sich im Zeitraum von 1990 bis 2000 auf etwa gleichbleibendem Niveau und zeigt seitdem eine abnehmende Tendenz. Hauptquelle sind mikrobielle Umsetzungen von Stickstoffverbindungen in Böden, die beispielsweise auf Stickstoffeinträgen durch Landwirtschaft, Industrie und Verkehr beruhen.

Die weiteren Treibhausgase HFC, PFC und SF<sub>6</sub>, die vor allem aus industriellen Prozessen und Anwendungen stammen, haben in Baden-Württemberg nur etwa 1 % Anteil an den Treibhausgasemissionen.

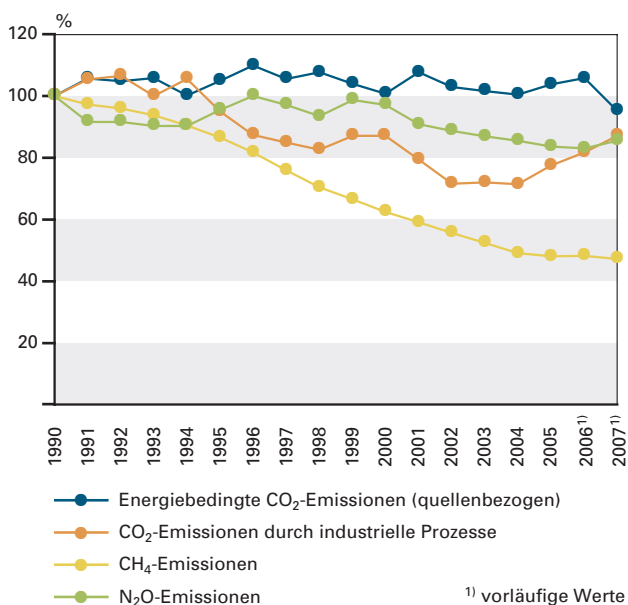


Abb. 3.2-4: Entwicklung der N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emissionen im Vergleich zu CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg (1990 = 100). Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

### 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 (2003/87/EG).

Es handelt sich beim Emissionshandel um einen marktba- sierten Ansatz zur Minderung der CO<sub>2</sub>-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 emissionshandelspflichtiger Anlagen bekommen nach den Regeln des Zuteilungsgesetzes 2012 (ZuG 2007) kostenlos eine bestimmte Menge an Zertifikaten zugeteilt. Unternehmen, die bereits größere Anstrengungen zum Klimaschutz 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. Die nicht erbrachten Zertifikate müssen zusätzlich abgegeben werden.

In Baden-Württemberg nehmen zu Beginn der zweiten Handelsperiode 156 Anlagen am Emissionshandel teil. Betroffen sind überwiegend Feuerungsanlagen mit einer Feuerungs- wärmeleistung von mehr als 20 MW. In Tabelle 3.2-2 sind die verschiedenen Anlagenarten und die zugeteilten Emissionsbe- rechtigungen (Befugnis zur Emission von einer Tonne Koh- lendioxid bzw. Kohlendioxidäquivalent in der Handelsperi- ode 2008 bis 2012) aufgelistet.

Parallel dazu sollen durch zielgenaue und kosteneffiziente Maßnahmen der Energieverbrauch und damit auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich gesenkt werden. Die Schwer- punkte konzentrieren sich vor allem auf die energetische Modernisierung von Gebäuden, eine umweltfreundliche Mobilität, eine Erhöhung der Energieeffizienz sowie den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung. Begleitend dazu sol- len die Energieforschung und die Weiterentwicklung des internationalen Klimaschutzes unterstützt werden.

Die Umsetzung der Maßnahmen und die tatsächliche Ent- wicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen hängen von zahlreichen weiteren Faktoren wie z. B. der Wirtschaftsentwicklung, der Haushaltslage, der notwendigen Versorgungssicherheit,



Tab. 3.2-2: Anlagenarten und zugeweilte Emissionsberechtigungen (in t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) in Baden-Württemberg für die zweite Handelsperiode 2008 bis 2012. Stand: 2009

Anlagenart	zugeweilte Emissionsberechtigungen		Anzahl der Anlagen	
	in Tonnen			
Feuerungsanlagen (> 50 MW FWL)	77 123 535	61,4 %	40	26 %
Feuerungsanlagen (20 - 50 MW FWL)	6 330 805	5,0 %	60	38 %
Gasturbinenanlagen	254 280	0,2 %	4	3 %
Mineralölraffinerien	15 208 935	12,1 %	2	1 %
Erschmelzen von Roheisen oder Stahl	739 410	0,6 %	1	1 %
Herstellung von Zementklinker	14 733 625	11,7 %	8	5 %
Brennen von Kalkstein	1 918 120	1,5 %	4	3 %
Herstellung von Glas	1 558 040	1,2 %	5	3 %
Brennen keramischer Erzeugnisse	612 365	0,5 %	7	4 %
Herstellung von Zellstoff	629 535	0,5 %	1	1 %
Herstellung von Papier und Pappe	6 575 595	5,2 %	24	15 %
Gesamtergebnis	125 684 245		156	

FWL: Feuerungswärmeleistung

LUBW

der Entwicklung der Energiekosten, dem Ausstieg aus der Kernenergie oder dem Verbraucherverhalten ab.

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Umweltministerium Baden-Württemberg:  
[www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/1804/](http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/1804/)

Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH:  
[www.kea-bw.de/](http://www.kea-bw.de/)

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg:  
[www.statistik.baden-wuerttemberg.de](http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de)

Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder:  
[www.ugrdl.de](http://www.ugrdl.de)

Länderarbeitskreis Energiebilanzen:  
[www.lak-energiebilanzen.de](http://www.lak-energiebilanzen.de)

### 3.3 KLIMAFOLGEN

In Baden-Württemberg wurde frühzeitig die Bedeutung des Themas ‚Klimawandel‘ erkannt und gemeinsam mit Bayern und dem Deutschen Wetterdienst im Jahr 1999 das Kooperationsvorhaben ‚Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft – KLIWA ins Leben gerufen. Seit 2007 ist an dieser Kooperation auch das Land Rheinland-Pfalz beteiligt. Ein wesentliches Ziel von KLIWA ist es, die Folgen des Klimawandels auf den Wasserkreislauf zu untersuchen.

Eine Ausweitung auf weitere Felder des Klimawandels erfolgte mit dem Projekt ‚Klimawandel – Auswirkungen, Risiken und Anpassung‘ – KLARA sowie 2006 mit dem Forschungsprogramm ‚Herausforderung Klimawandel‘.

Erste Anpassungsmaßnahmen wurden in der Wasserwirtschaft durch das Planungsinstrument „Lastfall Klimaänderung“ für den Hochwasserschutz und durch die Einrichtung der Niedrigwasservorhersage in der LUBW realisiert. Außerdem wurde ein Hitzewarnsystem für rund 1400 Pflegeeinrichtungen in Baden-Württemberg geschaffen.

Ein für Baden-Württemberg als eine der wärmsten Regionen Deutschlands außerordentlich wichtiges Thema ist die in den letzten Jahren durch den Klimawandel verursachte Einwanderung von wärmeliebenden Organismen, die Krankheitserreger übertragen können.

### 3.3.1 KLIMAENTWICKLUNG DER LETZTEN JAHRZEHNTE

Das Klimamonitoring im Rahmen von KLIWA hat zum Ziel, das Langzeitverhalten ausgewählter hydrologischer und hydrometeorologischer Kenngrößen, die Anhaltspunkte zur Veränderung des Klimas in Süddeutschland geben können, in regelmäßigen Zeitabständen zeitnah zu dokumentieren. Auf diese Weise sollen Veränderungen erfasst und Schlussfolgerungen zur Entwicklung des regionalen Klimas ermöglicht werden. Ursprünglich wurde der Zeitraum 1931 bis 2000 betrachtet, der dann im Klimamonitoringbericht 2008 auf den Zeitraum 1931 bis 2005 erweitert wurde.

#### 3.3.1.1 LUFTTEMPERATUR

Der Klimamonitoringbericht 2008 [KLIWA 2008] dokumentiert, dass das Temperaturmittel in Baden-Württemberg im Zeitraum 1931 bis 2005 um 1,0 °C zugenommen hat. Die Temperaturentwicklung seit Anfang des 21. Jahrhunderts im Mittel der Jahre 2000 bis 2008 zeigt, dass sich die Klimaänderung in Baden-Württemberg beschleunigt hat. Der langjährige, globale Trend von 0,74 °C (1906 bis 2006) wird deutlich überschritten. Klimaprojektionen in die Zukunft prognostizieren einen weiteren Anstieg bis

2050, der zwischen ca. 2,0 °C im Winter und ca. 1,5 °C im Sommer liegt.

Am deutlichsten ist der Klimawandel mit dem Anstieg der mittleren Lufttemperaturen mit hochsignifikanten Trends (Signifikanz > 99 %) zu belegen. Die statistische Kenngröße Signifikanz ermöglicht Aussagen, ob eine Änderung überwiegend zufällig z. B. durch die natürlich Variabilität der Werte hervorgerufen wird, oder ob eine statistisch gesicherte Veränderung, ein Trend, der jeweiligen Messgröße vorliegt (Abb. 3.3-1). Als nicht signifikant werden Veränderungen mit einer Signifikanz unter 80 % bezeichnet. Insbesondere im Winterhalbjahr (November bis April) wurden Trends von 1,2 °C, im Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) bis 1,0 °C im Untersuchungszeitraum von 1931 bis 2005 festgestellt (Abb.3.3-1).

Zur Verdeutlichung dieses Anstiegs der mittleren Lufttemperatur sei erwähnt, dass diese Temperaturdifferenz gegenwärtig den Unterschied der mittleren Lufttemperaturen von Lyon und Karlsruhe darstellt. In Karlsruhe herrschen heute ähnliche Temperaturverhältnisse wie in Lyon vor 75 Jahren.

Allein in den Jahren 2001 bis 2005 ist in ganz Baden-Württemberg eine deutliche Zunahme der mittleren Lufttemperaturen festzustellen. Die in den Zeitreihen 1931 bis 2000 vorhandenen positiven Trends der Jahresmitteltemperatur haben sich in Höhe und Signifikanz verstärkt. Lag die Temperaturzunahme im Zeitraum 1931 bis 2000 durchschnittlich bei 0,8 °C, so ist sie im verlängerten Zeitraum 1931 bis 2005 bereits auf 1,0 °C angestiegen (in der Region Neckar sogar auf 1,2 °C).

Die positiven Trends haben sich auch in den Jahren 2006 und 2007 fortgesetzt. Das Jahr 2006 war in Baden-Württemberg um etwa 1,3 °C zu warm; bundesweit war das Jahr 2006 das fünftwärmste seit 1901. Das Jahr 2007 war in Baden-Württemberg überall markant zu warm; von 0,3 °C in Freiburg bis 1,7 °C in Stuttgart. 2007 war bundesweit das zweitwärmste Jahr seit 1901, knapp hinter dem Rekordjahr 2000. Vom September 2006 bis August 2007 gab es erstmals deutschlandweit zwölf zu warme Monate in Folge (längste Periode seit 1901). Der Mai 2008 war nach Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes der zweittrockenste und drittwärmste Mai seit Beginn der deutschlandweiten Messungen im Jahr 1901. Der Januar, August und Dezember weisen in der mittleren monatlichen Lufttemperatur für alle Regionen im Zeitraum 1931 bis 2005 die deutlichsten signifikanten Anstiege zwischen

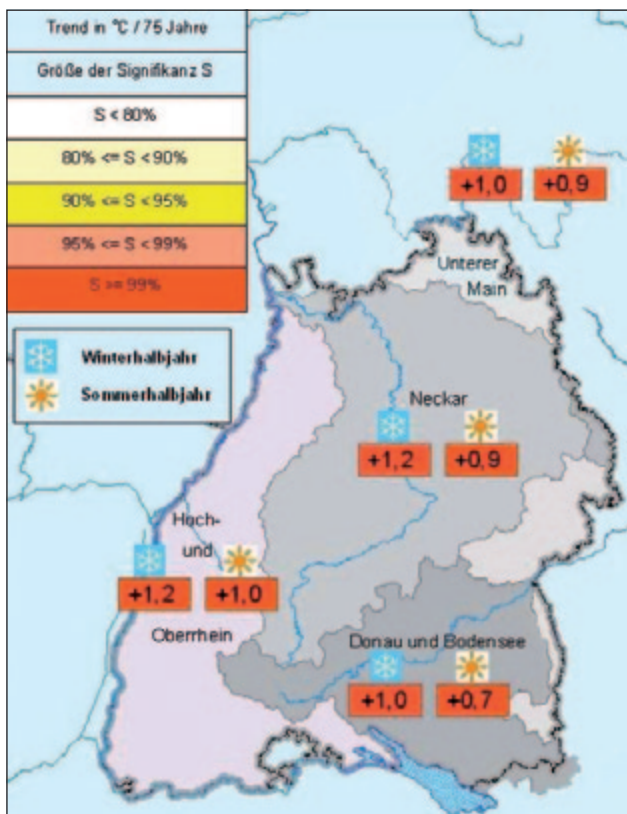


Abb. 3.3-1: Trend der mittleren Lufttemperatur in °C im hydrologischen Winter- und Sommerhalbjahr im Zeitraum 1931 bis 2005 [KLIWA 2008].

1,3 °C und 2,3 °C auf. Die Monate April, Juni, September und November zeigen hingegen kaum signifikante Veränderungen.

### 3.3.1.2 GEBIETSNIEDERSCHLAG

Auch bei den Niederschlägen macht sich der Klimawandel sehr deutlich bemerkbar. Beobachtet wurde im Zeitraum 1931 bis 2005 eine sehr ausgeprägte Erhöhung der Gebietsniederschläge im hydrologischen Winterhalbjahr (November bis April) um bis zu 30 %, während im Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) die Gebietsniederschläge eher abgenommen haben (Abb. 3.3-2).

- Der mittlere Niederschlag im Winterhalbjahr zeigt für alle Untersuchungsgebiete zwischen den Jahren 1931 und 2005 einen stark positiven Trend mit hoher Signifikanz; es sind Zunahmen von bis zu 30 % insbesondere im westlichen und südlichen Landesteil festzustellen. In den Jahren 2001 bis 2005 ist im Südwesten Baden-Württembergs keine weitere Zunahme der starken Trends mehr zu beobachten, während in der nördlichen Hälfte von Baden-Württemberg eine Verstärkung der Trends zu verzeichnen ist.
- Im Sommerhalbjahr sind die Trends des mittleren Gebietsniederschlags überwiegend schwach negativ, die

Sommerniederschläge sind also rückläufig. Es sind nur wenige Trends signifikant.

- Der mittlere Jahresniederschlag weist in einer Gesamt-schau in den betrachteten Untersuchungsgebieten im Zeitraum 1931 bis 2007 lediglich einen geringen Zuwachs auf. Allerdings fand eine deutliche Verschiebung der innerjährlichen Niederschlagsverteilung vom Sommerhalbjahr in das Winterhalbjahr statt.

### 3.3.1.3 STARKNIEDERSCHLAG

Die Starkniederschläge, d. h. die höchsten, jeweils im Sommer- bzw. Winterhalbjahr gemessenen Tagesniederschläge haben sowohl im Winterhalbjahr als auch im Sommerhalbjahr zugenommen. Im Sommer regnet es also weniger häufig, dafür aber mit höherer Intensität (Abb. 3.3-3). Anders als bei der Lufttemperatur brachten die Jahre 2001 bis 2005 bei den Starkniederschlägen keine weitere Verstärkung der bis zum Jahr 2000 beobachteten Trends.

### 3.3.1.4 HOCHWASSERABFLÜSSE

Der Vergleich der Untersuchungsergebnisse für die Zeiträume 1931 bis 1998 und 1931 bis 2005 lässt deutliche Veränderungen erkennen. Durch die Verlängerung der Un-

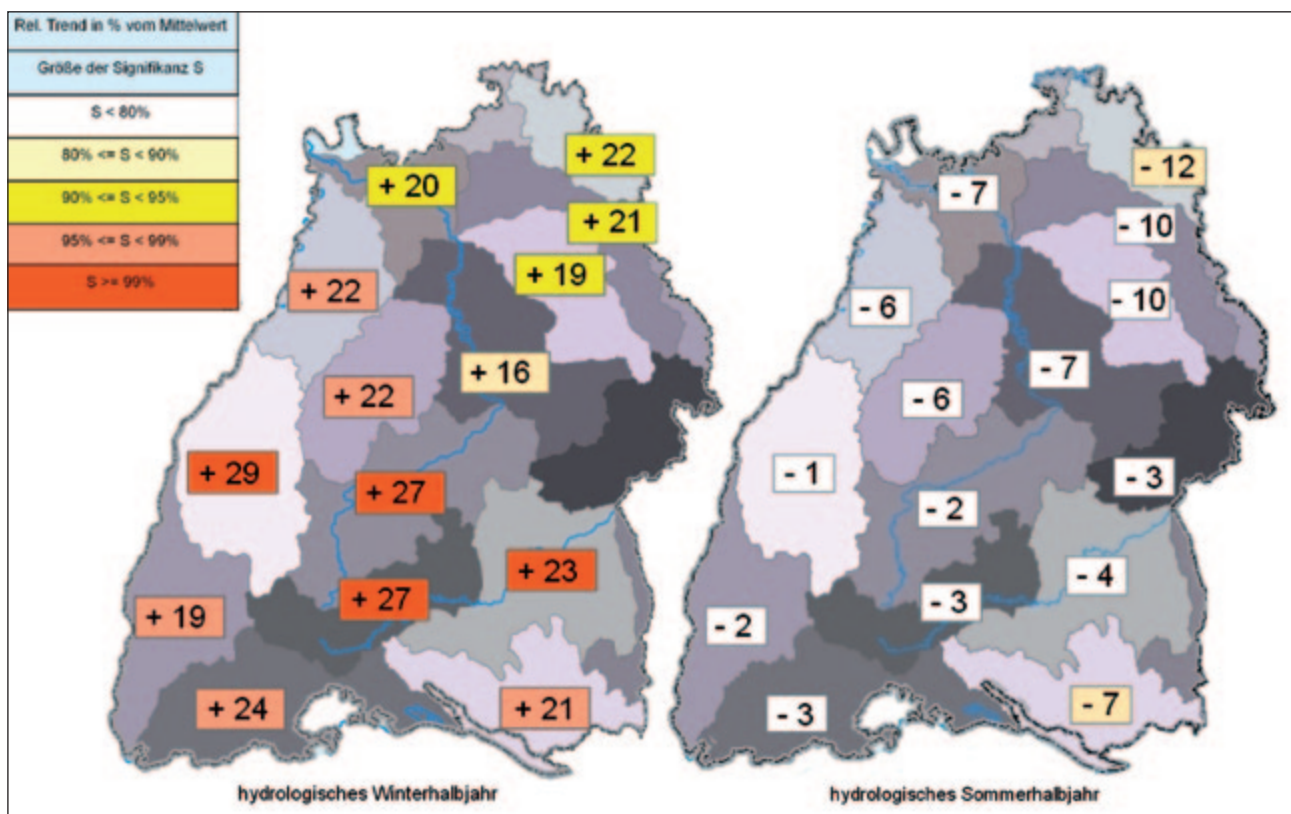


Abb. 3.3-2: Entwicklung der Gebietsniederschlagshöhe im hydrologischen Winter- und Sommerhalbjahr (Relativer Trend in Prozent vom Mittelwert der Zeitreihe von 1931 bis 2005) [KLIWA 2008].



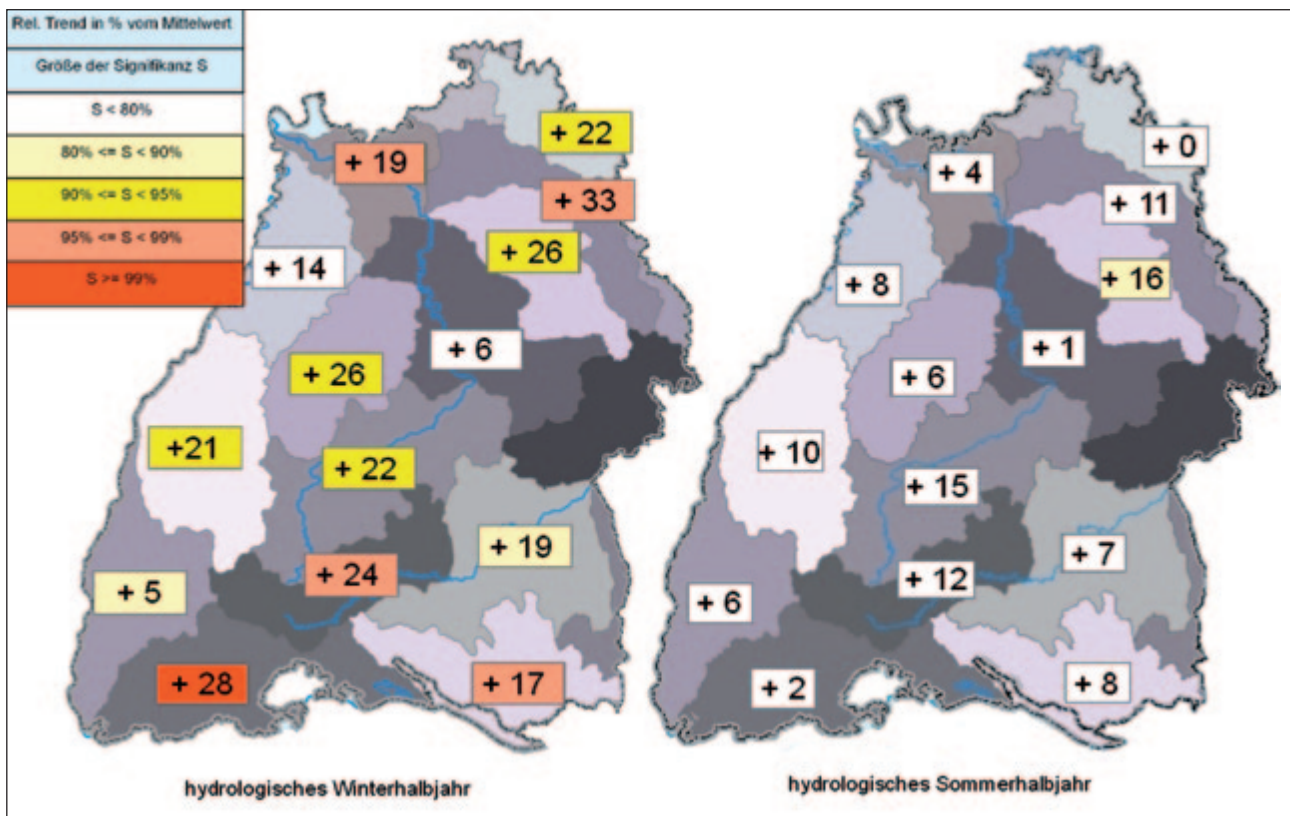


Abb. 3.3-3: Entwicklung der Starkniederschläge im hydrologischen Winter- und Sommerhalbjahr (Relativer Trend in Prozent vom Mittelwert 1931 bis 2005) [ KLIWA 2008].

tersuchungsperiode bis 2005 ist eine Zunahme der Anzahl der Pegel mit einem Trend zur Hochwasserverschärfung zu erkennen, analog sind weniger Pegel mit fallenden Trends zu beobachten.

- In den Untersuchungen des Langzeitverhaltens der Hochwasserabflüsse an 30 Pegeln zeigen 90 % im Winterhalbjahr und 83 % im Sommerhalbjahr steigende Tendenzen. Davon weisen 50 % einen signifikanten Trend mit einer starken räumlichen Variabilität auf. Hinsichtlich Höhe und Signifikanz haben die Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg in den Jahren 2001 bis 2005 an den meisten untersuchten Pegeln zugenommen.
- Die Auswertung des Jahresgangs der monatlichen Abflusshöchstwerte zeigt, dass die Erhöhung im hydrologischen Winterhalbjahr besonders ausgeprägt ist; dies ist für die meisten Gebiete auch die Jahreszeit mit größerer Hochwassergefährdung.

### 3.3.2 AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS

#### 3.3.2.1 HYDROLOGIE

Beim Wasserhaushalt wird einerseits erkennbar, dass sich die Hochwassergefahr verschärft. Aber auch Hitze- und Trockenperioden haben deutlich zugenommen, die zu

Niedrigwassersituationen in den Gewässern geführt haben. Niedrigwasserperioden führen zu Nutzungseinschränkungen bei der Energieerzeugung und anderen Gewässernutzungen. Zunehmende Hochwassergefahren und eine Verschärfung von häufigeren Niedrigwassersituationen widersprechen sich nicht, sondern sind Ausprägungen von stattfindenden Klimaveränderungen.

Die festgestellten Änderungen werden sich unter Berücksichtigung der künftigen Entwicklung, wie sie aus Projektionen erkennbar ist, sehr wahrscheinlich fortsetzen. Damit werden auch zunehmende nachteilige Auswirkungen auf den Wasserhaushalt verbunden sein. Für den Hochwasserschutz ist bereits eine Anpassungsstrategie in Baden-Württemberg [LUBW 2006] entwickelt worden.

Für das Niedrigwassermanagement steht die Entwicklung einer Anpassungsstrategie noch an. Der Einfluss des Klimawandels auf das Niedrigwasser in Baden-Württemberg wird im Kapitel 6.2.3 Prognostizierte Entwicklung der Niedrigwasserverhältnisse infolge des Klimawandels beschrieben.

Die Bandbreite extremer Hoch- und Niedrigwasserabflüsse hat in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen. Die Klimaveränderung wird daher bei wasserwirtschaftlichen Planungen, wie heute schon bei der Dimensionierung von Hochwasserschutzmaßnahmen, verstärkt berücksichtigt

werden müssen. Beispiele hierfür sind die Sicherung von Mindestabflüssen und die Genehmigung von Wärmeeinleitungen aus Kraftwerken.

### 3.3.2.2 NATUR

#### VERÄNDERUNG BIOLOGISCHER RHYTHMEN

Die Veränderung biologischer Rhythmen, insbesondere eine klimainduzierte Verschiebung der phänologischen Aspekte kann als Folge des Klimawandels in der Tier- und Pflanzenwelt beobachtet werden. Zunehmend wird von auffällig frühem Erscheinen von Insektenarten berichtet. So waren seit den 1990er Jahren regelmäßig Wanderfalter wie der Admiral (*Vanessa atalanta*) oder das Taubenschwänzchen (*Macroglossa stellatarum*) bereits im zeitigen Frühjahr zu beobachten, da sie vermutlich bei uns überwintern konnten, der Admiral nachweislich auch als Raupe. Einige Beispiele für dauerhaft bodenständige Arten, die weit vor dem bislang bekannten Flugzeitbeginn nachgewiesen werden konnten, seien hier angeführt. 2004/2005 flog das Wärme liebende Braune Ordensband (*Minucia lunaris*) nach Beobachtungen von Schanowski und Meineke bereits Mitte April im Vergleich zu früheren Jahren von Mai bis Anfang Juni [EBERT 1997].

Der große Scheckenfalter wurde von Meineke 2003 bereits Ende April statt wie früher frühestens Anfang Mai nachgewiesen [EBERT et al. 1991].

Durch den Witterungsverlauf des Jahres 2003 gab es Raupen, die ihre Entwicklung nicht wie normal im kommenden Frühjahr nach der Überwinterung abschlossen, sondern bereits im selben Jahr und als Falter einer partiellen zweiten Generation in Erscheinung traten.

Die Frühlings-Pelzbiene (*Anthophora plumipes*) konnte von Schwenninger 2001 bereits Ende Januar beobachtet werden gegenüber dem bis dahin frühesten Nachweis Anfang März [WESTRICH 1989].

Solche Phänologieverschiebungen im Frühjahr können zu Verlusten durch vermehrte Frostgefahr und Nahrungsengpässe führen. Kritisch wird es für Blütenspezialisten dann, wenn die Flugzeit nicht mehr optimal mit der Blüte der spezifischen Pollenquelle synchronisiert ist.

Phänologische Daten zu Pflanzen, z. B. die Erhebung der Apfelblüte, belegen eine Verfrühung des Frühlingsbeginns in der Vergangenheit für Baden-Württemberg. So stellte sich bei einem Vergleich der Zeiträume 1961 bis 1990 sowie 1991 bis 2005 eine Vorverlagerung des Frühlingsbeginns um durchschnittlich 9 Tage in den letzten 15 Jahren ein (Abb. 3.3-4).

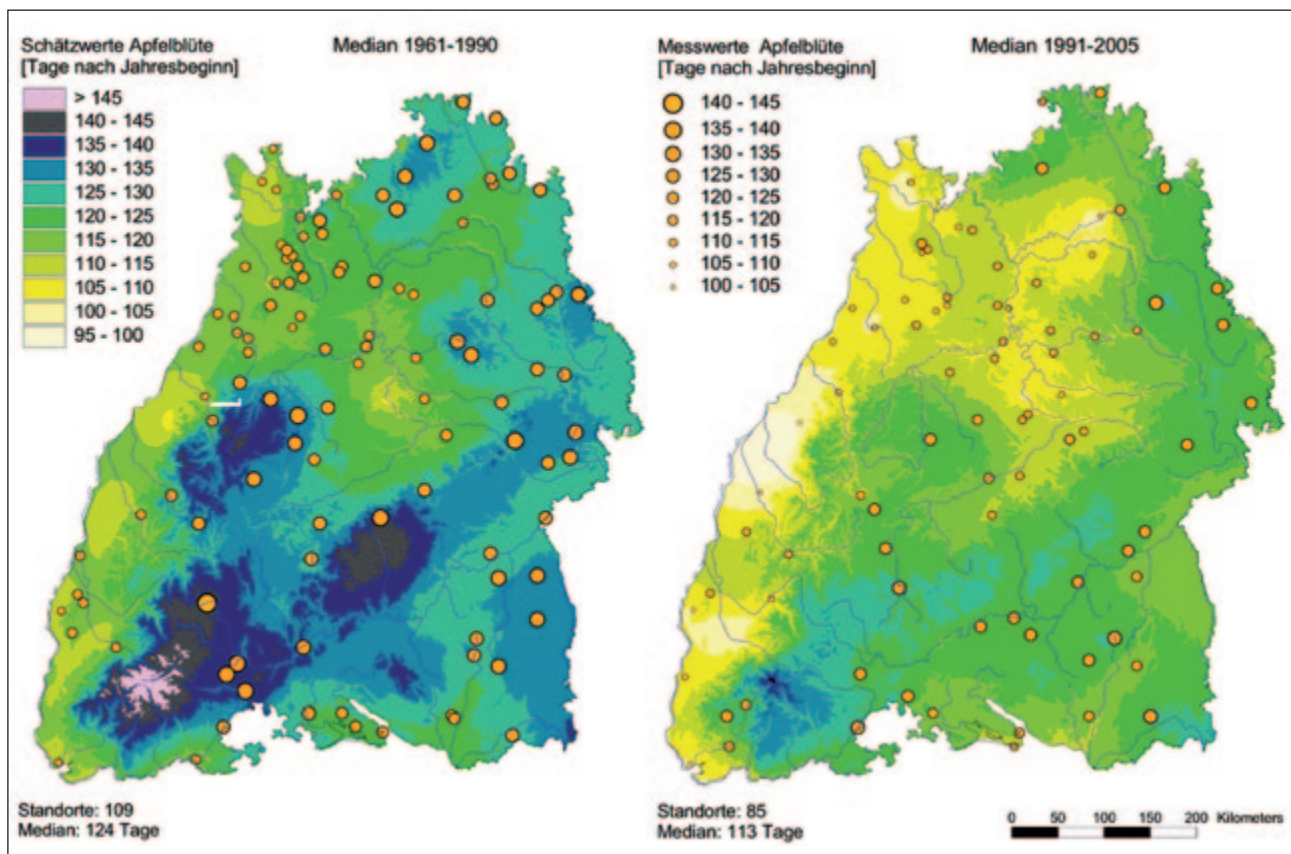


Abb. 3.3-4: Apfelblüte in Baden-Württemberg in den Jahren 1961 bis 1990 und 1991 bis 2005. Quelle: Deutscher Wetterdienst DWD 2005

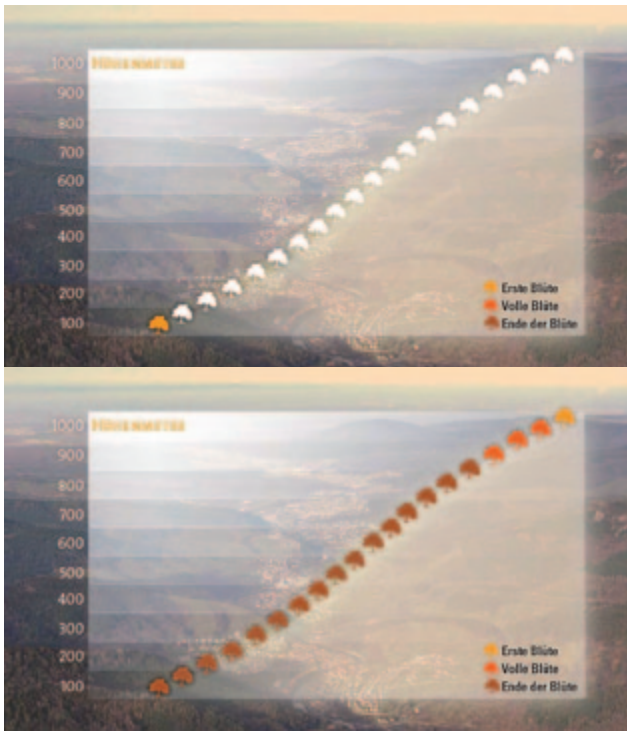


Abb. 3.3-5: Beginn der Apfelblüte im Murgtal bei Bietigheim (120 m ü. NN) am 12. April 2009 und auf dem Schliffkopf (1043 m ü. NN) am 20. Mai 2009. Quelle: Daten LUBW 2009, Grafik Südwestrundfunk

Zudem zeigen die räumlichen Verteilungsmuster von Gebieten mit früherem Frühlingsbeginn deutliche Änderungen. So nehmen die Gebiete mit einem früheren Beginn der Apfelblüte im Zeitraum 1991 bis 2005 deutlich zu und schließen auch Gebiete ein, die für ein raueres Klima bekannt sind.

Seit dem Jahr 2006 beteiligt sich die LUBW an einem Projekt der Redaktion Planet Wissen des Südwestrundfunks zur landes- und bundesweiten Erhebung der Apfelblüte. Zum einen soll die Bevölkerung in Baden-Württemberg durch die überschaubare und verständliche Aktion zum Thema „Auswirkungen des Klimawandels auf die belebte Umwelt“ informiert werden. Andererseits dienen die gewonnenen Daten als Grundlage für weitere Auswertungen zum Thema Klimawandel. Die LUBW beteiligt sich an dem Vorhaben mit einem eigenen Teilprojekt, das den Verlauf der Apfelblüte über verschiedene Höhenstufen hinweg in einem eigens ausgewählten Beobachtungsgebiet verfolgt. Dieses reicht von der Oberrheinebene über das Murgtal bis in die Höhenlagen des Nordschwarzwaldes mit dem höchstgelegenen Beobachtungs-Apfelbaum in 1043 Metern Höhe auf dem Schliffkopf (Abb. 3.3-5).

#### NEOZOEN UND NEOPHYTEN

In Baden-Württemberg wurde aufgrund des Klimawandels in den letzten Jahrzehnten ein Zustrom gebietsfremder

Tiere und Pflanzen festgestellt. Aus dem Mittelmeergebiet, dem ungarischen Donaauraum und dem subatlantischen Raum stammende Wärme liebende Pflanzen und Tiere breiten sich verstärkt aus. Bereits früher eingeschleppte oder zugewanderte Arten finden bessere Lebensbedingungen vor. Diese Ausbreitung zugewanderter Arten wird Folgen für Lebensräume, Lebensgemeinschaften und die heimischen Arten sowie die menschliche Gesundheit mit sich bringen.

Für eine Anzahl von Arten, die bisher vereinzelt oder zeitweise in Baden-Württemberg vorkamen, kann seit 1990 eine Zunahme der Funde oder eine Arealausweitung aufgezeigt werden. Beispiele sind die Smaragdgrüne Furchenbiene (*Halictus smaragdulus*), der Große Feuerfalter (*Lycaena dispar*), die Feuerlibelle (*Crocothemis erythraea*) und die Gelbbindige Furchenbiene (*Halictus scabiosae*). Bei der Gelbbindigen Furchenbiene kann der Zusammenhang von klimatischen Veränderungen und der Verbreitung der Biene in Baden-Württemberg belegt werden. Die Verbreitung der Smaragdgrünen Furchenbiene korreliert mit der 9 °C -Jahresisotherme.

In Baden-Württemberg kommen nach 1990 folgende neue Arten unter den Schmetterlingen, Wildbienen und Laufkäfern vor: der Brombeer-Perlmutterfalter (*Brenthia daphne*), die Mahgreb-Linieneule (*Dysgonia algira*), die Kaden's Staub-eule (*Platyperigea kadenii*) und der Westliche Bartläufer (*Leistus fulvibarbis*). Diese Wärme liebenden Zuwanderer stammen aus dem westlichen und östlichen Mittelmeerraum.

#### VERÄNDERUNGEN DER BIOLOGISCHEN VIELFALT

Veränderungen des Temperaturregimes der Fließgewässer infolge der Klimaerwärmung in Mitteleuropa können Auswirkungen auf die Längsausbreitung der Gewässerorganismen in den Fließgewässersystemen haben. Kälteliebende Arten der Fließgewässeroberläufe können ersetzt werden durch wärmetolerante Arten der Fließgewässerunterläufe. Tatsächlich nimmt an den 10 ausgewählten Dauermessstellen mit Bach-Charakter der Anteil der bachtypischen Arten im Mittel über den Beobachtungszeitraum ab, der Anteil der flusstypischen Arten nimmt dagegen an diesen Probestellen tendenziell zu (Abb. 3.3-6). Dieser sich aufgrund der Dichte der Messreihe schon jetzt abzeichnende Trend lässt auf eine klimabedingte Verschiebung der Biozönose durch zunehmende Temperaturen in den Gewässern schließen. Wärmetolerantere Arten aus den Unterläufen wandern in die kühleren Oberläufe ab.



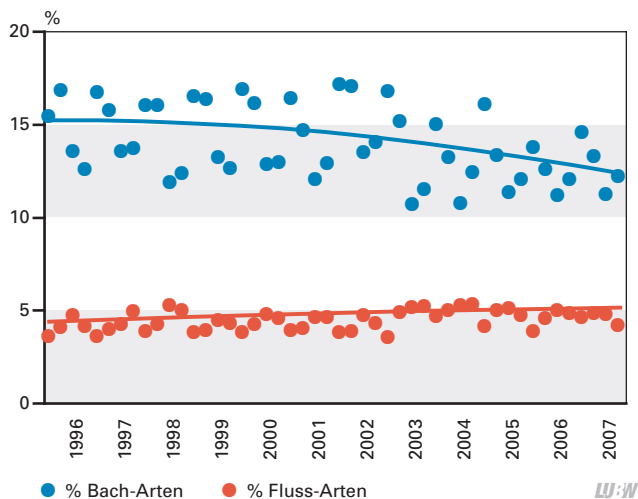


Abb. 3.3-6: Prozentanteile bachtypischer und flusstypischer Arten am Makrozoobenthos an 10 Dauerbeobachtungsstellen mit Bach-Charakter. Stand: 2008

Auch die Untersuchung spontan auftretender, nicht kultivierter Pflanzenarten in 5 Städten mit unterschiedlichen klimatischen Verhältnissen (Aalen, Karlsruhe, Ulm, Konstanz, Stuttgart), belegt die verstärkte Ausbreitung von wärmeliebenden Arten, darunter auch Neophyten, in den letzten Jahrzehnten. An der Gesamtzahl von 305 Arten (Ruderalarten 45,2 %, Grünlandarten 15,4 %, Waldarten 13,4 %) wiesen Wärme- und Ozeanitätszeiger einen teilweise bemerkenswerten Prozentanteil auf (Tab. 3.3-1). Darunter fanden sich auch Neophytenarten wie die Echte Hirse (*Panicum miliaceum*), die Haarhirse (*Panicum capillare*), der Liegende Fuchsschwanz (*Amaranthus deflexus*) und der Götterbaum (*Ailanthus altissima*).

### 3.3.2.3 GESUNDHEITSGEFAHREN

Zu den vielen negativen Auswirkungen, die mit dem Klimawandel verknüpft sind, gehört das Auftreten von neuen Infektionskrankheiten. Von besonderer Bedeutung sind hierbei vektorübertragene Krankheiten, d. h. Infektionen, die von Insekten, Zecken und Milben sowie von Nagern weitergegeben werden. Die globale Erwärmung beeinflusst

dabei nicht nur die Ausbreitung der Wärme liebenden Vektoren, sondern auch die Entwicklung der Erreger im Vektor. Ein solcher Prozess ist in Mitteleuropa bei einigen schon vorhandenen vektorübertragenen Infektionen anzunehmen. Dazu gehören die von Nagern übertragenen Hantaviren sowie die von Zecken übertragene Frühsommermeningoenzephalitis (FSME) und das Q-Fieber. Darüber hinaus muss man mit der Etablierung von zwei Infektionen aus dem Mittelmeerraum rechnen, dem zeckenübertragenen Mittelmeerfieber sowie der Leishmaniose, die von Sandmücken übertragen wird.

Seit Einführung der Meldepflicht für Hantaviren im Jahr 2001 wurden in Baden-Württemberg ca. 50 bis 70 Hantaviruseerkrankungen pro Jahr gemeldet. Im Jahr 2007 jedoch kam es nach einem milden Winter und großem Nahrungsangebot zu einer Massenvermehrung von Nagern und in der Folge zu einer Hantavirus-Epidemie mit über 1200 Erkrankten mit Niereninfektion. Die Untersuchungen der Nager auf Hantaviren ergab eine Infektionsrate dieser Tiere von rund 60 % gegenüber 10 % in den Jahren 1997 bis 2000. Die durch Flaviviren verursachte FSME kann zu Hirnhaut- und Gehirnentzündungen führen. Die Übertragung erfolgt durch den Stich der Zeckenart Holzbock (*Ixodes ricinus*). Die Infektionsgefahr mit FSME hat sich seit den 1980er Jahren etwa verzehnfacht.

Das Q-Fieber, das durch Bakterien verursacht und durch die Schafzecke (*Dermacentor sp.*) übertragen wird, hat in den letzten Jahren erhöhte Aufmerksamkeit geweckt, da es zu mehreren Ausbrüchen mit Hunderten von Erkrankten gekommen ist. Die Infektion führt zu einem sommergrippearartigen Krankheitsbild; problematisch sind die Entwicklung eines chronischen Q-Fiebers mit Befall der Herzklappen und die Infektion von Schwangeren, bei denen es zu Aborten kommen kann.

Bei der Leishmaniose, deren einzellige, parasitäre Erreger (Leishmanien) von Sandmücken (Phlebotominae) über-

Tab. 3.3-1: Spontan auftretende, nicht kultivierte Pflanzenarten (Artenzahl und Zeigerwert) in Städten Baden-Württembergs. Stand: 2008

	Karlsruhe	Stuttgart	Konstanz	Ulm	Aalen
Artenzahl gesamt	171	108	195	144	163
Wärmezeiger	26 (15,2%)	18 (16,7 %)	23 (11,8 %)	6 (4,2 %)	11 (6,7 %)
Ozeanitätszeiger	10 (5,8 %)	6 (5,6 %)	11 (5,6 %)	7 (4,9 %)	7 (4,3 %)
Kontinentalitätszeiger	10 (5,8 %)	5 (4,6 %)	14 (7,2 %)	7 (4,9 %)	6 (3,7 %)

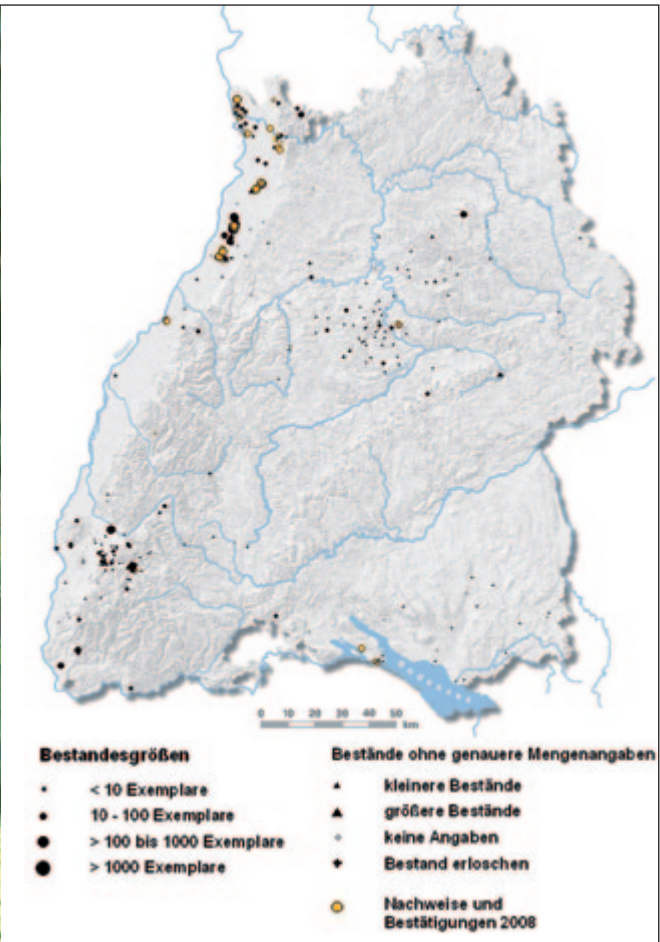


Abb. 3.3-7: Beifuß-Ambrosie und Nachweise der Beifuß-Ambrosie in Baden-Württemberg in den Jahren 1986 bis 2008.  
 Quellen: Beifuß-Ambrosie LUBW; Karte [WECKESSER et al. 2008]

tragen werden, kann es bei Mensch und Tier zu einer Immunschwäche sowie zu Funktionsstörungen von Leber, Milz und Knochenmark mit teilweise tödlichem Ausgang kommen. Die Überträger, die Sandmücken, die früher nur im warmen Mittelmeerraum vorkamen, sind jetzt mehrfach auch in Deutschland nachgewiesen worden. Darüber hinaus sind auch einzelne Infektionen bekannt geworden, die in Deutschland selbst zustande gekommen sind. Der unkontrollierte Import von an Leishmaniose erkrankten Hunden aus dem Mittelmeerraum stellt bei dieser Infektionskrankheit eine spezielle Gefahr dar.

Mit dem Tigermoskito (*Stegomyia albopictus*) ist ein potenter Vektor, der gleich für mehrere Tropenkrankheiten (Dengue-Fieber, Gelbfieber, Chikungunya) verantwortlich zeichnet, nach Deutschland vorgedrungen. Fachleute sind sich einig, dass durch den weiteren Anstieg der Luftmittelttemperaturen die Basis für ein Auftreten von Tropenkrankheiten auch in Deutschland, insbesondere im Oberrheingebiet entsteht. Im September 2007 wurde diese Mücke in Form von Eigelegen erstmals auch in Deutschland an der A5 bei Rastatt nachgewiesen.

Zu den die menschliche Gesundheit beeinträchtigenden Pflanzen, die durch den Klimawandel Vorteile erfahren, zählt die Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) (Abb. 3.3-7). Durch die immer milder werdenden Herbste in den vergangenen Jahrzehnten kann die spät blühende Pflanze nun ihre Samen besser ausreifen lassen, dies fördert die weitere Ausbreitung in Baden-Württemberg. Die Beifuß-Ambrosie, auch Beifußblättriges Traubenkraut oder Hohe Ambrosie genannt, besitzt eines der stärksten Pollenallergene, die bekannt sind. Dadurch können beim Menschen allergische Erkrankungen der Atemwege (u. a. Heuschnupfen, Asthma) hervorgerufen werden. Die Pflanze breitet sich in den letzten Jahren immer stärker in Baden-Württemberg aus, weswegen sie bekämpft wird. In der nördlichen Oberrheinebene gilt sie gebietsweise bereits als etabliert.

#### **INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN**

mehr Informationen zum Verbundprojekt Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung (KLARA) des Umweltministeriums Baden-Württemberg im Internet-Themenportal ‚Klima‘ der LUBW:

[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

Kooperationsvorhaben ‚Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft‘ - KLIWA:

[www.kliwa.de](http://www.kliwa.de)

Forschungsprogramm ‚Herausforderung Klimawandel Baden-Württemberg‘ des Umweltministeriums Baden-Württemberg:

[www.herausforderung-klimawandel-bw.de/](http://www.herausforderung-klimawandel-bw.de/)

mehr Informationen zu Ambrosia im Internet-Themenportal ‚Querschnittsthemen‘ unter Medienübergreifende Umweltbeobachtung der LUBW:

[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

Apfelbüte:

[www.planet-wissen.de](http://www.planet-wissen.de)

# 4 Luftreinhaltung

Als Luftverunreinigungen werden gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG 1974) alle Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft bezeichnet, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe und Geruchsstoffe. Vom Menschen verursachte Luftverunreinigungen entstehen durch Emissionen aus Industrieanlagen, dem Verkehr, Heizungen und der Landwirtschaft. Daneben gibt es auch bedeutende natürliche Quellen für Luftverunreinigungen wie z. B. Fäulnisprozesse, Baum- und Graspollen, Winderosion von Bodenmaterial und Waldbrände. Die Einwirkungen von Luftverunreinigungen auf den Menschen, auf Tiere, Pflanzen und Sachgüter (z. B. Bauwerke) werden als Immissionen bezeichnet.

Aufgabe einer vorsorgenden Luftreinhaltungspolitik ist es, die Art und die Wirkungen von Luftverunreinigungen auf den Menschen und die Umwelt zu erkennen, zu erfassen und die Ursachen soweit als möglich zu beseitigen oder zumindest zu begrenzen.

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 untersucht und bewertet.

## 4.1 EMISSIONEN

Die räumlich und zeitlich aufgelöste Ermittlung der von verschiedenen Verursachern freigesetzten Luftverunreinigungen (Emissionen) ist Grundlage für gezielte Luftreinhaltemaßnahmen. Mit der Erfassung der Emissionsdaten wurde in Baden-Württemberg Ende der 1970er Jahre punktuell begonnen. Seit 1994 werden die Emissionserhebungen im Zweijahres-Rhythmus in ganz Baden-Württemberg durchgeführt, so dass nun eine Gesamtbewertung der Emissionssituation auf der Basis der Emissionsdaten von 1994 bis 2006 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.

### 4.1.1 QUELLEN UND GRUNDLAGEN

#### VERKEHR

In der Quellengruppe ‚Verkehr‘ werden die Emissionen des Straßen-, Schiff-, Schienen- und bodennahen Flugverkehrs erfasst. Wesentliche Grundlage für die Berechnung der Straßenverkehrsemissionen ist die Bundesverkehrswegezählung und deren Fortschreibung auf der Grundlage aktueller Verkehrsdaten und Verkehrsprognosen 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 sowie insbesondere die Emissionen organischer Stoffe des Flughafenbetriebs erfasst.

#### INDUSTRIE UND GEWERBE

Die Quellengruppe ‚Industrie und Gewerbe‘ umfasst folgende Datenbestände:

- Betriebe mit genehmigungsbedürftigen Anlagen, die nach der 11. Bundes-Immissionsschutzverordnung (11. BImSchV 2007) verpflichtet sind, im Vierjahres-Rhythmus eine Emissionserklärung abzugeben. Die Daten der Emissionserklärungen werden für die zweijährigen Zwischenzeiträume fortgeschrieben, wobei nur Daten für die Anlagen mit hohen Massenströmen und besonderer Umweltrelevanz aktualisiert werden.
- 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. Die Emissionen berechnen sich aus dem Massenstrom des Bezugstoffes, dem Abscheidegrad der Abgasreinigung und den branchenspezifischen Emissionsfaktoren.

#### KLEINE UND MITTLERE FEUERUNGSANLAGEN

Bei der Quellengruppe der ‚kleinen und mittleren Feuerungsanlagen‘ handelt es sich um häusliche und gewerbliche Feuerungsanlagen für die Gebäudeheizung und die Warm-



wasserbereitung sowie für die Erzeugung von Prozesswärme bei Kleinverbrauchern. Die wesentlichen Energieträger sind leichtes Heizöl und Brenngase (Erdgas und Flüssiggase). Die Berechnung der Emissionen erfolgt über den Endenergieeinsatz und brennstoffspezifische Emissionsfaktoren.

#### BIOGENE SYSTEME

Die ‚biogenen Systeme‘ beinhalten die Bereiche Vegetation, Böden, Gewässer, Wildtiere und Feuchtgebiete, also die eher naturbelassenen Quellen, zum anderen die vom Menschen beeinflussten Bereiche Landwirtschaft, Nutztierhaltung und Abwasserkanäle. Die Berechnung der Luftschadstoffemissionen erfolgt mit quellenbezogenen Aktivitätsgrößen wie Tierzahlen oder Flächenbewuchs und Emissionsfaktoren.

#### SONSTIGE TECHNISCHE EINRICHTUNGEN

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

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

Berechnet werden die Luftschadstoffemissionen mit quellen-spezifischen Aktivitätsgrößen wie Massenstrom des Bezugstoffes und Emissionsfaktoren.

#### 4.1.2 STICKSTOFFOXIDE

Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ) entstehen bei Verbrennungsprozessen mit hohen Temperaturen durch teilweise Oxidation des im Brennstoff und der Verbrennungsluft enthaltenen Stickstoffs. Während des Verbrennungsprozesses entsteht überwiegend Stickstoffmonoxid ( $\text{NO}$ ), das anschließend in der Atmosphäre zu Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) oxidiert wird.

Im Jahr 2006 wurden in Baden-Württemberg insgesamt 156 000 t  $\text{NO}_x$  (berechnet als  $\text{NO}_2$ ) freigesetzt. Die Quellengruppe ‚Verkehr‘ hatte daran einen Anteil von 47 %, gefolgt von den ‚sonstigen technischen Einrichtungen‘ mit 24 %, ‚Industrie und Gewerbe‘ mit 20 % und den ‚kleinen und mittleren Feuerungsanlagen‘ mit 9 % (Abb. 4.1-1).

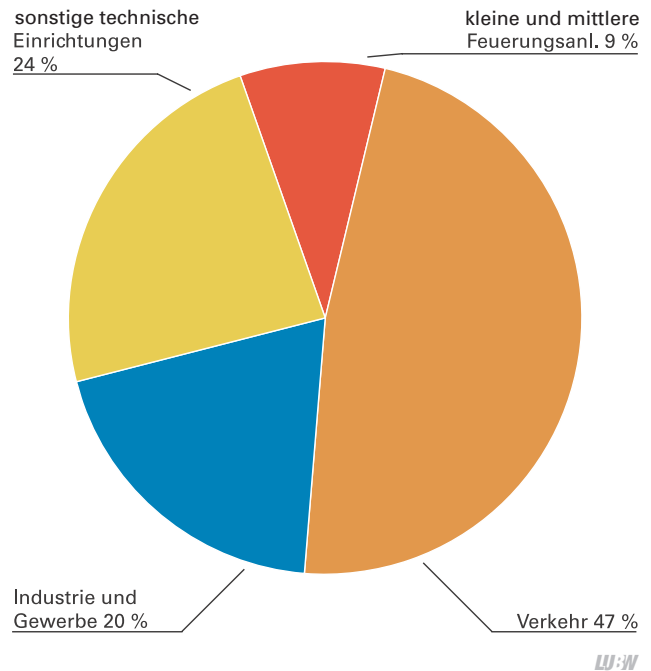


Abb. 4.1-1:  $\text{NO}_x$ -Emissionen in Baden-Württemberg 2006. Stand: 2008

Der Straßenverkehr ist bei der Quellengruppe ‚Verkehr‘ der größte Verursacher von  $\text{NO}_x$ -Emissionen. Bei der Quellengruppe ‚Industrie und Gewerbe‘ sind insbesondere die großen Kraft- und Heizwerke, die Zementindustrie und die Mineralölverarbeitung für die  $\text{NO}_x$ -Emissionen verantwortlich. Die wesentlichen Verursacher der  $\text{NO}_x$ -Emissionen der ‚sonstigen technischen Einrichtungen‘ sind Geräte der Industrie, der Bau- sowie der Land- und Forstwirtschaft. Bei den ‚kleinen und mittleren Feuerungsanlagen‘ sind die privaten Gebäudeheizungen der Hauptemittent.

Von 1994 bis 2006 gingen in Baden-Württemberg die  $\text{NO}_x$ -Emissionen um 35 % zurück (Abb. 4.1-2). Trotz steigender Fahrleistungen haben die Emissionen des Verkehrs in diesem Zeitraum aufgrund von Minderungsmaßnahmen an den Fahrzeugen etwas stärker abgenommen. Die Quellengruppe ‚kleine und mittlere Feuerungsanlagen‘ weist relativ geringe  $\text{NO}_x$ -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  $\text{NO}_x$ -Emissionen aller Quellengruppen weiter zurückgehen. Den wesentlichen Beitrag hierzu liefert der Straßenverkehr aufgrund der Flottenverjüngung durch Neufahrzeuge mit niedrigem Emissionsniveau (Abgasgrenzwerte der Stufen Euro 4 bzw. Euro 5). Bei den Quellengruppen ‚Industrie und Gewerbe‘ sowie ‚kleine und mittlere Feuerungsanlagen‘ sind die Emissionen ebenfalls zurückgegangen.

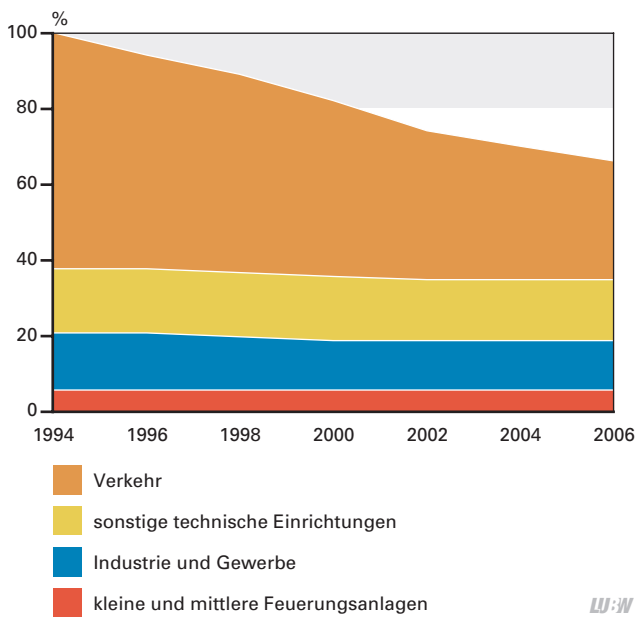


Abb. 4.1-2: Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg 1994 bis 2006 im Vergleich zu 1994 (1994 = 100 %). Stand: 2008

rungsanlagen' sind dagegen nur noch geringe Abnahmen der NO<sub>x</sub>-Emissionen zu erwarten.

#### 4.1.3 STÄUBE

Bei den Staubemissionen wird zwischen Gesamtstaub und dem Feinstaub PM10-Gehalt im Gesamtstaub unterschieden. Bei der katastermäßigen Erfassung der Emissionen handelt es sich ausschließlich um primär emittierten Staub. Die Bildung sekundärer Aerosole in der Atmosphäre und deren Bei-

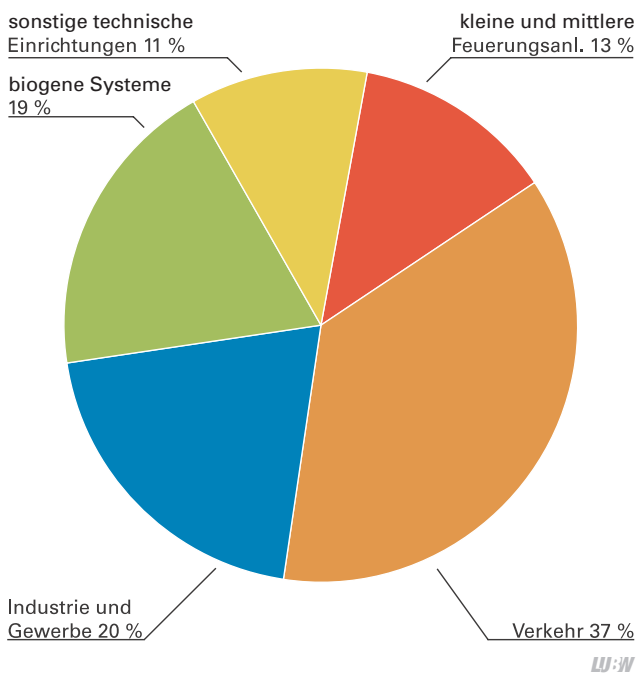


Abb. 4.1-3: Gesamtstaubemissionen in Baden-Württemberg 2006. Stand: 2008

trag zur Feinstaub PM10-Konzentration wird nicht berücksichtigt.

Die Gesamtstaubemissionen betragen 2006 insgesamt 32 400 t. Davon stammen 37 % aus dem ‚Verkehr‘, gefolgt von den Quellengruppen ‚Industrie und Gewerbe‘ mit 20 %, den ‚biogenen Systemen‘ mit 19 %, den ‚kleinen und mittleren Feuerungsanlagen‘ mit 13 % und den ‚sonstigen technischen Einrichtungen‘ mit 11 % (Abb. 4.1-3).

Innerhalb der Quellengruppe ‚Industrie und Gewerbe‘ werden vor allem Stäube aus Verbrennungsprozessen, Stäube aus der Metall- sowie Holzbe- und Holzverarbeitung und Gesteinsstäube freigesetzt. Im Straßenverkehr sind insbesondere die Partikelemissionen der Fahrzeuge mit Dieselmotor sowie die Emissionen aus Abrieb und Aufwirbelung von Bedeutung. Durch neuere Untersuchungen der Bundesanstalt für Landwirtschaft [FAL 2007] wird belegt, dass insbesondere in der Quellengruppe ‚biogene Systeme‘ durch das Wirtschaftsdüngermanagement im Bereich Tierhaltung Staubemissionen auftreten. Bei den ‚kleinen und mittleren Feuerungsanlagen‘ stammen die Staubemissionen überwiegend aus der Verbrennung von Festbrennstoffen (Holz und Kohle). Die Gesamtstaubemissionen der ‚sonstigen technischen Einrichtungen‘ werden durch Geräte, Maschinen und Fahrzeuge der Industrie, der Land- und Forstwirtschaft sowie durch Baumaschinen verursacht.

Die Gesamtstaubemissionen konnten in Baden-Württemberg von 1994 bis 2006 um 15 % reduziert werden (Abb. 4.1-4), wobei die Minderung im Bereich ‚Verkehr‘ sowie ‚Industrie und Gewerbe‘ 22 % bzw. 19 % ausmacht. Bei den ‚kleinen und mittleren Feuerungsanlagen‘ nahm die Emission um etwa 13 % gegenüber dem Niveau von 1994 zu. Zukünftig ist bei den Emissionen mit einem weiteren Rückgang zu rechnen, wozu vor allem der Straßenverkehr beitragen wird. Bei der Quellengruppe ‚Industrie und Gewerbe‘ ist keine bedeutende Verringerung der Emissionen mehr zu erwarten und bei den Kleinf Feuerungsanlagen ist mit zunehmender Bedeutung von Holzfeuerungen mit einer weiteren Erhöhung der Emissionen zu rechnen.

Die Feinstaub PM10-Fraktion wurde für jede Quelle getrennt aus den jeweiligen Gesamtstaubemissionen berechnet. Die Feinstaub PM10-Emissionen für das Jahr 2006 sind differenziert nach den einzelnen Quellengruppen in Abbildung 4.1-5 dargestellt. Die Feinstaub PM10-Emissionen werden mit 29 % von der Quellengruppe ‚Verkehr‘ bestimmt. Die ‚kleinen und mittleren Feuerungsanlagen‘



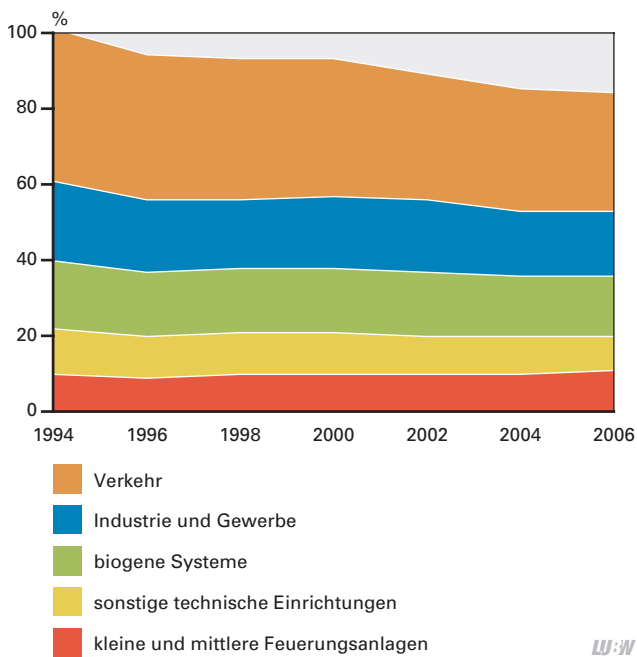


Abb. 4.1-4: Entwicklung der Gesamtstaubemissionen in Baden-Württemberg 1994 bis 2006 im Vergleich zu 1994 (1994 = 100 %). Stand: 2008

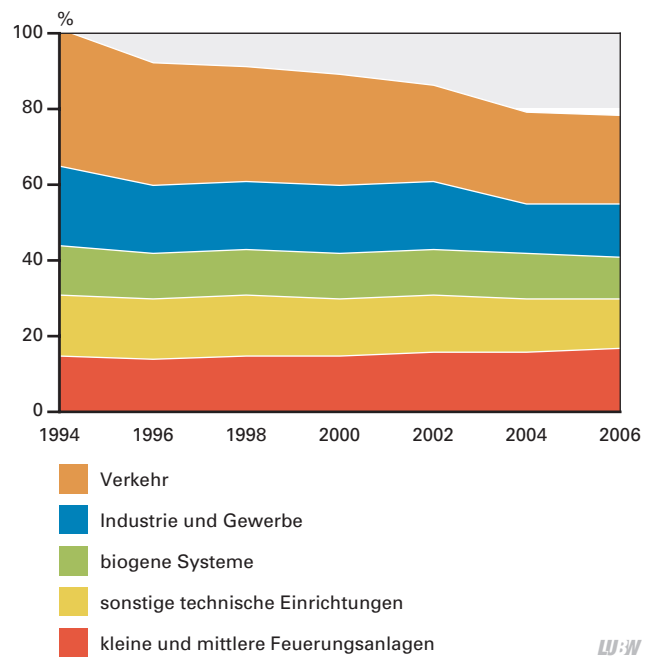


Abb. 4.1-6: Entwicklung der Feinstaub PM10-Emissionen in Baden-Württemberg 1994 bis 2006 im Vergleich zu 1994 (1994 = 100 %). Stand: 2008

tragen 21 % zu den Feinstaub PM10-Emissionen bei. Etwa gleich große Anteile stammen von der Quellengruppe ‚Industrie und Gewerbe‘ mit 18 % und den ‚sonstigen technischen Einrichtungen‘ mit 17 %. Die ‚biogenen Systeme‘ sind mit 15 % an den Feinstaub PM10-Emissionen beteiligt.

Zwischen 1994 und 2006 nahmen die Emissionen von Feinstaub PM10 um 22 % ab (Abb. 4.1-6). Beim ‚Verkehr‘, vor allem beim Straßenverkehr, konnte durch Verbesserungen, ins-

besondere bei Dieselmotoren, ein Rückgang der Feinstaub PM10-Emissionen um 37 % erreicht werden. Bei den ‚kleinen und mittleren Feuerungsanlagen‘ stiegen die Emissionen durch den verstärkten Einsatz von Holz als Brennstoff um 15 %.

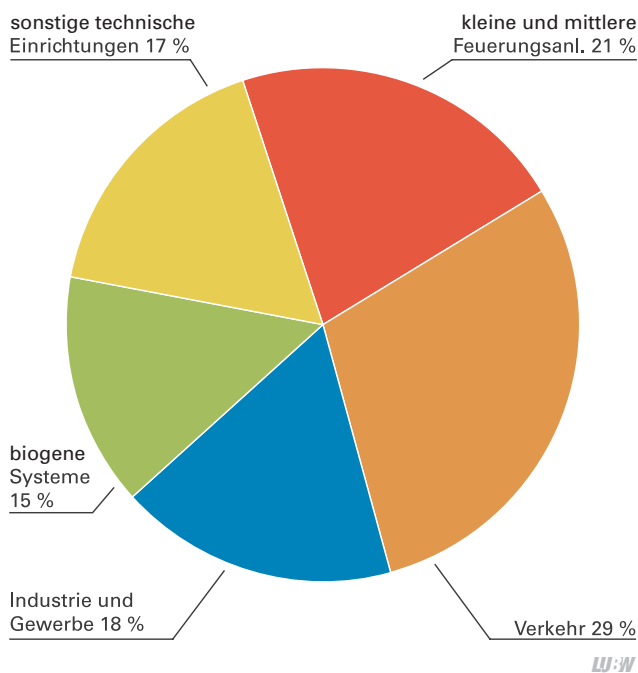


Abb. 4.1-5: Feinstaub PM10-Emissionen in Baden-Württemberg 2006. Stand: 2008

#### 4.1.4 AMMONIAK

Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) stammt zu 97 % aus ‚biogenen Quellen‘, insbesondere aus landwirtschaftlichen Tätigkeiten wie Nutztierhaltung, Landwirtschaft, Böden und Pflanzen (insgesamt 92 %). Weiterhin tragen Abwasserkanäle mit fast 5 % zu den Emissionen bei. Die  $\text{NH}_3$ -Emissionen, die als Nebenprodukt im geregelten Dreiwegekatalysator beim Pkw-Verkehr entstehen, machen nur einen Anteil von 2 % aus. Insgesamt betragen die Emissionen von  $\text{NH}_3$  55 300 t im Jahr 2006 (Abb. 4.1-7).

Als Schwerpunkte der  $\text{NH}_3$ -Emissionen sind in Baden-Württemberg die Gebiete mit hohem Viehbestand wie z. B. die Regionen Hohenlohe, Ostalb und Oberschwaben zu nennen (Abb. 4.1-8). Für  $\text{NH}_3$  ist von 1994 bis 2006 eine Abnahme der Emissionen von 6 % [LUBW 2008a] zu verzeichnen. Ausschlaggebend hierfür waren die überwiegend für die  $\text{NH}_3$ -Freisetzung verantwortlichen Rinderbestände, die innerhalb dieses Zeitraums um ein Viertel abnahmen [STALA 2009]. Weiterhin tragen die Anwendungen der „guten fachlichen Praxis“ in der Landwirtschaft gemäß der Düngeverordnung (DüV 2006) zur Reduktion der Emissionen bei.

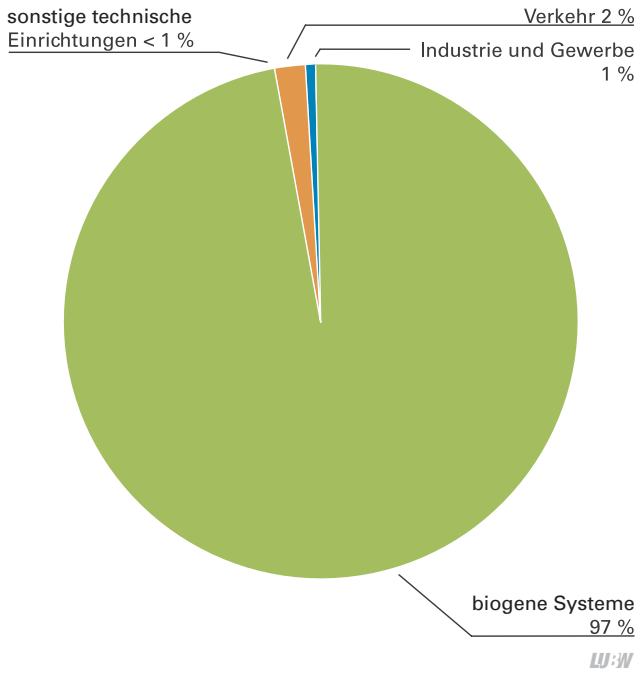


Abb. 4.1-7: Verteilung der NH<sub>3</sub>-Emissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg 2006. Stand: 2008

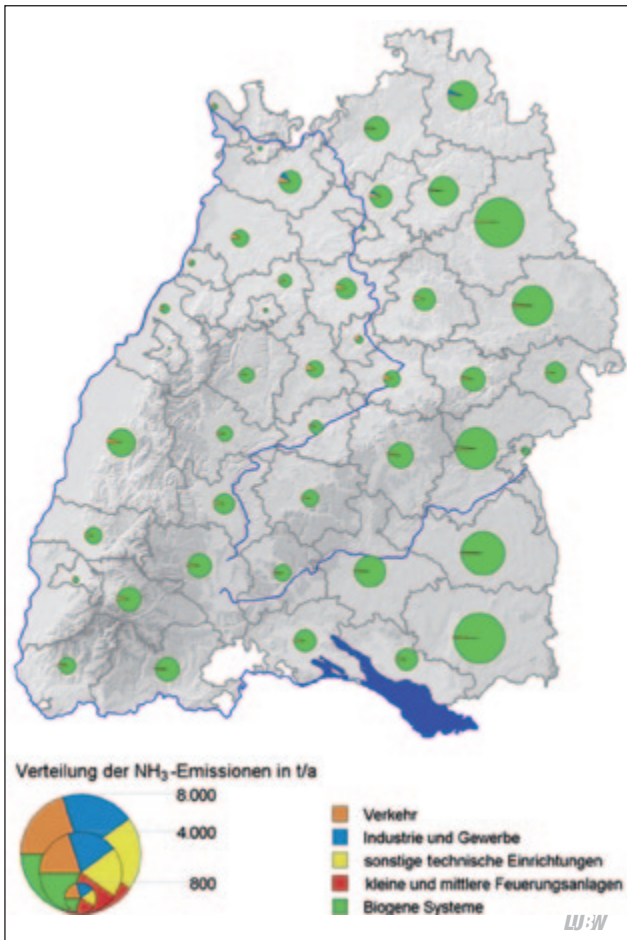


Abb. 4.1-8: Verteilung der NH<sub>3</sub>-Emissionen auf die Stadt-/Landkreise nach Quellengruppen in Baden-Württemberg 2006. Stand: 2008

#### 4.1.5 KOHLENMONOXID

Kohlenmonoxid (CO) entsteht bei unvollständiger Verbrennung, hauptsächlich in Kraftfahrzeugmotoren, in geringerem Maße auch in Feuerungsanlagen. Die Emissionen von 555 000 t im Jahr 2006 wurden zu 39 % vom ‚Verkehr‘ und zu 38 % von den ‚sonstigen technischen Einrichtungen‘ verursacht. Bei den ‚sonstigen technischen Einrichtungen‘ tragen wiederum vorwiegend Antriebsmotoren von Maschinen zur Emission bei (Abb. 4.1-9).

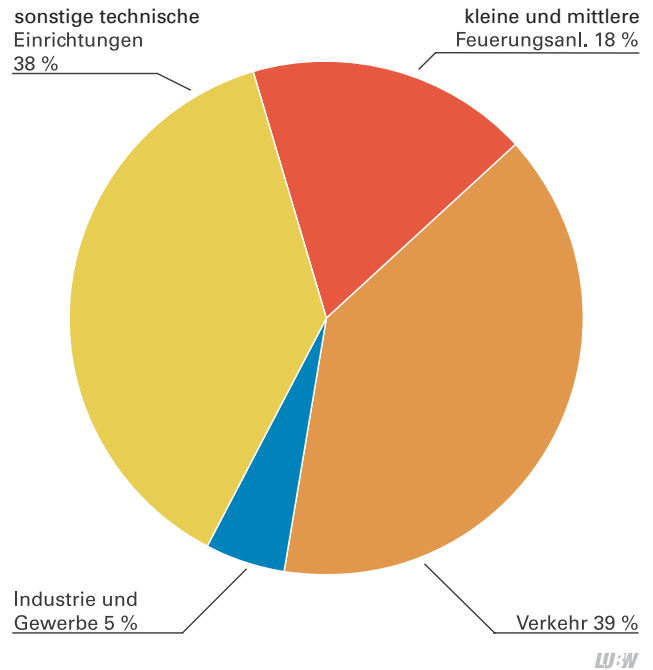


Abb. 4.1-9: Verteilung der CO-Emissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg 2006. Stand: 2008

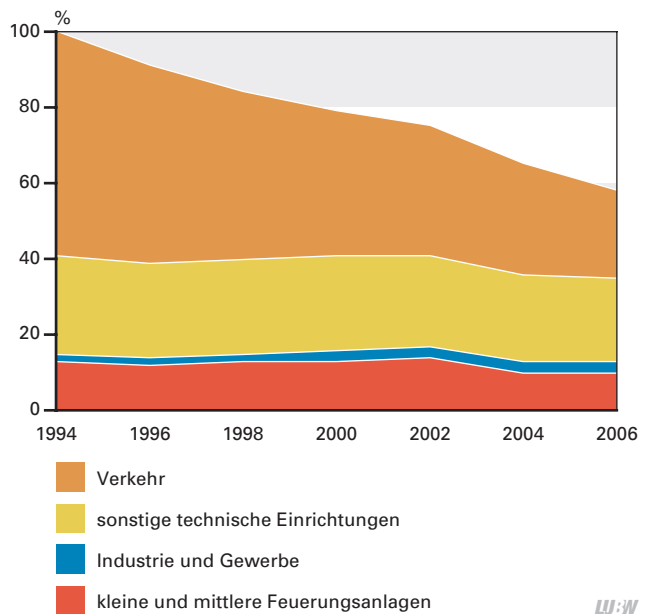


Abb. 4.1-10: Entwicklung der CO-Emissionen in Baden-Württemberg 1994 bis 2006 im Vergleich zu 1994 (1994 = 100 %). Stand: 2008

Durch die weitgehende Ausrüstung der Benzinfahrzeuge mit einem geregelten Katalysator sanken die CO-Emissionen des Verkehrs im Zeitraum 1994 bis 2006 um 61 %, während die CO-Emissionen insgesamt um 42 % abnahmen (Abb. 4.1-10).

#### 4.1.6 SCHWEFELDIOXID

Schwefeldioxidemissionen (SO<sub>2</sub>) entstehen bei der Verbrennung schwefelhaltiger Brennstoffe, insbesondere von Kohle und Öl. Im Jahr 2006 wurden 31 600 t SO<sub>2</sub> emittiert, davon 72 % durch ‚Industrie und Gewerbe‘ und 27 % durch ‚kleine und mittlere Feuerungsanlagen‘, welche mit Heizöl betrieben werden (Abb. 4.1-11).

Insgesamt haben die Emissionen von SO<sub>2</sub> zwischen 1994 und 2006 um 45 % abgenommen. Den stärksten Rückgang der SO<sub>2</sub>-Emissionen gab es Ende der 1980er Jahre, vor allem durch die Abgasentschwefelung bei Kraftwerken und Industriefeuerungen. Seit 1994 sind die Emissionen von SO<sub>2</sub> bei dieser wichtigen Emittentengruppe nochmals um 29 % gesunken, auch bei den ‚kleinen und mittleren Feuerungsanlagen‘ hat sich der Rückgang im Schwefelgehalt des leichten Heizöls (von maximal 0,20 % auf durchschnittlich 0,12 %) stark auf die Emissionen ausgewirkt. Besonders groß ist der Rückgang beim Verkehr durch Einsatz von schwefelfreiem Dieseldieselkraftstoff (max. 10 mg Schwefel je kg Dieseldieselkraftstoff), so dass dieser kaum noch zur Emission beiträgt (Abb. 4.1-12).

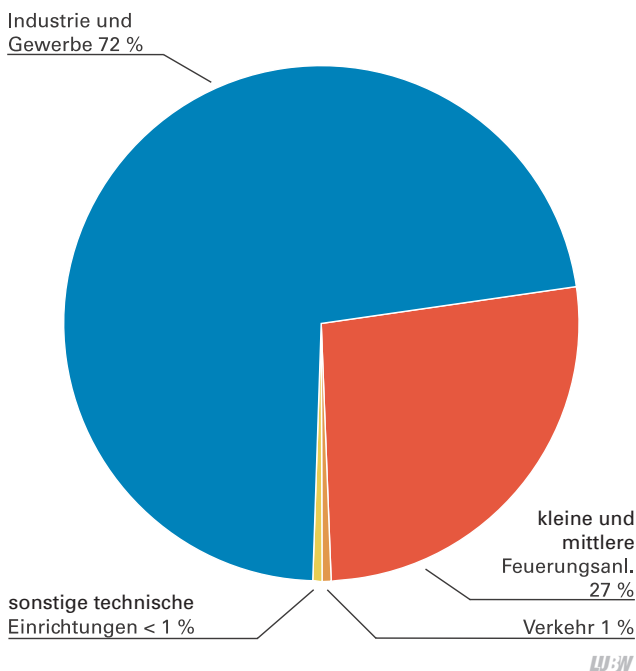


Abb. 4.1-11: Verteilung der SO<sub>2</sub>-Emissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg 2006. Stand: 2008

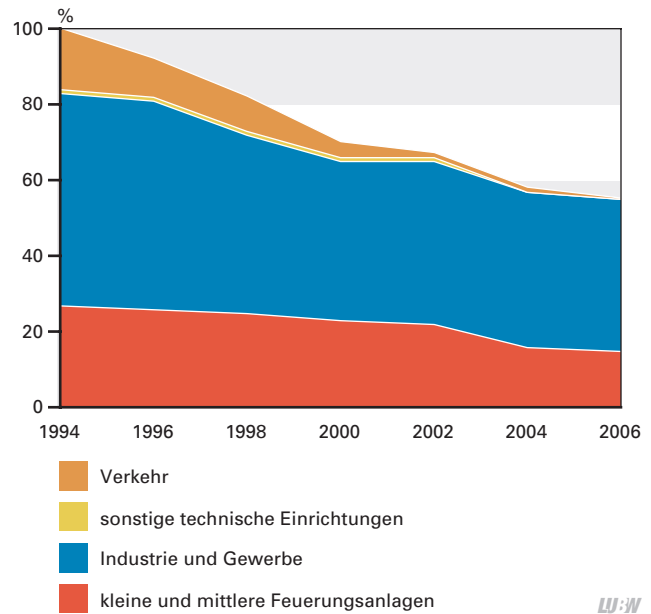


Abb. 4.1-12: Entwicklung der SO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg 1994 bis 2006 im Vergleich zu 1994 (1994 = 100 %). Stand: 2008

#### 4.1.7 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.

Die NMVOC-Emissionen betragen 2006 in Baden-Württemberg 224 400 t. Hauptverursacher sind mit einem Anteil von 39 % die ‚biogenen Systeme‘ und die ‚sonstigen technischen Einrichtungen‘ mit einem Anteil von 31 %. Die industriellen und gewerblichen Quellen tragen mit einem Anteil von 17 % zu den NMVOC-Emissionen bei, der Anteil des ‚Verkehrs‘ liegt bei 9 %. Der Anteil der ‚kleinen und mittleren Feuerungsanlagen‘ beträgt 4 % (Abb. 4.1-13). Innerhalb der ‚biogenen Systeme‘ sind vor allem die Wälder für die NMVOC-Emissionen verantwortlich. Bei den ‚sonstigen technischen Einrichtungen‘ tragen der Einsatz von Produkten mit organischen Lösemitteln (z. B. Anwendung von Reinigungsmitteln, Klebstoffen, Lacken usw.) sowie Geräte und Maschinen wesentlich zu den NMVOC-Emissionen bei.

In der Quellengruppe ‚Industrie und Gewerbe‘ ist das Gewerbe zu zwei Drittel für die NMVOC-Emissionen verantwortlich. Die Emissionen entstehen hier vor allem beim Einsatz von Reinigungsmitteln, Lacken, Druckfarben und dem Umschlag von Kraftstoffen. Die NMVOC-Emissionen gingen in Baden-Württemberg von 1994 bis 2006 um 28 % zurück (Abb. 4.1-14). Die Emissionsminderung im Bereich ‚Verkehr‘ von 1994 bis 2006 um drei Viertel wurde vor al-

lem durch das fortschreitende Anwachsen des Kraftfahrzeugbestandes mit geregelterm Katalysator erreicht. Bei den ‚sonstigen technischen Einrichtungen‘ betrug der Rückgang infolge lösemittelarmer Produkte und emissionsarmer Verfahren etwa 12 %. 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  $\text{NO}_x$  der Straßenverkehr auch zukünftig zur Abnahme der Emissionen beitragen. Bei der Quellengruppe Industrie und Gewerbe ist ein Rückgang der NMVOC-Emissionen insbesondere bei den Lösemittelanwendungen zu erwarten.

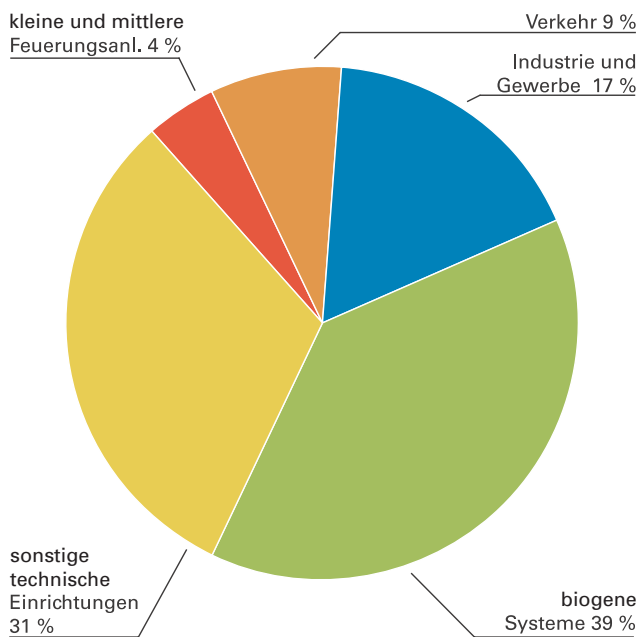


Abb. 4.1-13: Verteilung der NMVOC-Emissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg 2006. Stand: 2008

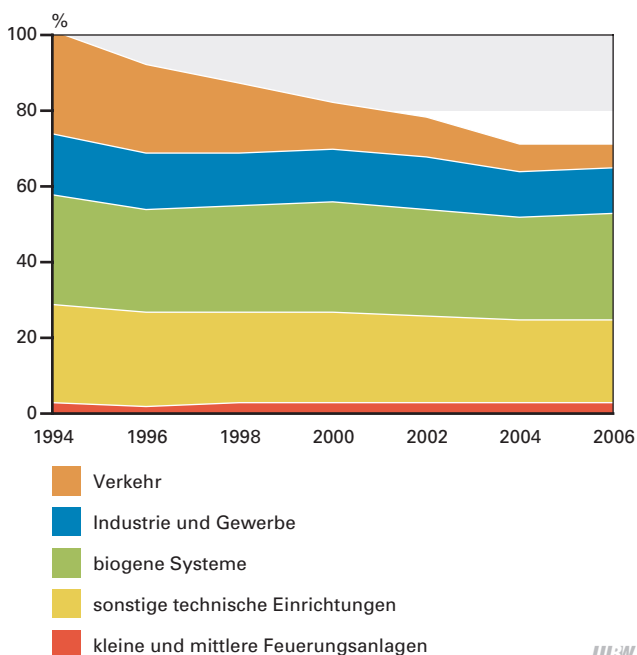


Abb. 4.1-14: Entwicklung der NMVOC-Emissionen in Baden-Württemberg 1994 bis 2006 im Vergleich zu 1994 (1994 = 100 %). Stand: 2008

## INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

mehr Informationen zum Emissionskataster im Internet-Themenportal ‚Luft‘ unter ‚Emissionen‘ der LUBW: [www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg: [www.statistik.baden-wuerttemberg.de](http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de)

## 4.2 VERKEHR UND LUFTSCHADSTOFFE

### 4.2.1 VERGLEICH DER VERKEHRSTRÄGER

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

Der Anteil des Verkehrs an den Emissionen betrug 2006 bei den Stickstoffoxiden ( $\text{NO}_x$ ) 47 %, bei Feinstaub  $\text{PM}_{10}$  (aus Abgas, Aufwirbelung und Abrieb) 29 %, bei den flüchtigen Kohlenwasserstoffen (NMVOC) 9 %, bei Benzol 78 %, bei Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ) 40 % und bei Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) 33 % (Abb. 4.2-1).

Im Vergleich der Verkehrsbereiche kommt dem Straßenverkehr zentrale Bedeutung zu; im Jahr 2006 wurden 96 % der im Verkehr eingesetzten Kraftstoffe dort verbraucht. Dem entsprechend dominiert der Straßenverkehr auch die Schadstoffemissionen des Verkehrssektors mit Anteilen zwischen 88 % und 97 % (Tab. 4.2-1). Lediglich die Emissionen von Schwefeldioxid wurden deutlich durch Flug-, Schiffs- und Schienenverkehr mitgeprägt, da hier Kraftstoffe mit höherem Schwefelgehalt zum Einsatz kommen.

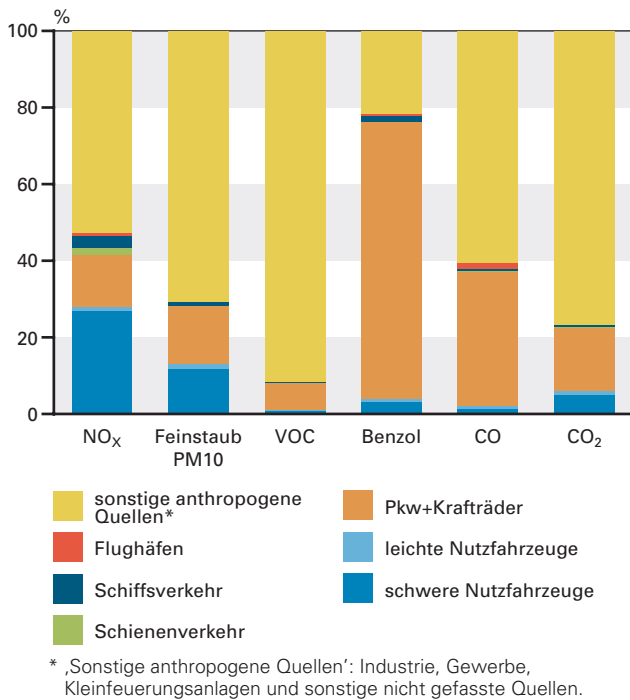


Abb. 4.2-1: Anteil der Verkehrsemissionen an den gesamten anthropogenen Emissionen in Baden-Württemberg. Bezugsjahr 2006. Stand: 2009

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

Die angegebenen Emissionen des Verkehrs lassen sich prinzipiell nicht direkt messen, sondern sind das Ergebnis aufwändiger Berechnungen, die zur Erstellung von Emissionskatastern durchgeführt werden. Emissionsdaten sind daher als Abschätzungen und bestmögliche Annäherung an die realen Verhältnisse zu verstehen.

## 4.2.2 STRASSENVERKEHR

### 4.2.2.1 EMISSIONEN DES STRASSENVERKEHRS

Die Abbildung 4.2-2 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 einen Anteil von 2 % bzw. 7,7 %, beim Kraftstoffverbrauch und den

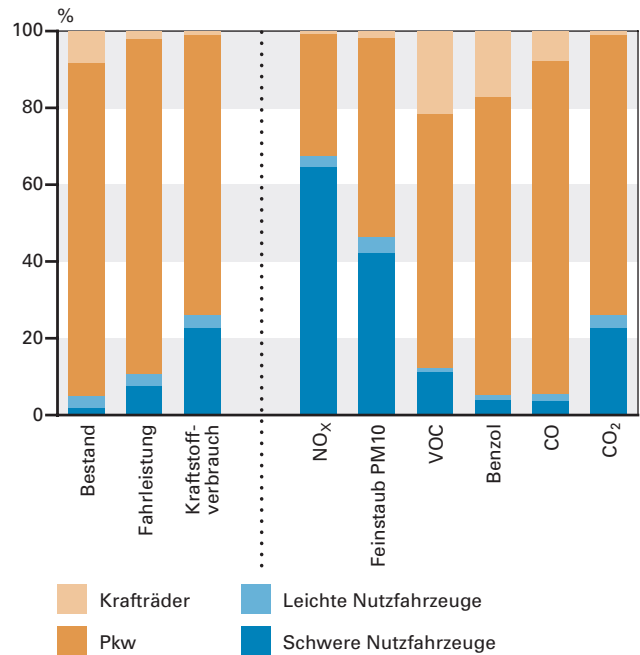


Abb. 4.2-2: Fahrleistung, Kraftstoffverbrauch und Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg, aufgeschlüsselt nach den Gruppen Pkw, Krafträder, leichte und schwere Nutzfahrzeuge. Bezugsjahr 2006. Quellen: LUBW, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

Tab. 4.2-1: Anteile der Verkehrsbereiche am Kraftstoffverbrauch und an den Verkehrsemissionen in Baden-Württemberg 2006. Stand: 2009

	Straßenverkehr	Schiffsverkehr <sup>2)</sup>	Flugverkehr <sup>3)</sup>	Schieneverkehr	Summe
Angaben in Prozent					
Kraftstoffverbrauch	96,3	1,7	1,1	0,9	100
Stickstoffoxide (NO <sub>x</sub> )	87,7	6,8	1,6	4,0	100
Feinstaub PM10 <sup>1)</sup>	96,0	2,8	0,6	0,6	100
leicht flüchtige Kohlenwasserstoffe ohne Methan (NMVOC)	94,6	2,9	2,0	0,5	100
Benzol	97,3	1,6	0,8	0,2	100
Kohlenmonoxid (CO)	94,2	1,6	3,8	0,4	100
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	44,6	21,6	29,1	4,7	100
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	96,3	1,7	1,1	0,9	100

<sup>1)</sup> Feinstaub PM10 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 (d. h. Überschätzung)

<sup>3)</sup> Bodennaher Bereich bis 3 000 ft (ca. 1000 m) Flughöhe (d. h. Unterschätzung)

CO<sub>2</sub>-Emissionen sind es dagegen 23 %. Mit einem Anteil von 42 % bei der Feinstaubemission und 65 % bei NO<sub>x</sub> 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 (86 %), Benzol (78 %), CO<sub>2</sub> (73 %) und Kohlenwasserstoffen (66 %), leisten aber auch bei den anderen Schadstoffen erhebliche Beiträge (NO<sub>x</sub>: 32 %, Feinstaub: 52 %). Motorräder sind vor allem durch überproportional hohe Kohlenwasserstoff-, Benzol- und CO-Emissionen gekennzeichnet.

Schwere Nutzfahrzeuge haben einen beträchtlichen Anteil an den dieseltypischen Komponenten NO<sub>x</sub> und PM<sub>10</sub>, da Lkw-Motoren mit ihren hohen Leistungen entsprechend große Abgasmenge produzieren. Zudem unterscheiden sich Diesel- und Ottomotoren in ihrem Emissionsprofil: Während Ottomotoren im Vergleich höhere Kohlenmonoxid- und Benzolemissionen aufweisen, emittieren Dieselmotoren mehr Stickstoffoxide und Partikel (Tab. 4.2-2). 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 in den letzten zwei Jahrzehnten schrittweise verschärft wurden (vgl. Kap. 4.2.2.3). Seit 2005 ist von neuen Pkw die Abgasnorm Euro 4 einzuhalten, ab September 2009 die Norm Euro 5. Altfahrzeuge, insbesondere Benzin-Pkw ohne geregelten Katalysator (G-Kat), weisen ein Vielfaches der Emissionen moderner Euro 4- und Euro 5-Fahrzeuge auf, weshalb Benzin-Pkw ohne G-Kat sowie Diesel-Pkw und Lkw vor Euro 2 in Umweltzonen nicht mehr fahren dürfen.

Bei den in Tabelle 4.2-2 beispielhaft angegebenen Werten handelt es sich um reale Durchschnittsemissionen, nicht um Grenzwerte. Es wird deutlich, welche beachtlichen Reduktionen im Schadstoffausstoß gerade bei Benzin-Pkw, aber auch bei Diesel-Pkw und Lkw erreicht worden sind. Der Vergleich zwischen Benzin- und Diesel-Pkw der Stufe Euro 4 zeigt allerdings auch, dass die realen NO<sub>x</sub>-Emissionen von Diesel-Pkw immer noch mehr als 10-fach über der NO<sub>x</sub>-Emission der Benzin-Pkw liegen. Die Lkw-Emissionen haben sich teilweise positiv entwickelt, lassen aber besonders bei NO<sub>x</sub> noch Handlungsbedarf erkennen.

Durch die zunehmend verschärften Abgasnormen haben die Kfz-Emissionen in den vergangenen Jahren trotz gesteigerter Fahrleistung erheblich abgenommen, so dass früher problematische verkehrsbezogene Komponenten wie Benzol oder Kohlenmonoxid heute auch an Hauptverkehrsstraßen keine gesundheitlich bedenklichen Konzentrationen mehr erreichen. Kritisch zu bewerten sind aus lufthygienischer Sicht dagegen weiterhin die Partikel- und Stickstoffoxidemissionen des Verkehrs und die daraus resultierenden Luftbelastungen an stark befahrenen Straßen. Die Umweltzonen, die vielerorts im Rahmen von Luftreinhalteplänen ausgewiesen worden sind, haben ihre Ursache in zu hohen Immissionskonzentrationen von PM<sub>10</sub> und NO<sub>2</sub>. Bei diesen Komponenten ist daher eine weitere Absenkung der Emissionen, insbesondere bei Dieselfahrzeugen notwendig.

Zur Einhaltung der Euro 5-Abgasgrenzwerte bei Dieselpkw wird der Partikelfilter voraussichtlich zwingend erforderlich. Um die vom Kfz-Verkehr verursachten NO<sub>2</sub>-Konzentrationen an Hauptverkehrsstraßen abzusenken, ist außerdem eine deutliche Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen notwendig. Überschreitungen der ab 2010 gültigen NO<sub>2</sub>-Immissionsgrenzwerte sind bereits jetzt absehbar. Eine ausgeprägte Absenkung der NO<sub>x</sub>-Emissionen von Dieselpkw

Tab. 4.2-2: Innerorts-Emissionsfaktoren von Pkw ohne Schadstoffminderung (Schadstoffgruppe 1 = keine Plakette) und modernen Pkw nach Euro 4 sowie von schweren Nutzfahrzeugen. Quelle: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) 2.1 (Berechnung für 2009, durchschnittliche Verkehrssituationen innerorts)

Emissionen	Pkw - Benzin		Pkw - Diesel		Lkw	
	ohne G-Kat	Euro 4	vor Euro 2	Euro 4	vor Euro 1	Euro 5
Werte in g/km						
CO	10,50	0,33	0,60	0,23	3,34	1,60
NO <sub>x</sub>	1,10	0,03	0,74	0,34	8,81	3,43
Partikel	-	-	0,08	0,016	0,50	0,06
VOC	1,43	0,007	0,10	0,058	1,75	0,66



Neufahrzeugen wird aber erst mit den ab 2014 gültigen Abgasgrenzwerten der Stufe Euro 6 vorgeschrieben. Hier besteht eine Diskrepanz zwischen der europäischen Emissions- und Immissionsgesetzgebung.

#### URSACHEN DER HOHEN NO<sub>2</sub>-BELASTUNGEN AN HAUPTVERKEHRSTRASSEN

Trotz insgesamt rückläufiger NO<sub>x</sub>-Emissionen des Verkehrs (vgl. Abb. 4.3-6) werden an Hauptverkehrsstraßen teils nur sehr geringe Abnahmen, teils sogar Zunahmen der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen beobachtet (Abb. 4.2-3).

Diese Entwicklung ist im Wesentlichen auf zwei Ursachen zurückzuführen: Zum einen hat bei den Pkw der Anteil an Fahrzeugen mit Dieselmotor in den vergangenen Jahren erheblich zugenommen. Diese setzen insgesamt mehr NO<sub>x</sub> frei als Benzin-Pkw (Tab. 4.2-2). Auch nach den Abgasgrenzwerten der Stufen Euro 4 und Euro 5 (Abb. 4.2-9) dürfen Diesel-Pkw noch immer ca. 3-mal soviel NO<sub>x</sub> ausstoßen wie Benzin-Pkw.

Zum anderen werden Diesel-Pkw seit der Stufe Euro 3 mit Oxidationskatalysatoren ausgestattet. Diese Katalysatoren bewirken nicht nur, dass unverbrannte Kohlenwasserstoffe und CO im Abgas gemindert werden, sondern wandeln bereits im Abgasstrang ca. ein Drittel bis die Hälfte des NO in NO<sub>2</sub> um, so dass bereits bis zu 50 % der Stickstoffoxide in Form von (primärem) NO<sub>2</sub> freigesetzt werden. Im Gegensatz dazu emittieren Fahrzeuge mit Otto-Motoren nur ca. 5 % der Stickstoffoxide in Form von (primärem) NO<sub>2</sub>. In Abbildung 4.2-4 sind entsprechende Messergebnisse zum prozentualen Anteil von NO<sub>2</sub> am insgesamt emittierten NO<sub>x</sub> für Benzin- und Diesel-Pkw dargestellt. Die direkt emittierten NO<sub>2</sub>-Anteile zeigen bei modernen Diesel-Pkw eine große Streuung und sind deutlich höher als bei Otto-Pkw. Besonders hohe NO<sub>2</sub>-Direktemission weisen Pkw mit katalytisch beschichteten Partikelfiltern auf. Aufgrund dieser Entwicklung ist an stark verkehrsbelasteten Straßen trotz insgesamt deutlich rückläufiger NO<sub>x</sub>-Emissionen kein Rückgang der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung in gleichem Umfang erkennbar.

Bei schweren Nutzfahrzeugen tritt das Problem der erhöhten NO<sub>2</sub>-Anteile im Abgas nur bei den Fahrzeugen auf, die mit einer Kombination aus Oxidationskatalysator und Dieselpartikelfilter, dem sogenannten CRT-System, ausgestattet sind. Dort werden bis zu 60 % der Stickstoffoxide im Abgas direkt in Form von NO<sub>2</sub> emittiert.

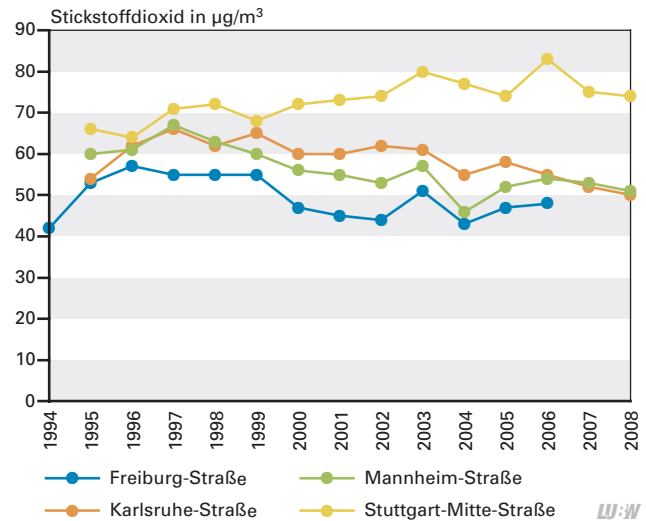


Abb. 4.2-3: Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte an den Verkehrsstationen Stuttgart, Mannheim, Karlsruhe und Freiburg. Stand: 2009

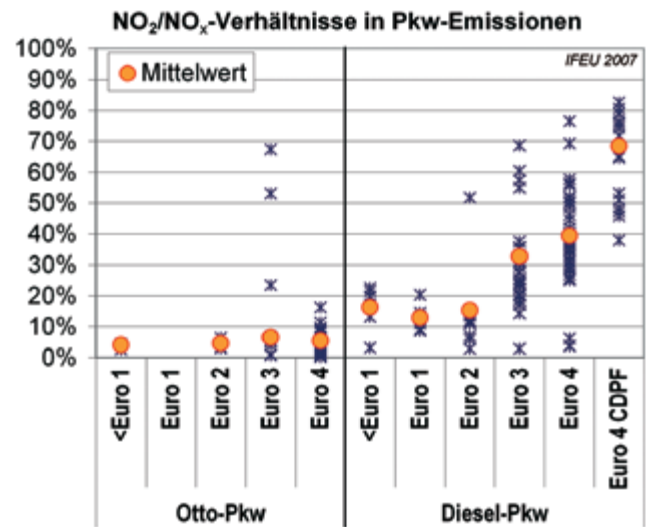


Abb. 4.2-4: Prozentualer NO<sub>2</sub>-Anteil an der NO<sub>x</sub>-Emission, Einzelmessungen bei Pkw (Innerortszyklus). CDPF = Katalytisch beschichteter Dieselpartikelfilter [IFEU 2007].

Ein weiterer Grund für erhöhte NO<sub>2</sub>-Immissionen sind Veränderungen im photochemischen Gleichgewicht der Atmosphäre. So führen stark rückläufige NO-Emissionen in den Städten zu einem verringerten Ozonabbau und damit innerstädtisch zu höheren Ozonwerten. Höhere Ozonwerte verschieben das Gleichgewicht wiederum von NO hin zu NO<sub>2</sub>. Dieser Effekt hat gegenüber den NO<sub>2</sub>-Direktemissionen jedoch eine geringere Bedeutung.

#### GESCHWINDIGKEITSABHÄNGIGKEIT DER EMISSIONEN

Bei der Suche nach emissionsmindernden Maßnahmen wird häufig auch die Wirkung von Geschwindigkeitsbegrenzungen diskutiert. Die abschließende Bewertung eines innerörtlichen Tempolimits von 50 km/h auf 30 km/h ist bislang nicht

möglich, da keine geeigneten Verkehrssituationen im Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs für eine Auswertung zur Verfügung stehen [HBEFA 2004]. Die vorliegenden Untersuchungen zur Auswirkung von Geschwindigkeitsbeschränkungen sind mit großen Unsicherheiten verbunden und die Ergebnisse weichen teilweise deutlich voneinander ab. Soweit eine Verringerung der Luftbelastung aufgrund eines innerörtlichen Tempolimits auf 30 km/h belegt werden konnte, war diese gering. Als effektiver sind dagegen Maßnahmen zur Verstetigung des Verkehrsflusses zu bewerten, mit denen emissionsträchtige Brems- und Beschleunigungsvorgänge möglichst vermieden werden. Dieses Ziel gilt es auch bei einer Geschwindigkeitsbegrenzung zu beachten.

Für Geschwindigkeiten ab 75 km/h ist eine Auswertung der Verkehrssituationen aus dem Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA möglich [HBEFA 2004]. Dabei ergibt sich, dass die Schadstoffemissionen der durchschnittlichen Pkw-Flotte bei freier Fahrt auf Autobahnen eine ausgeprägte Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit aufweisen. In dem Geschwindigkeitsbereich von 75 km/h bis 145 km/h wird für alle limitierten Schadstoffkomponenten (Stickstoffoxide, Partikel, Kohlenmonoxid, flüchtige Kohlenwasserstoffe) eine stetige und erhebliche Zunahme der Emission mit zunehmender Geschwindigkeit gemessen, wie dies die Abbildung 4.2-5 für NO<sub>x</sub> und Partikel zeigt.

Damit stellen Geschwindigkeitsbeschränkungen auf Autobahnen eine geeignete Maßnahme zur Reduzierung der Schadstoffemissionen dar.

Der Anstieg der Schadstoffemissionen mit zunehmender Geschwindigkeit gilt nicht nur für ältere Pkw, sondern – auf

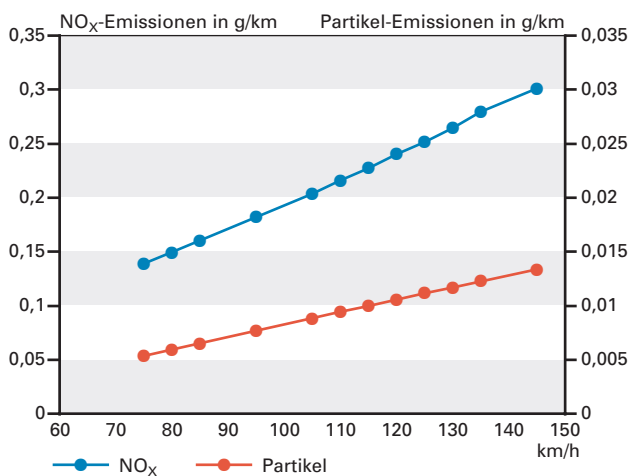


Abb. 4.2-5: Pkw-Emissionen auf Bundes-Autobahnen (BAB). Ausgewertet sind nur solche BAB-Verkehrssituationen, die eine konstante Geschwindigkeit aufweisen. Bezugsjahr 2008. [HBEFA 2004].

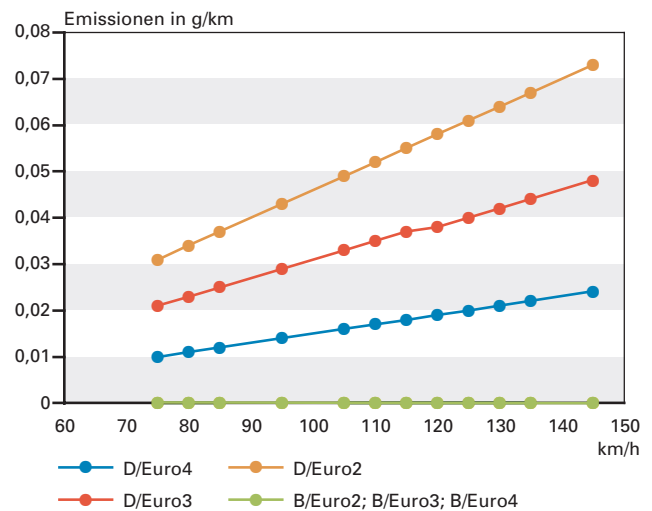


Abb. 4.2-6: Partikel-Emissionsfaktoren differenziert nach Fahrzeugkategorien und Emissionskonzepten (D=Diesel-Pkw, B=Benzin-Pkw) [HBEFA 2004].

niedrigerem Niveau – auch für moderne Euro 3- und Euro 4-Fahrzeuge. In Abbildung 4.2-6 ist dies für die Partikel-emissionen dargestellt.

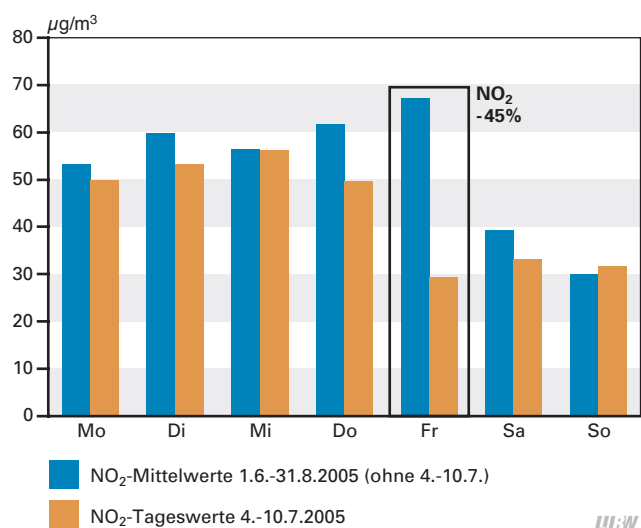
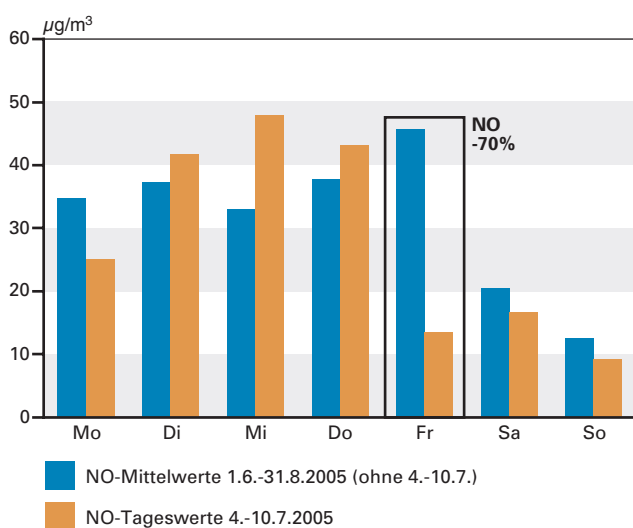
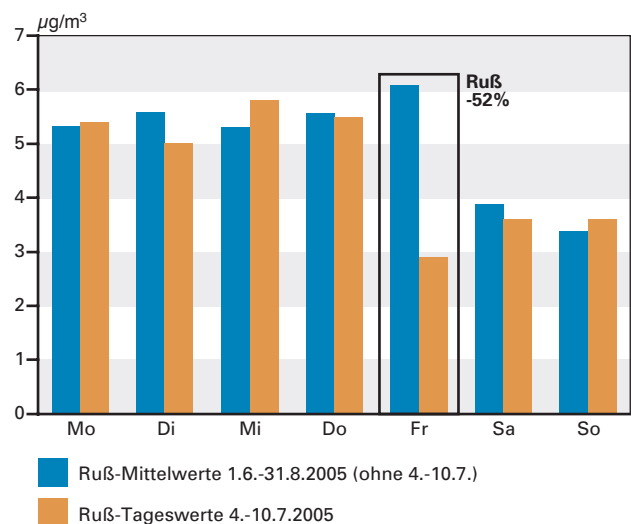
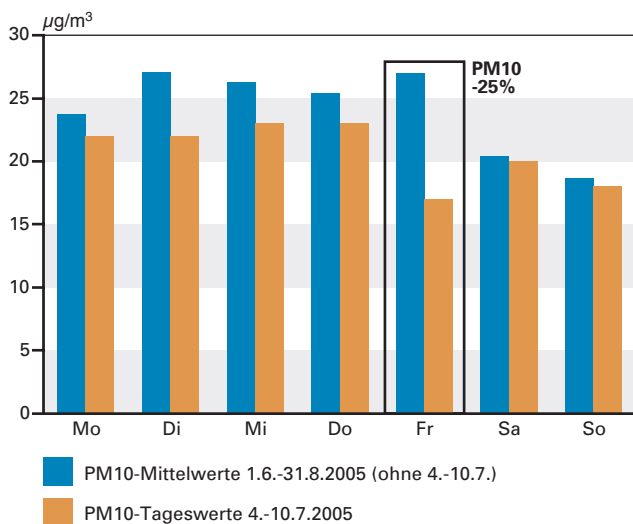
Über die Betrachtung der Emissionsfaktoren hinaus gilt grundsätzlich, dass ein gleichmäßiger Fahrverlauf bei reduziertem Tempo zu einer Abnahme von Beschleunigungs- und Bremsvorgängen und damit zur Verstetigung des Verkehrsflusses führt. Dies bewirkt eine Reduzierung der Schadstoff- und ebenso der Lärmemissionen.

#### WIRKUNG EINER GANZTÄGIGEN STRASSENSPERRUNG AUF DIE LUFTQUALITÄT

Die Wirkung verkehrsmindernder Maßnahmen auf die Reduktion der Luftschadstoffbelastung ist ein Thema, dem im Zusammenhang mit Aktions- und Maßnahmenplanung aktuelle Bedeutung zukommt. Aussagen zu den erzielbaren Minderungen sind allerdings meist auf theoretische Abschätzungen angewiesen.

Eine reale verkehrsmindernde Maßnahme in Form einer 12-stündigen vollständigen Sperrung zahlreicher Hauptverkehrsstraßen wurde anlässlich der Tour de France am 8. Juli 2005 in der Karlsruher Innenstadt durchgeführt. Da sich direkt an der abgesperrten Strecke die Luftmessstation ‚Karlsruhe-Straße‘ befindet, lässt sich an deren Messwerten die Auswirkung der Straßensperrung auf die Luftqualität und damit auch das Potenzial verkehrsmindernder Maßnahmen ablesen.

Zum Vergleich dienen die mittleren Tageswerte des Sommerquartals ohne die Tourwoche. D. h., aus allen Montagen, Dienstag usw. des Sommerquartals wurde ein Mittelwert



LUBW

Abb. 4.2-7: Auswirkung einer 12-stündigen Straßensperrung auf die Luftschadstoffkonzentrationen an der Station ‚Karlsruhe-Straße‘. Linke Säulen: Mittlere Konzentration für die Wochentage im Sommerquartal (1.6.-31.8.2005); rechte Säulen: Tageswerte in der Woche 4.-10.7.2005. Die Straßensperrung war am Freitag, dem 8.7.2005 [LUBW 2008b].

gebildet, der mit dem Tagesmittelwert der Tourwoche verglichen werden kann (Abb. 4.2-7).

Die 12-stündige Straßensperrung verursacht bei den Tagesmittelwerten Abnahmen von 25 % bis 70 %. Beim Feinstaub PM10 führt die Straßensperrung zu einem nachweisbaren Rückgang des Tagesmittelwerts um etwa  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bis  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , entsprechend ca. 25 % Minderung. Dass dieser Rückgang vergleichsweise gering ausfällt, liegt an der hohen großräumigen Hintergrundbelastung mit Feinstaub. Demgegenüber zeigt sich bei Ruß ein Rückgang um 52 %, was auf einen direkteren Zusammenhang zwischen Ruß und Verkehr hinweist.

Bei  $\text{NO}_2$  beträgt der Rückgang 43 %. Der Anteil des großräumigen Hintergrunds ist hier weniger ausgeprägt als beim Feinstaub. NO ist am stärksten durch den lokalen Emissionsbeitrag des Verkehrs beeinflusst und zeigt mit 70 % die höchste Abnahme.

#### 4.2.2.2 EMISSIONSENTWICKLUNG

Obwohl der Sektor Verkehr nach wie vor einen 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 stufenweise Verschärfung der Abgasgrenzwerte in der EU.

Die Entwicklung der Verkehrsemissionen in Baden-Württemberg gibt Abbildung 4.2-8 wieder. Im Zeitraum von 1994 bis 2006 sind – außer bei Kohlendioxid – Emissionsminderungen zwischen 37 % und 98 % zu verzeichnen, obwohl die Fahrleistung des Straßenverkehrs im selben Zeitraum bei den Pkw um 5 %, bei den Lkw um 20 % zugenommen hat. Die größten Minderungen haben sich bei Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) mit 98 % und Benzol und Kohlen-

wasserstoffen mit 77 % ergeben. Sie sind einerseits auf die fast vollständige Verbreitung des geregelten Katalysators bei den Benzinfahrzeugen, zum anderen auf Qualitätsverbesserungen der im Straßenverkehr eingesetzten Kraftstoffe zurückzuführen:

- 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 01.01.2003 wird an deutschen Tankstellen nur noch „schwefelfreier“ Kraftstoff mit einem Schwefelgehalt unter 10 ppm angeboten. In der Europäischen Union ist dies seit 01.01.2005 realisiert (2003/17/EG, 10. BImSchV).
- Für Benzol gilt seit dem 01.01.2000 in der Europäischen Union ein Grenzwert von maximal 1 Volumen-% im Benzin (98/70/EG).

Auch in den kommenden Jahren werden die Emissionen noch weiter abnehmen, bedingt durch die stetige Erneuerung des Kfz-Bestands durch schadstoffarme Neufahrzeuge. Die Altfahrzeuge vor Euro 1 ohne bzw. mit bedingter Schadstoffminderung weisen zwar unverhältnismäßig hohe Emissionen auf, ihr Anteil am Pkw-Bestand nimmt jedoch kontinuierlich ab und betrug am 01.01.2008 nur noch 2,6 %. Die klimawirksamen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Emissionen des Verkehrs, die direkt mit dem Kraftstoffverbrauch zusammenhängen, haben nach Emissionsberechnungen [IFEU 2005]; [STALA 2009] ihr Maximum erreicht und zeigen seitdem einen allmählichen Rückgang. Damit kompensiert die bei den Fahrzeugen erzielte Verbrauchsminderung den weiteren Anstieg der Fahrleistung.

Die weitere Verminderung von Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen der Pkw wird in Europa auch in Zusammenhang mit der Klimadiskussion seit längerem angestrebt. In einer Selbstverpflichtung hatte sich die europäische Automobilindustrie bereiterklärt, bis 2008 einen Zielwert von 140 g CO<sub>2</sub>/km im Flottenmittel einzuhalten. Dieses Ziel wurde nicht erreicht. Im Jahr 2006 emittierten europäische Neuwagen im Mittel noch 159 g CO<sub>2</sub>/km. Derzeit befindet sich auf EU-Ebene ein Gesetzgebungsverfahren in Abstimmung mit dem Ziel, die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Pkw auf 130 g CO<sub>2</sub>/km zu begrenzen. Dabei soll eine gewichtsabhängige Grenzwertkurve eingeführt werden, um den unterschiedlichen Fahrzeugklassen Rechnung zu tragen. 130 g CO<sub>2</sub>/km entspricht einem durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von 4,9 l Diesel bzw. 5,6 l Benzin pro 100 km.

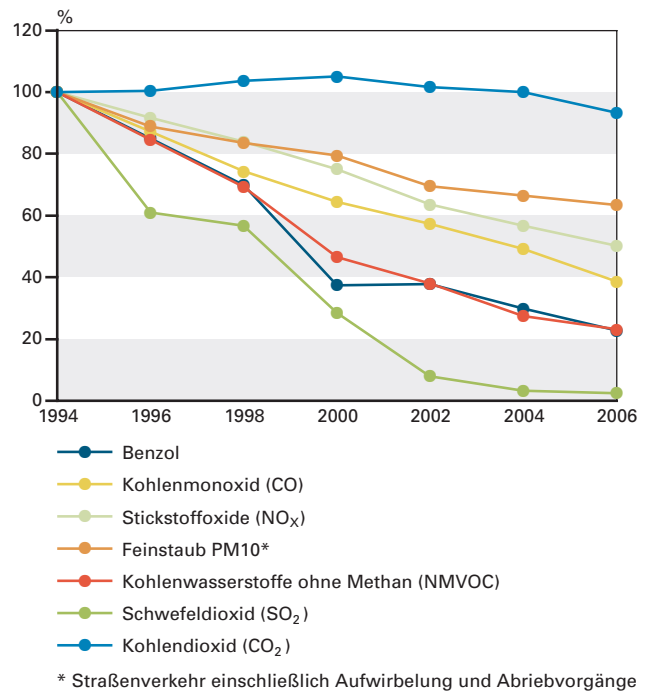


Abb. 4.2-8: Entwicklung der Verkehrsemissionen in Baden-Württemberg zwischen 1994 und 2006. Darstellung in Prozent des Wertes von 1994, alle Verkehrsbereiche. Quellen: LUBW, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

#### 4.2.2.3 ABGASGRENZWERTE FÜR KRAFTFAHRZEUGE

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

Die Abbildungen 4.2-9 und 4.2-10 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). Mit PM wird hier die Partikelmasse der Abgasemissionen bezeichnet.

Bei den Pkw liegen die ab September 2009 geltenden Grenzwerte Euro 5 je nach Komponente zwischen 68 % und 97 % niedriger als die Grenzwerte der 1992 eingeführten Stufe Euro 1 (Abb. 4.2-9). Mit den Minderungsstufen Euro 5 und Euro 6 werden bei den Diesel-Pkw die Grenzwerte für Stickstoffoxide von 250 mg/km (Euro 4) auf 180 mg/km (Euro 5) bzw. 80 mg/km (Euro 6) reduziert. Bei den Partikelemissionen erfolgt eine Reduzierung von 25 mg/km bei Euro 4 auf 5 mg/km bei Euro 5 und 6.

Die meisten Diesel-Pkw-Neufahrzeuge verfügen heute

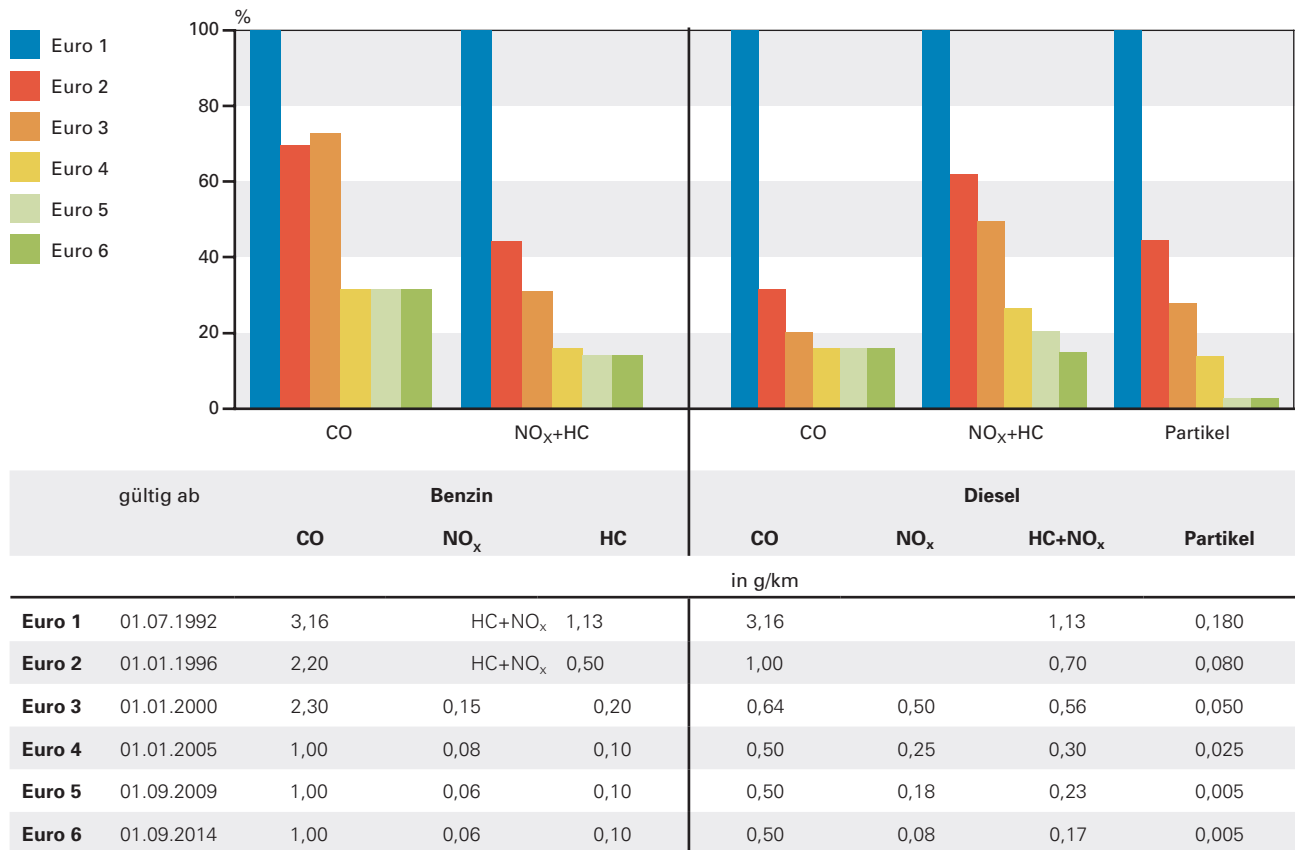


Abb. 4.2-9: Entwicklung der europäischen Abgasgrenzwerte für Otto- und Diesel-Pkw. Abgasgrenzwerte in g/km. Quelle: EU, Umweltbundesamt

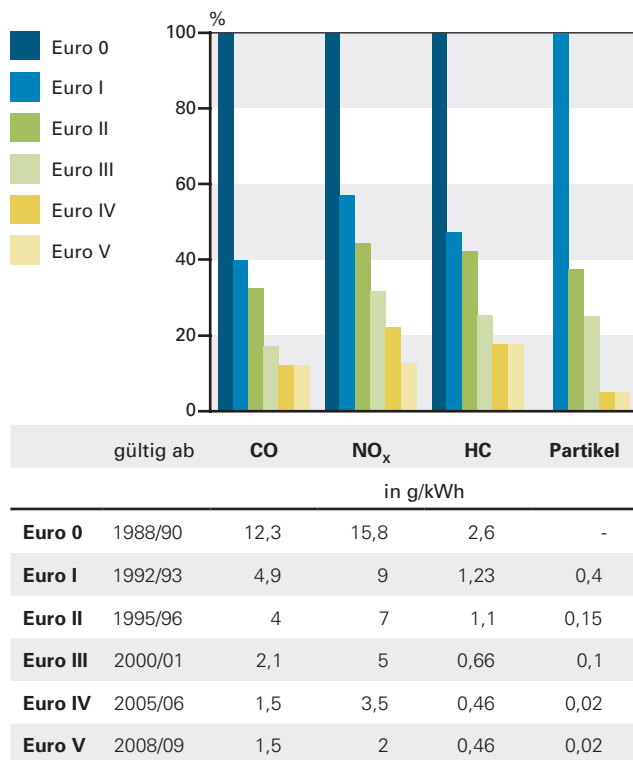


Abb. 4.2-10: Entwicklung der europäischen Abgasgrenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge über 3,5 t Gesamtgewicht. Abgasgrenzwerte in g/kWh. Quelle: EU, Umweltbundesamt

über einen Partikelfilter. Auch die Nachrüstung von Dieselfahrzeugen mit Rußfiltern wird – wenn auch in begren-

tem Umfang – wahrgenommen. Insgesamt trägt diese Entwicklung zu einer deutlichen Minderung der Partikel- und Dieselrußemissionen des Straßenverkehrs bei.

Bei Lkw und Bussen sind mit der ab Oktober 2008/2009 geltenden Stufe Euro V die Grenzwerte gegenüber Euro I um 82 % bis 88 %, bei Partikeln sogar um 95 % abgesenkt worden (Abb. 4.2-10). Die Vorgaben der Euro IV und – mit weiter verschärften NO<sub>x</sub>-Grenzwerten – der Euro V bedingen eine Abgasnachbehandlung, die von den meisten Herstellern mit motorinterner Partikelreduktion und SCR-Systemen zur katalytischen NO<sub>x</sub>-Minderung umgesetzt werden. Erst mit der geplanten Stufe EURO VI soll der Partikelgrenzwert so weit abgesenkt werden, dass zur Einhaltung Partikelfilter notwendig werden.




#### 4.2.2.4 UMWELTZONEN UND FILTERNACHRÜSTUNG

In Baden-Württemberg wurden durch die Regierungspräsidien in Zusammenarbeit mit den Städten und Gemeinden bislang 18 Luftreinhalte-/ Aktionspläne erarbeitet, die Maßnahmen für eine bessere Luftqualität beinhalten. Dazu gehört unter anderem auch die Ausweisung von Umweltzonen, verbunden mit Fahrverboten für Fahrzeuge mit hohem Schadstoffausstoß.



In 8 Städten und Gemeinden gelten seit dem 01.03.2008 Fahrverbote in Umweltzonen (Stuttgart, Mannheim, Schwäbisch Gmünd, Leonberg, Ludwigsburg, Ilsfeld, Tübingen und Reutlingen), in Pleidelsheim gibt es seit dem 01.07.2008 eine Umweltzone. Zum 01.01.2009 wurden in Karlsruhe, Pforzheim, Mühlacker, Heilbronn, Herrenberg und Ulm Umweltzonen eingerichtet, zum 01.01.2010 werden voraussichtlich Freiburg, Heidelberg und Pfinztal folgen.

Tab. 4.2-3: Einstufung der Kraftfahrzeuge in Schadstoffgruppen gemäß der 35. BImSchV

Schadstoffgruppe	1	2	3	4
Plakette	keine Plakette			
Diesel	EURO 1 oder schlechter	EURO 2	EURO 3	EURO 4
Benziner	ohne geregelten Katalysator	EURO 1 mit Partikelfilter	EURO 2 mit Partikelfilter	EURO 3 mit Partikelfilter
				mit geregelten Katalysator

Gemäß der Kennzeichnungsverordnung (35. BImSchV) erhalten Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 (Ottomotor-Pkw ohne geregelten Katalysator, Diesel-Pkw sowie leichte und schwere Nutzfahrzeuge mit der Abgasnorm EURO 1 oder schlechter) keine Plakette und sind damit vom Fahrverbot in den genannten Umweltzonen betroffen. Für Fahrzeuge der Schadstoffgruppe 2 (rote Plakette, Diesel-Pkw sowie leichte und schwere Nutzfahrzeuge mit der Abgasnorm EURO 2) ist ab dem Jahr 2012 ein Fahrverbot in den Umweltzonen in Baden-Württemberg geplant.

Für Dieselfahrzeuge kann durch nachträglichen Einbau eines Partikelfilters eine Einstufung in die nächst höhere Schadstoffgruppe erreicht werden. Zum Jahresende 2008 waren landesweit in Baden-Württemberg über 76 000

Nachrüstsätze eingebaut worden. Bei einer Million Diesel-Pkw ohne Partikelfilter besteht jedoch noch erhebliches Potenzial. Der nachträgliche Einbau eines Partikelfilters wird noch bis Ende 2009 mit einem Steuerbonus von 330 Euro gefördert. Insgesamt waren Ende des Jahres 2008 in Baden-Württemberg rund 40 Prozent der Diesel-Pkw mit einem Partikelfiltersystem ausgestattet.

#### 4.2.3 SCHIFFS-, SCHIENEN- UND FLUGVERKEHR

Die Emissionen der sonstigen, nicht straßengebundenen Verkehrsträger sind zur besseren Vergleichbarkeit in Tabelle 4.2-4 zusammengestellt.

##### 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 mehreren Komponenten im Vergleich der Verkehrsträger nach dem Straßenverkehr an zweiter Stelle, mit einem Anteil von 1,7 % beim Kraftstoffverbrauch und zwischen 1,6 % und 21,6 % bei den Emissionen. 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 2006 (Tab. 4.2-4 und Tab. 4.2-1) ergibt sich bezogen auf den Kraftstoffverbrauch eine deutlich überproportionale Emission von Schwefeldioxid, bedingt durch Kraftstoffe mit höherem Schwefelanteil. Auch die Stickstoffoxidemission pro Liter Kraftstoff liegt 4-fach über der des Straßenverkehrs, zurückzuführen ist dies auf die leistungsstarken Dieselmotoren der Güterschifffahrt. Dagegen sind die Sportboote – überwiegend mit Benzinmotoren – nur gering am Kraftstoffverbrauch beteiligt, tragen aber erheblich zu den CO- und NMVOC-Emissionen bei.

Tab. 4.2-4: Kraftstoffverbrauch (KV) und Schadstoffemissionen des Schiffsverkehrs, des Bahnverkehrs mit Dieselantrieb und des bodennahen Flugverkehrs in Baden-Württemberg im Bezugsjahr 2006 in t/a. Stand: 2009

	KV	NO <sub>x</sub>	PM10	NMVOC	CO	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Schiffsverkehr <sup>1)</sup>	104 192	4 996	155	555	3 595	46	331 000
Bahn (Dieseltraktion) <sup>2)</sup>	55 323	2 965	34	91	848	10	176 000
Flugverkehr <sup>3)</sup>	70 980	1 151	35	388	8 338	62	224 000

<sup>1)</sup> einschließlich Schiffsverkehr auf Teilen des Bodensees und des Rheins, die nicht zu Baden-Württemberg zählen

<sup>2)</sup> einschließlich Dampfloks auf Museumbahnstrecken

<sup>3)</sup> Bodennaher Bereich bis ca. 1000 m (3.000 ft) Flughöhe: Start- und Landephasen, Bewegungen am Boden und Platzrunden.



Die zeitliche Entwicklung von Kraftstoffverbrauch und ausgewählten Emissionen lässt bei der Schifffahrt zwischen 1998 und 2006 einen Rückgang um 30 % bis 38 % erkennen (Tab. 4.2-5).

Tab. 4.2-5: Entwicklung von Kraftstoffverbrauch und Stickstoffoxid-/Feinstaubemissionen des Schiffsverkehrs in Baden-Württemberg von 1998 bis 2006 in t/a. Stand: 2009

Schiffsverkehr	1998	2002	2006
Kraftstoffverbrauch	149 498	113 182	104 192
NO <sub>x</sub>	8 135	5 335	4 996
PM10	248	183	155

LUBW

#### 4.2.3.2 SCHIENENVERKEHR

Das Schienennetz in Baden-Württemberg hatte 2008 eine Streckenlänge von insgesamt 4 320 km. Davon entfallen rund 3 400 km auf die Deutsche Bahn AG, die übrigen Strecken werden von mehreren nicht bundeseigenen Eisenbahngesellschaften (NE-Bahnen) betrieben. Die Länge der nicht elektrifizierten Abschnitte lag 2008 bei 2 230 km. Aufgrund von Änderungen im rechtlichen Status einzelner Strecken hat sich das Streckennetz gegenüber der letzten Erhebung verändert. So zählen nun auch Hafenbahnen und Museumsbahnen zu den Eisenbahnen des öffentlichen Verkehrs.

Aus Emissionssicht von Interesse ist der Betrieb von Dieselloks, Dieseltriebwagen und vereinzelt auch Dampfloks. Ebenfalls berücksichtigt wird der Rangierbetrieb mit Dieselloks. Die Luftschadstoffemissionen des dieselgetriebenen Schienenverkehrs entlang der Trassen und im Bereich großflächiger Gleisanlagen (Rangier- und Umschlagbahnhöfe) für das Bezugsjahr 2006 zeigt Tab. 4.2-6. Der Anteil des Schienenverkehrs am gesamten Verkehrssektor (Tab. 4.2-1) beträgt beim Kraftstoffverbrauch 0,9 %, bei den Emissionen zwischen 0,2 % (Benzol) und 4,7 % (SO<sub>2</sub>); der Beitrag zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen ist – ähnlich wie beim Schiffsverkehr – mit 4,0 % überproportional hoch.

Streckenverkehr und Rangierverkehr tragen in ähnlichen

Größenordnungen zum Kraftstoffverbrauch und zu den meisten Emissionen bei.

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 mit Ruß und Abgasen von Dieselloks kommen. Insgesamt ist die Belastung aber deutlich rückläufig: Die zeitliche Entwicklung von Kraftstoffverbrauch und ausgewählten Emissionen (Tab. 4.2-7) zeigt beim dieselgetriebenen Schienenverkehr zwischen 1998 und 2006 einen Rückgang um 34 % bis 39 %, beim Feinstaub sogar um mehr als 80 %.

Tab. 4.2-7: Entwicklung von Kraftstoffverbrauch und Stickstoffoxid-/Feinstaubemissionen des dieselbetriebenen Schienenverkehrs in Baden-Württemberg von 1998 bis 2006 in t/a. Stand: 2009

Bahn (Dieseltraktion)	1998	2002	2006
Kraftstoffverbrauch	84 288	61 190	55 323
NO <sub>x</sub>	4 840	3 263	2 965
PM10	189	48	34

LUBW

#### 4.2.3.3 FLUGVERKEHR

Der Flugverkehr zeichnet sich durch eine weiterhin hohe Wachstumsdynamik aus (Abb. 4.2-11). Auf dem Flughafen Stuttgart wurde im Jahr 2007 mit über 10,3 Mio. Fluggästen ein neuer Höchstwert erreicht. Auf den Regionalflughäfen Friedrichshafen und Baden Airport haben die Fluggastzahlen auf 0,66 Mio. bzw. 0,98 Mio. im Jahr 2007 zugenommen. Beim Flughafen Karlsruhe / Baden-Baden (Baden Airport) lag der Zuwachs des Passagieraufkommens in den Jahren 2006 und 2007 jeweils bei 17 %.

Für die Berechnung der Emissionen des bodennahen Flugverkehrs in Baden-Württemberg wurden der Flughafen Stuttgart, die beiden Regionalflughäfen Friedrichshafen und Karlsruhe / Baden-Baden (Baden Airport), 116 Flug- und Segelflugplätze sowie 30 Hubschrauberlandeplätze

Tab. 4.2-6: Kraftstoffverbrauch (KV) und Schadstoffemissionen des dieselbetriebenen Schienenverkehrs in Baden-Württemberg 2006 in t/a. Stand: 2009

	KV	NO <sub>x</sub>	PM10	NMVOC	CO	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Streckenverkehr	29 855	1 384	24	80	234	8	95 000
Rangierdienst	25 468	1 581	10	11	614	2	81 000
Summe	55 323	2 965	34	91	848	10	176 000

LUBW

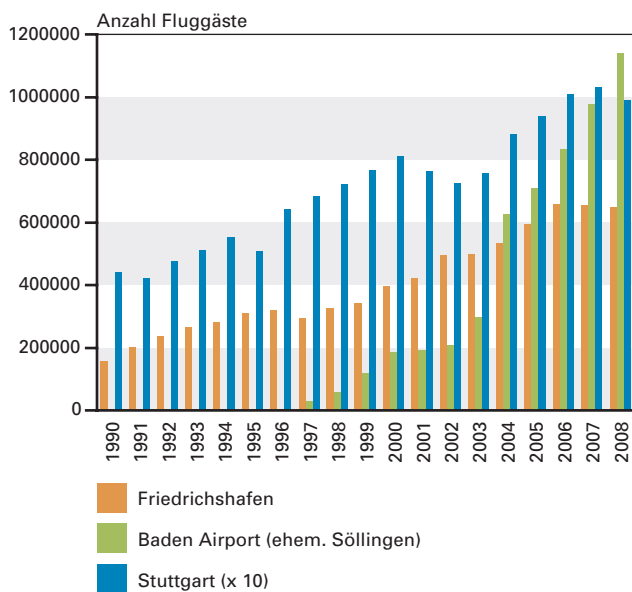


Abb. 4.2-11: Fluggastzahlen auf den Flughäfen Baden-Württembergs 1990 bis 2007. Quelle: Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (ADV) 2009

berücksichtigt (Tab. 4.2-8). Eine Erhebung der Emissionen des Flugverkehrs in Höhen über 1 000 m steht für Baden-Württemberg nicht zur Verfügung. Gleichwohl ist bekannt, dass solche Emissionen zur überregionalen Schadstoffbelastung und damit zu Prozessen wie etwa der europaweiten Ozonbildung und dem Treibhauseffekt beitragen. Grenznahe Flughäfen in den Nachbarländern wie etwa Zürich-Kloten, Basel oder Straßburg werden nicht erfasst; ihre Flugbewegungen leisten bei Überflügen über Baden-Württemberg einen Beitrag zu den Emissionen in größerer Höhe.

Der Flughafen Stuttgart ist die maßgebliche Emissionsquelle des Flugverkehrs im Land. Im Bezugsjahr 2006 lag sein Anteil am Kraftstoffverbrauch sowie an den SO<sub>2</sub>- und Partikelemissionen bei jeweils etwa 80 % des gesamten bodennahen Flugverkehrs, bei NO<sub>x</sub> sogar bei 86 %. Demgegenüber betrug der Emissionsanteil bei den Kohlenwasserstoffen (NMVOC) lediglich 42 % und bei CO nur 11 %, da diese

Komponenten hauptsächlich von den ein- und zweimotorigen Propellermaschinen emittiert werden.

Als Folge des dynamischen Wachstums beim Flugverkehr ist auch eine erhebliche Zunahme bei Kraftstoffverbrauch und Emissionen zu verzeichnen. Im Zeitraum von 1998 bis 2006 haben der Kraftstoffverbrauch des gesamten Flugverkehrs um 61 % und die Stickstoffoxidemissionen um 32 % zugenommen (Tab. 4.2-9).

Tab. 4.2-9: Entwicklung von Kraftstoffverbrauch und Stickstoffoxid-/Feinstaubemissionen des bodennahen Flugverkehrs in Baden-Württemberg von 1998 bis 2006 in t/a. Stand: 2009

Flugverkehr	1998	2002	2006
Kraftstoffverbrauch	44 155	61 229	70 980
NO <sub>x</sub>	874	994	1 151
PM10	-	31	35

LUBW

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

mehr Informationen zu Verkehr, Luftqualität und Emissionskataster im Internet-Themenportal ‚Luff‘ der LUBW: [www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen: [www.adv.aero](http://www.adv.aero)

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg: [www.statistik.baden-wuerttemberg.de](http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de)

Tab. 4.2-8: Kraftstoffverbrauch (KV) und Schadstoffemissionen des bodennahen Flugverkehrs in Baden-Württemberg 2006 in t/a. Erfasst sind die Emissionen im bodennahen Bereich bis ca. 1 000 m Höhe (3.000 ft). Stand: 2009

	KV	NO <sub>x</sub>	PM10	NMVOC	CO	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Stuttgart	56 112	994	28	162	893	49	177 000
Baden Airport	5 103	81	3	42	782	4	16 000
Friedrichshafen	1 423	17	1	16	325	1	4 000
Sonstige Verkehrslandeplätze	8 342	59	4	169	6 338	7	26 000
Summe (B.-W. gesamt)	70 980	1 151	35	388	8 338	62	224 000

LUBW

## 4.3 IMMISSIONEN

In den letzten Jahrzehnten konnten durch zahlreiche Maßnahmen bei Anlagen und Produkten bei bestimmten Luftschadstoffen wie z. B. Schwefeldioxid und Benzol deutliche Verbesserungen erzielt werden. Bei anderen Luftschadstoffen besteht jedoch weiterhin Handlungsbedarf. Die lufthygienische Situation in Baden-Württemberg weist derzeit noch folgende wesentliche Problembereiche auf:

- erhöhte Konzentrationen von Feinstaub PM<sub>10</sub> und Stickstoffdioxid in den Städten, meist aber lokal begrenzt und straßennah (sogenannte Spots),
- Episoden landesweit erhöhter Feinstaub PM<sub>10</sub>-Konzentration in den Wintermonaten
- Überschreitung von Schwellenwerten der sommerlichen Ozonkonzentrationen
- flächenhaft hohe Ablagerungen (Deposition) von versauernden und eutrophierenden Luftschadstoffen in empfindlichen Ökosystemen

### 4.3.1 LUFTQUALITÄT IN BADEN-WÜRTTEMBERG

#### 4.3.1.1 ÜBERWACHUNG DER LUFTQUALITÄT

Kernstück der Luftüberwachung in Baden-Württemberg ist ein stationäres, kontinuierlich messendes Luftmessnetz.

Die Anzahl und die räumliche Anordnung der Messstellen richten sich nach den Vorgaben und Anforderungen der 22. und 33. BImSchV. Das Luftmessnetz umfasst zahlreiche Stationen in Siedlungsgebieten, im ländlichen Hintergrund. Es wird durch innerstädtische Verkehrsstationen ergänzt (Abb. 4.3-1). Dieses Messnetz dient der Langzeitüberwachung von Luftverunreinigungen. Die über viele Jahre durchgeführten kontinuierlichen Messungen erlauben Aussagen über die zeitliche Entwicklung der Luftbelastung (Trendanalysen).

Die zur Überwachung der Luftqualität betriebenen Messstationen werden gemäß der EU-Richtlinie 97/101/EC in verschiedene Klassen eingeteilt, die sich an der Besiedlungsdichte und der Luftbelastung am Messort orientieren. Für alle in den folgenden Kapiteln durchgeführten Auswertungen werden die Messstationen des Landesmessnetzes nach den Klassen der EU-Richtlinie gruppiert.

Die Überwachung der Luftqualität im Land wird ergänzt durch zeitlich befristete Messungen an stark befahrenen Straßen in Ortsgebieten (sogenannte Spotmessungen). Ein Messnetz zur Erfassung der Deposition ergänzt das Luftmessnetz.



Abb. 4.3-1: Luftmessnetz. Stand: 2009

#### 4.3.1.2 BEURTEILUNG DER LUFTQUALITÄT

Die neue EU-Richtlinie „über die Luftqualität und saubere Luft für Europa“ (2008/50/EG) ist ein Bestandteil der Strategie zur Luftreinhaltung, die von der EU-Kommission im September 2005 vorgestellt wurde. In der Richtlinie wurde die Luftqualitäts-Richtlinie (96/62/EG) ihrer ersten (1999/30/EG), zweiten (2000/69/EG) und dritten Tochterrichtlinie (2002/3/EG) sowie der Entscheidung des Rates über den „Austausch von Informationen von Luftqualitätsmessungen“ (97/101/EG) zu einer Richtlinie zusammengefasst. Die vierte Tochterrichtlinie (2004/107/EG), die Regelungen für die Schadstoffe Arsen, Cadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) beinhaltet, ist in der neuen EU-Luftqualitätsrichtlinie nicht enthalten. Die Umsetzung der EU-Luftqualitätsrichtlinie in deutsches Recht muss bis spätestens 11. Juni 2010 erfolgen. Derzeit gültige Rechtsgrundlage zur Beurteilung der Luftqualität sind die „Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft“ vom 4. Juni 2007 (22. BImSchV) sowie die „Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen“ vom 13. Juli 2004 (33. BImSchV).

Die Beurteilungswerte für die einzelnen Schadstoffe sind in den nachfolgenden Kapiteln zu finden.

#### 4.3.1.3 LUFTQUALITÄTSINDIZES

Zur Charakterisierung der Luftqualität verwendet das Land Baden-Württemberg zwei Indexzahlen. Sie bewerten die kurzfristigen und die langfristigen Wirkungen entsprechend dem Schulnotensystem.

##### KURZZEIT-LUFTQUALITÄTSINDEX LUQX

Der Kurzzeit-LuftQualitätsindex LuQx ist ein tagesaktueller Indikator für die Luftqualität, der die Kurzzeitwirkung von Luftschadstoffen auf die Gesundheit des Menschen berücksichtigt. Der LuQx umfasst die fünf wesentlichen Komponenten der Gesamtbelastung mit Luftverunreinigungen: Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Kohlenmonoxid (CO), Ozon (O<sub>3</sub>) und Feinstaub PM10. Die Indexklassen sind nach einem Notensystem in die Klassen 1 („sehr gut“) bis 6 („sehr schlecht“) eingeteilt.

Jede Komponente der Luftverunreinigung wird entsprechend ihrem aktuell gemessenen Luftkonzentrationswert in eine der sechs Indexklassen eingestuft. Die Indexwerte der Schadstoffe werden miteinander verglichen; der höchste dabei ermittelte Indexwert wird als Luftqualitätsindex definiert. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass die Luftqualität von dem Schadstoff bestimmt wird, der den höchsten Indexwert aufweist. Veröffentlicht werden der ganzzahlige Indexwert und der Schadstoff, der zu diesem höchsten Indexwert geführt hat.

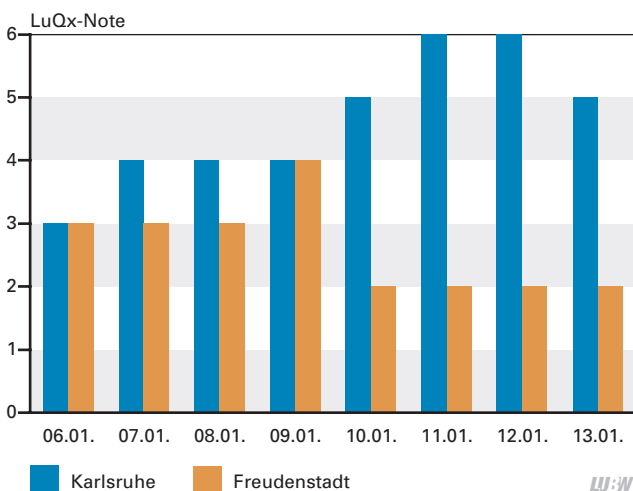


Abb.4.3-2: Beispiel für den Verlauf des Kurzzeit-Luftqualitätsindex LuQx in Karlsruhe und Freudenstadt während der Feinstaubepisode im Januar 2009. Stand: 2009

##### LANGZEIT-LUFTQUALITÄTSINDEX LAQX

Der Langzeit-LuftQualitätsindex LaQx ist ein Indikator zur Charakterisierung der durchschnittlichen Luftqualität eines Jahres. Er fasst die fünf Komponenten NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Feinstaub PM10, Ozon und Benzol zusammen und berücksichtigt deren spezifische Wirkungen auf den Menschen. Die Bewertung erfolgt im Schulnotensystem von 1 („sehr gut“) bis 6 („sehr schlecht“).

Der LaQx berücksichtigt sowohl Erkenntnisse über die Langzeitwirkungen der Luftschadstoffe auf die menschliche Gesundheit, als auch die Grenz- und Richtwerte der EU-Gesetzgebung. Als zusammenfassende Kenngröße erlaubt der LaQx eine Bewertung der langfristigen Luftqualität. Damit ist der LaQx für die Information der Bevölkerung ebenso geeignet wie für längerfristige Planungen und die Dokumentation der zeitlichen Entwicklung.

Für die im Index erfassten Substanzen wurden Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen ausgearbeitet. Dabei wurden hauptsächlich epidemiologische Daten zugrunde gelegt. Die Hauptvorteile des Langzeit-Luftqualitätsindex LaQx bestehen darin, dass er

- Informationen zur gesundheitlichen Wirkung der Einzelsubstanz auch oberhalb und unterhalb der Richt- und Grenzwerte berücksichtigt,
- die epidemiologischen Erkenntnisse zu Kombinationswirkungen angemessen und wissenschaftlich nachvollziehbar berücksichtigt und dennoch eine „einfache“ Information darstellt,
- die Wechselbeziehungen zwischen Kurzzeitbelastung und Langzeitbelastung in die Bewertung einbezieht.

Die Berechnung des Langzeit-Luftqualitätsindex LaQx erfolgt in drei Schritten:

- Indexprägende Substanz: Der Einzelstoff mit der höchsten schlechtesten Note prägt den LaQx und damit die Aussage zur Luftqualität.
- Modifikatoren: Falls andere Komponenten ähnlich hohe Werte haben wie die indexprägende Substanz, führt dies zu einer Erhöhung des Indexwerts für die Luftqualität.
- Kurzzeitbelastungen: In der Bewertung der langfristigen Luftqualität müssen auch häufig auftretende kurzzeitige höhere Belastungen berücksichtigt werden, selbst wenn die entsprechende Substanz im Jahresdurchschnitt geringe Konzentrationen aufweist, wie z. B. Ozon.

Die beiden Indizes haben unterschiedliche Zielsetzungen: Der Kurzzeit-Luftqualitätsindex LuQx dient der Risikokommunikation. Er soll Personen oder Bevölkerungsgruppen, die gegenüber Luftschadstoffen empfindlich sind, helfen, ihr persönliches Verhalten tagesaktuell der Luftqualität anzupassen. Der Langzeit-Luftqualitätsindex LaQx eignet sich zur langfristigen Bewertung der Luftqualität, für Prognosen und Planungszwecke.

In Baden-Württemberg zeigt der jahresbezogene Luftqualitätsindex LaQx eine deutlich erkennbare räumliche Differenzierung der Luftqualität (Abb. 4.3-3).

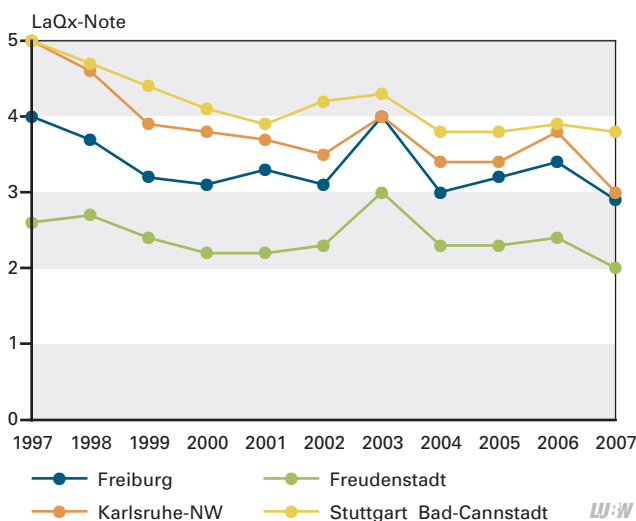


Abb. 4.3-3: Entwicklung des Langzeit-Luftqualitätsindex LaQx an drei Stationen in Großstädten und an einer Hintergrundstation (Freudenstadt). Stand: 2009

#### 4.3.2 STICKSTOFFOXIDE

##### ENTSTEHUNG UND WIRKUNG

Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) entstehen bei Verbrennungsprozessen unter hohen Temperaturen. Während des Verbrennungsprozesses entsteht überwiegend NO, das in der Atmosphäre mit Sauerstoff zu NO<sub>2</sub> oxidiert wird. NO<sub>x</sub> tragen durch die langfristige Umwandlung in Nitrat zur Überdü-

ngung der Böden bei. Durch Ferntransporte ist diese auch in großer Entfernung von Emittenten festzustellen. Über die Umwandlung zu Salpetersäure leisten NO<sub>x</sub> einen Beitrag zum „sauren Regen“. NO<sub>2</sub> ist einer der Grundbausteine für die Bildung von bodennahem Ozon und anderen Photooxidantien.

##### BEURTEILUNGSWERTE

In Tabelle 4.3-1 sind die Immissionsgrenzwerte der 22. BImSchV sowie der EU-Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG für NO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> zusammengefasst.

Für Stickstoffdioxid als Jahresmittelwert gilt bis zum 01.01.2010 eine sich jährlich reduzierende Toleranzmarge. Die Summe aus Grenzwert plus Toleranzmarge für das Jahr 2008 beträgt 44 µg/m<sup>3</sup>. Die Auswertungen sind in den Abbildungen 4.3-4 bis 4.3-6 dargestellt.

Der Verlauf der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen (Abb. 4.3-4) zeigt in den Zentren der Ballungsräume und im städtischen Hintergrund eine schwach abnehmende Tendenz. Während es in den Jahren 1990 bis 1995 zu einer deutlichen Abnahme der Konzentrationen kam, nahmen die Konzentrationen nach einem leichten Anstieg bis 1997 nur noch geringfügig ab. An den Verkehrsmessstationen zeigen sich von Jahr zu Jahr leichte Schwankungen, die keinen eindeutigen Trend erkennen lassen.

Sowohl die Jahresmittelwerte von NO (Abb. 4.3-5) als auch die der NO<sub>x</sub> (Abb. 4.3-6) zeigten in Verkehrsnähe und im städtischen Gebiet eine deutlich abnehmende Tendenz. Der Rückgang liegt bei Stickstoffmonoxid zwischen 40 % und 50 %, bei Stickstoffoxiden zwischen 50 % und 65 %. Im ländlichen Hintergrund – in großer Entfernung zu Emittenten – bleiben die Konzentrationen über die Jahre gleichmäßig auf einem sehr niedrigen Niveau.

Tab. 4.3-1: Grenzwerte für Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>).

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Grenzwert	Bemerkungen	Gültigkeit	Richtlinie
Menschliche Gesundheit	Jahr	200 µg/m <sup>3</sup>	98-Prozent-Wert der Summenhäufigkeit der 1 Stunden-Mittelwerte	bis 31.12.2009	22. BImSchV
Menschliche Gesundheit	1 Stunde	200 µg/m <sup>3</sup>	bei 18 zulässigen Überschreitungen pro Kalenderjahr	ab 1.1.2010	22. BImSchV, LQR *
Menschliche Gesundheit	Jahr	40 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert	ab 1.1.2010	22. BImSchV, LQR *
Vegetation	Jahr	30 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert für NO <sub>x</sub>	seit 11.9.2002	22. BImSchV

\* LQR: Luftqualitätsrichtlinie, noch nicht in deutsches Recht umgesetzt



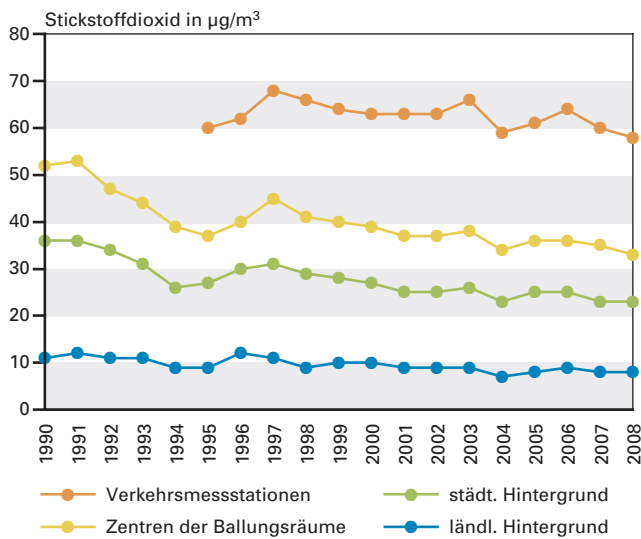


Abb. 4.3-4: Entwicklung der Jahresmittelwerte von NO<sub>2</sub> in Baden-Württemberg von 1990 bis 2008. Stand: 2009

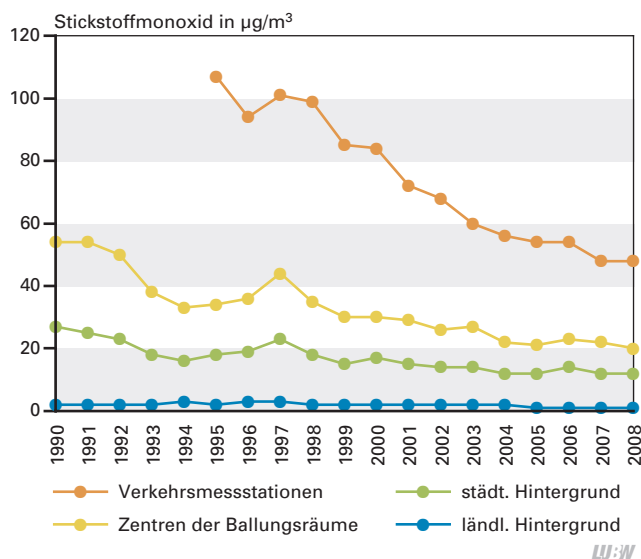


Abb. 4.3-5: Entwicklung der Jahresmittelwerte von NO in Baden-Württemberg von 1990 bis 2008. Stand: 2009

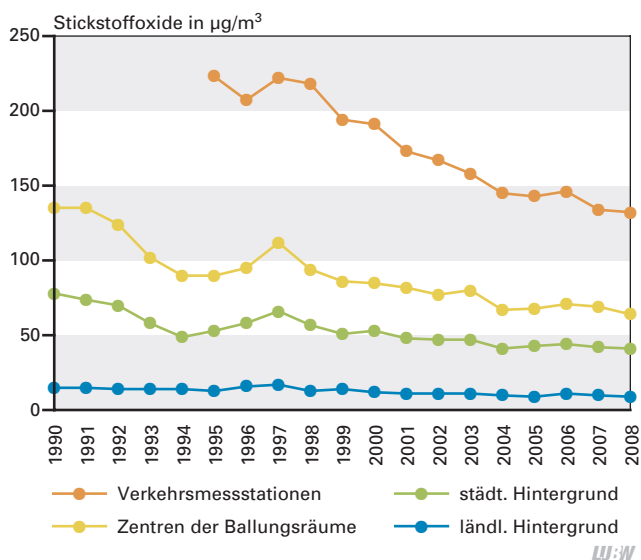


Abb. 4.3-6: Entwicklung der Jahresmittelwerte von NO<sub>x</sub> in Baden-Württemberg von 1990 bis 2008. Stand: 2009

### 4.3.3 FEINSTAUB

Als Feinstaub gelten alle festen und flüssigen Teilchen in der Außenluft, die nicht sofort zu Boden sinken, sondern – abhängig von der Teilchengröße – eine gewisse Zeit in der Atmosphäre verweilen. So können kleine Teilchen im Verlauf mehrerer Tage eine Distanz über einige tausend Kilometer überwinden. Ein bekanntes Beispiel ist der Saharastaub [UBA 2005b].

Feinstaub oder das atmosphärische Aerosol bezeichnet man in der Wissenschaft international als Particulate Matter (PM). Die Größe der Staubteilchen – der sogenannten Partikel – und ihre chemische Zusammensetzung bestimmen die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Feinstaubes. Für die gesundheitliche Bewertung ist insbesondere die Partikelgröße von Bedeutung. Die Staubpartikel lassen sich nach der Größe in drei Fraktionen einteilen (Tab. 4.3-2).

Für die menschliche Gesundheit sind vor allem ultrafeine Partikel und Partikel < 2,5 µm relevant. Diese Partikel können bis weit in den Organismus eindringen und sich auf den Atemtrakt und auf das Herz-Kreislauf-System auswirken [ÄRZTEBLATT 2007].

Bei der Messung von Feinstaub PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> wird das Abscheideverhalten der oberen Atemwege nachempfunden. Dafür sind spezielle Probenahmesysteme erforderlich, die größere Teilchen weitgehend abtrennen.

Neben der direkten Emission von Feinstaub (primäre Aerosole) entstehen Partikel auch in der Atmosphäre durch chemische Reaktionen aus gasförmigen Vorläufersubstanzen, wie z. B. Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid- und Ammoniakemissionen. Diese Partikel werden als sekundäre Aerosole bezeichnet.

Feinstäube entstehen u. a. bei industriellen Prozessen, durch Verkehr und Feuerungsanlagen (inkl. Kleinfeuerungsanlagen). Unter den natürlichen Quellen sind die Bodenerosion, Meere, Waldbrände sowie biogenes Material wie Pollen und Sporen zu nennen.

Tab. 4.3-2: Partikelfractionen des Schwebstaubs.

	Partikel kleiner als
Ultrafeine Partikel	0,1 µm
Lungengängiger Feinstaub PM <sub>2,5</sub>	2,5 µm*
Inhalierbarer Feinstaub PM <sub>10</sub>	10 µm*

\* Partikel, die einen größenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % hat (nach EN 12341), dies gilt entsprechend für Feinstaub PM<sub>2,5</sub>

Tab. 4.3-3: Grenzwerte für Feinstaub PM10 der 22. BImSchV und der EU-Luftqualitätsrichtlinie.

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Grenzwert	Bemerkungen	Gültigkeit	Richtlinie
Menschliche Gesundheit	24 Stunden	50 µg/m <sup>3</sup>	bei 35 zulässigen Überschreitungen pro Kalenderjahr	seit 1.1.2005	22. BImSchV, LQR *
Menschliche Gesundheit	Kalenderjahr	40 µg/m <sup>3</sup>		seit 1.1.2005	22. BImSchV, LQR *

\* LQR: EU-Luftqualitätsrichtlinie, noch nicht in deutsches Recht umgesetzt

Tab. 4.3-4: Ziel- und Grenzwerte für Feinstaub PM2,5 der EU-Luftqualitätsrichtlinie.

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Grenzwert	Bemerkungen	Gültigkeit	Richtlinie
Menschliche Gesundheit	Kalenderjahr	25 µg/m <sup>3</sup>	Zielwert	ab 1.1.2010	LQR *
Menschliche Gesundheit	Kalenderjahr	25 µg/m <sup>3</sup>	Grenzwert	ab 1.1.2015	LQR *
Menschliche Gesundheit	Kalenderjahr	20 µg/m <sup>3</sup>	Richtgrenzwert	ab 1.1.2020	LQR *

\* LQR: EU-Luftqualitätsrichtlinie, noch nicht in deutsches Recht umgesetzt

In der 22. BImSchV sind Grenzwerte zur Beurteilung von Feinstaub PM10 festgelegt (Tab. 4.3-3). Die neue EU-Luftqualitätsrichtlinie (LQR) enthält erstmals auch Ziel- und Grenzwerte für Feinstaub der Fraktion PM2,5. Diese sind in Tabelle 4.3-4 zusammengefasst.

#### 4.3.3.1 FEINSTAUB PM10

Erhöhte Konzentrationen von Feinstaub PM10 treten in der Regel in der Nähe von Emittenten, d. h. in Straßennähe auf. Diese kleinräumig erhöhte Belastung wird im Rahmen des Spotmessprogramms (vgl. Kap. 4.3.9) erfasst. Großflächig werden erhöhte Feinstaub PM10-Konzentrationen im Winter bei austauscharmen Wetterlagen beobachtet. Feinstaub PM10 wird seit 1999 in Baden-Württemberg ge-

messen. Überschreitungen des Grenzwertes für den Jahresmittelwert von Feinstaub PM10 von 40 µg/m<sup>3</sup> traten in dieser Zeit an den Luftmessstationen nicht auf.

Die Entwicklung der Konzentrationen des Jahresmittelwertes ist in Abbildungen 4.3-7 dargestellt. Deutlich ist die Differenzierung zwischen den Klassen zu erkennen. An den Verkehrsmessstationen liegen die Konzentrationen etwa 10 µg/m<sup>3</sup> über denen im „städtischen Hintergrund“. An den Hintergrundstationen liegen die Konzentrationen zwischen 1999 und 2008 im Bereich von 15 µg/m<sup>3</sup> und damit noch einmal 10 µg/m<sup>3</sup> unter denen im städtischen Hintergrund von 20 µg/m<sup>3</sup> bis 25 µg/m<sup>3</sup>.

Im betrachteten Zeitraum ist bei keiner der Klassen ein eindeutiger zeitlicher Trend zu erkennen. Vielmehr sind die Jahre 1999, 2003 und 2006 durch allgemein höhere Konzentrationen gekennzeichnet. In den Jahren 2003 und 2006 traten zahlreiche Situationen mit Inversionswetterlagen auf. Das Jahr 2008 war durch das Fehlen langzeitiger austauscharmer Wetterlagen gekennzeichnet.

In der 22. BImSchV wird für den Tagesmittelwert ein Grenzwert von 50 µg/m<sup>3</sup> bei zugelassenen 35 Tagen mit Überschreitungen pro Jahr definiert.

In Abbildung 4.3-8 ist die Anzahl der Überschreitungen an den Verkehrsmessstationen in den Jahren 2002 bis 2008 dargestellt. An den Stationen ‚Stuttgart-Mitte-Straße‘ und ‚Mannheim-Straße‘ traten in allen Jahren von 2002 bis 2006 Überschreitungen des Grenzwertes auf. An der Station ‚Freiburg-Straße‘ blieb die Anzahl der Tage mit Werten über 50 µg/m<sup>3</sup> im Messzeitraum stets unter der zulässigen Überschreitungszahl von 35.

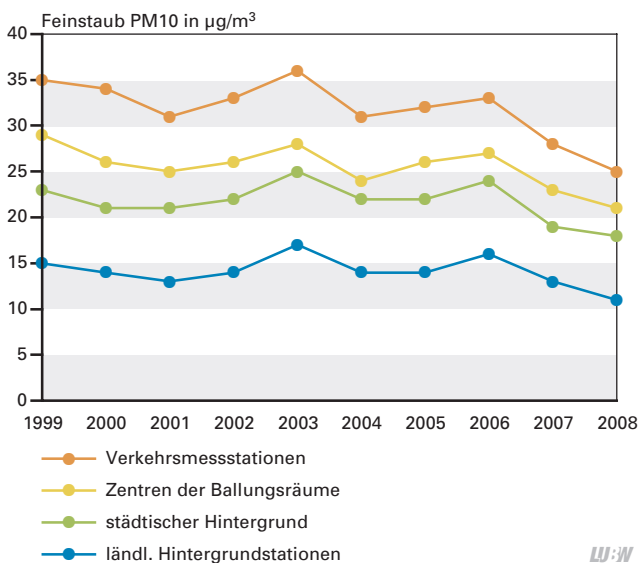


Abb. 4.3-7: Entwicklung der Immissionen von Feinstaub PM10 im Zeitraum 1999 bis 2008 an den Messstationen in Baden-Württemberg. Stand: 2009

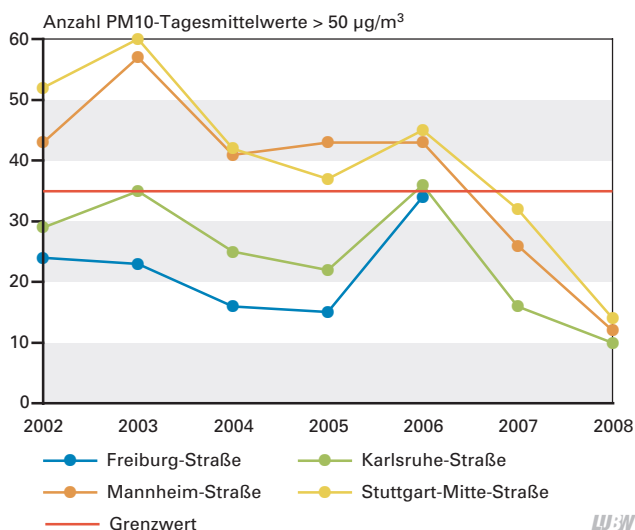


Abb. 4.3-8: Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg/m³ bei Feinstaub PM10 an den Verkehrsmessstationen in Baden-Württemberg im Zeitraum 2000 bis 2008. Stand: 2009

#### 4.3.3.2 FEINSTAUB PM2,5

Mit der Festlegung von Ziel- und Grenzwerten für Feinstaub PM2,5 durch die EU gewinnen diese Messungen zukünftig an Bedeutung. Bereits in der Vergangenheit wurde an einzelnen Messstationen Feinstaub PM2,5 gemessen. Die ersten vollständigen Jahreskollektive wurden 2004 an den Stationen ‚Schwarzwald Süd‘ und ‚Mannheim-Nord‘ erfasst. Im Jahr 2006 kamen weitere Stationen dazu und entsprechend den Vorgaben der Luftqualitätsrichtlinie (2008/50/EG) werden bis 2010 die Hälfte der Stationen zur Messung vom PM10 mit Messgeräten zur Bestimmung von Feinstaub PM2,5 ausgestattet sein.

Tab. 4.3-5: Jahresmittelwerte der Immissionen von Feinstaub PM2,5 an den Messstationen in Baden-Württemberg im Zeitraum 2004 bis 2008. Angaben in µg/m³. Stand: 2009

	2004	2005	2006	2007	2008
Freiburg-Mitte					10
Freiburg-Strasse			14		
Freiburg-Schwarzwaldstrasse				18	15
Karlsruhe-Nordwest			18	14	13
Karlsruhe-Strasse			20	17	15
Mannheim-Nord	18	18	18	16	14
Mannheim-Strasse			21	17	15
Schwarzwald Süd	7	8	8	8	6
Stuttgart-Bad Cannstatt			20	16	14
Stuttgart-Am Neckartor			32	27	24
Stuttgart-Mitte-Strasse			22	17	17

In Tabelle 4.3-5 sind die Ergebnisse der Messungen von 2004 bis 2008 zusammengefasst.

Der ab 2010 gültige Zielwert von 25 µg/m³ wurde in den Jahren 2006 und 2007 an der Station ‚Stuttgart-Am Neckartor‘ nicht erreicht. An den übrigen Messstellen lagen die Jahresmittelwerte bisher stets unter dem zukünftigen Ziel- und Grenzwert von 25 µg/m³.

#### 4.3.4 OZON

Ozon ist ein farbloses und chemisch sehr reaktives Gas. Oberhalb von 20 km, in der Stratosphäre, schützt die bestehende natürliche Ozonschicht die Erde vor der schädlichen Ultraviolettstrahlung der Sonne. Ca. 90 % des Ozons befinden sich in dieser Schicht. In Bodennähe kommt Ozon ebenfalls natürlich vor, wird aber zusätzlich aus Sauerstoff und Luftverunreinigungen, den Vorläufersubstanzen, gebildet. In Bodennähe liegen Ozonkonzentrationen von etwa 50 µg/m³ als natürlicher Hintergrund vor.

Zur Bildung von Ozon müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Vorhandensein von NO<sub>x</sub> und flüchtigen organischen Verbindungen (non methane volatile organic compound – NMVOC) in für luftchemische Reaktionen ausreichend hohen Konzentrationen
- eine intensive Sonneneinstrahlung und hohe Temperaturen
- eine mehrere Tage andauernde Hochdruckwetterlage.

Ozon zeigt einen ausgeprägten Jahresgang mit hohen Konzentrationen im Sommer bei intensiver Sonneneinstrahlung. Maximalwerte treten dann am Stadtrand und in den angrenzenden ländlichen Gebieten auf. Ursache dafür ist, dass NO, das als Teil der Autoabgase emittiert wird, mit Ozon reagiert. Dabei wird Ozon abgebaut, so dass die Ozonbelastung in Innenstädten niedriger ist. Andererseits werden die Vorläuferstoffe mit dem Wind aus den Städten heraus transportiert und tragen so entfernt von deren eigentlichen Quellen zur Ozonbildung bei. Zudem kommt es durch vertikale Luftbewegungen gelegentlich in Höhenlagen zum Eintrag von Ozon aus höheren Luftschichten.

Für Ozon werden in der Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen (33. BImSchV) Ziel- und Schwellenwerte vorgegeben (Tab. 4.3-6). Bei Ozon zeigt sich im Jahresmittel an den Stationen des

Tab. 4.3-6: Zielwerte und Schwellenwerte für Ozon nach der 33. BImSchV.

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Beurteilungswert	Bemerkungen	Gültigkeit	Richtlinie
Menschliche Gesundheit	Höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages	120 µg/m <sup>3</sup> Zielwert	bei 25 zulässigen Überschreitungstagen pro Jahr, gemittelt über 3 Jahre	ab 1.1.2010	33. BImSchV, LQR*
Vegetation	AOT40, berechnet aus 1-Stunden-Werten von Mai bis Juli	18 000 µg/m <sup>3</sup> h Zielwert	gemittelt über 5 Jahre	ab 2010	33. BImSchV, LQR*
Menschliche Gesundheit	1-Stunden-Mittelwert	180 µg/m <sup>3</sup> Informationsschwelle		seit 13.7.2004	33. BImSchV, LQR*
Menschliche Gesundheit	1-Stunden-Mittelwert	240 µg/m <sup>3</sup> Alarmschwelle		seit 13.7.2004	33. BImSchV, LQR*

\* LQR: EU-Luftqualitätsrichtlinie, noch nicht in deutsches Recht umgesetzt  
 AOT40: accumulated exposure over a threshold of 40 ppb. Zur Berechnung werden alle Stundenmittelwerte oberhalb 40 ppb (parts per billion – Teile pro Milliarde), entsprechend 80 µg/m<sup>3</sup> (bei 20 °C und 1013 hPa) summiert.

städtischen Hintergrundes und der Zentren der Ballungsräume eine Zunahme der Konzentrationen (Abb. 4.3-9). Während die Konzentrationen 1990 in den Zentren noch bei 30 µg/m<sup>3</sup> lagen, betrug sie 2008 knapp 40 µg/m<sup>3</sup>. Eine Ursache hierfür ist die Abnahme der Stickstoffmonoxidkonzentrationen (vgl. Kap. 4.2.2.1). Das gebildete Ozon wird ganzjährig nicht mehr in hohem Maße durch emittiertes NO abgebaut, so dass es zu einer Anreicherung in bodennahen Schichten kommt.

Im Gegensatz hierzu bleibt die Konzentration im ländlichen Hintergrund bis auf meteorologisch bedingte Schwankungen auf einem Niveau von etwa 70 µg/m<sup>3</sup>.

Zur Darstellung der 8-Stunden-Mittelwerte nach der Vorgabe der 33. BImSchV wurden exemplarisch vier städtische Stationen ausgewählt (Abb. 4.3-10). Deutlich tritt hierbei das Jahr 2003 mit seinem „Jahrhundertsummer“ hervor. An allen vier Stationen wurden in diesem Jahr die meisten

Überschreitungstage im Verlauf der Messreihe gemessen. In Freiburg-Mitte wurden 87 Überschreitungstage (bei 25 zulässigen) gezählt. Im Vergleich der Zeitreihen wird außerdem deutlich, dass die Ozonkonzentration stark von regional unterschiedlichen meteorologischen Einflüssen und der Lage der Messstation zu Emittenten der Vorläufersubstanzen geprägt ist. So sind die Konzentrationsverläufe an den Stationen nicht jedes Jahr ähnlich. In den Jahren 1996 und 2002 gab es beispielsweise deutlich gegenläufige Konzentrationsverläufe.

Insgesamt wurde an den vier Stationen in der Mehrzahl der Jahre der Zielwert von maximal 25 Überschreitungen des 8-Stunden-Mittelwertes von 120 µg/m<sup>3</sup> nicht erreicht.

In der 33. BImSchV ist ein Zielwert für den AOT40 festgelegt. Dieser Wert gibt die Summe der Differenzen zwischen den Konzentrationen über 80 µg/m<sup>3</sup> (= 40 ppb) als 1-Stunden-Mittelwert von Mai bis Juli unter ausschließlicher Ver-

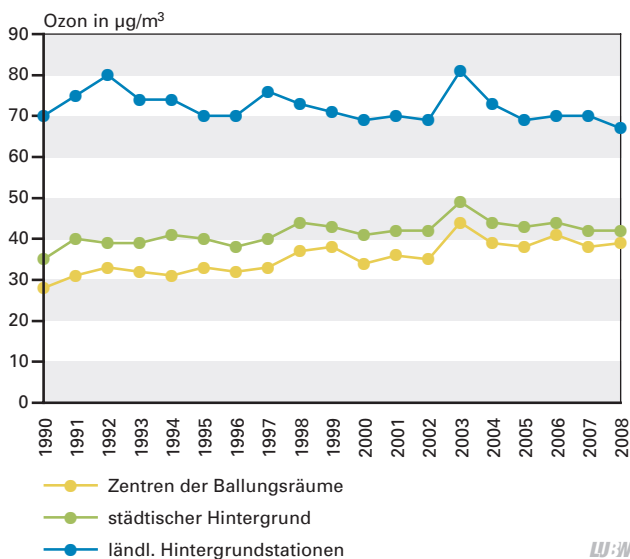


Abb. 4.3-9: Entwicklung der Jahresmittelwerte der Ozonkonzentrationen in Baden-Württemberg von 1990 bis 2008. Stand: 2009

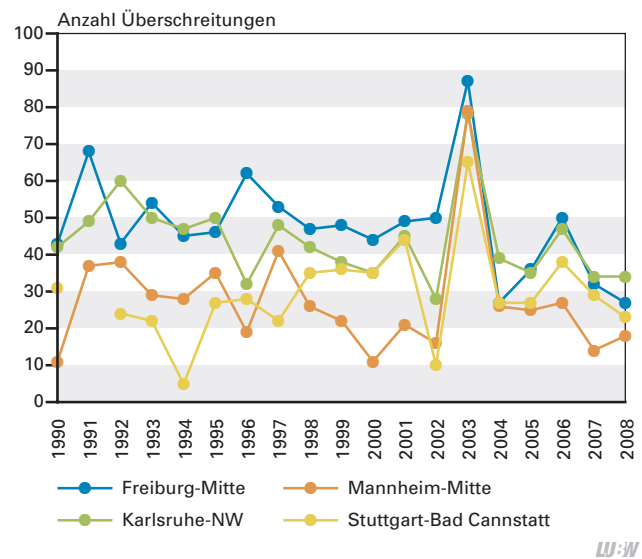


Abb. 4.3-10: Verlauf der Anzahl der Überschreitungen des 8-Stunden-Mittelwertes von 120 µg/m<sup>3</sup> an vier Stationen in Baden-Württemberg von 1990 bis 2008. Stand: 2009

wendung der Werte zwischen 8 Uhr morgens und 20 Uhr abends MEZ an.

In Abbildung 4.3-11 ist der AOT40 für die Jahre 1990 bis 2008 für drei Stationen im ländlichen Hintergrund dargestellt. In diesem Fall erfolgte die Auswertung als Jahreswerte und nicht als gleitende Mittelwerte über 5 Jahre. Zu Beginn der 1990er Jahre lag der AOT40 deutlich höher als in den 2000er Jahren. Im „Jahrhundertsummer“ 2003 lag der Wert für AOT40 mit 45 000  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$  um das 2,5-fache über dem Grenzwert. Aufgrund der starken Witterungsabhängigkeit des AOT40 kann über die Jahre seit 2000 keine Trendaussage gemacht werden. Bis auf die Station ‚Schwäbische Alb‘ im Jahr 2007 wurde in der Vergangenheit jährlich ein AOT40 über 18 000  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$  berechnet.

Ein weiteres Maß für die auftretende Maximalbelastung ist die Anzahl der Überschreitungstage der Informationsschwelle von 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hierzu wurden Mittelwerte über die Anzahl der Überschreitungstage des Informationsschwellenwertes über das gesamte Messnetz gebildet (Abb. 4.3-12).

Deutlich treten die Jahre 1991 und 2003 mit der größten Anzahl an Überschreitungen hervor. Im Jahr 2003 kam es durchschnittlich zu 15,3 Überschreitungstagen pro Messstation. Diese Darstellung veranschaulicht außerdem, dass es nicht immer die Sommermonate Juni bis August sind, in denen die meisten Überschreitungen gezählt werden. So traten in den Jahren 1991 und 2003 im Messnetz zahlreiche Überschreitungen auch im September auf. Besonders häufig kam es bereits im Mai zu den ersten Überschreitungen im Kalenderjahr. Sieht man vom Ausnahmejahr 2003 ab, so zeigt sich in der durchschnittlichen Anzahl der Überschreitungstage eine abnehmende Tendenz.

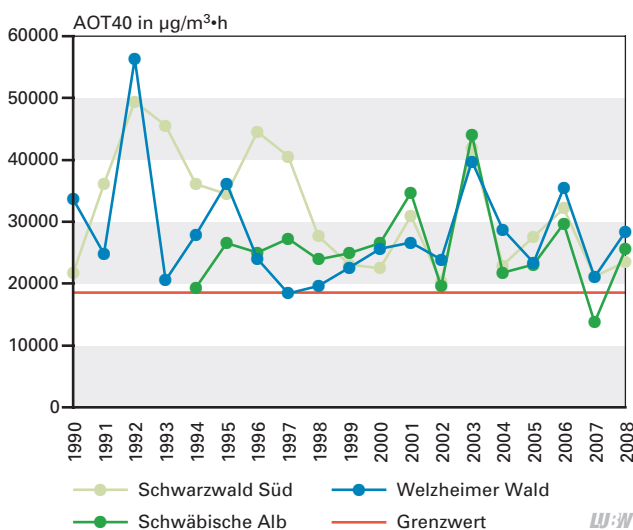


Abb. 4.3-11: Verlauf des AOT40 an Stationen des ländlichen Hintergrundes in Baden-Württemberg von 1990 bis 2008. Stand: 2009

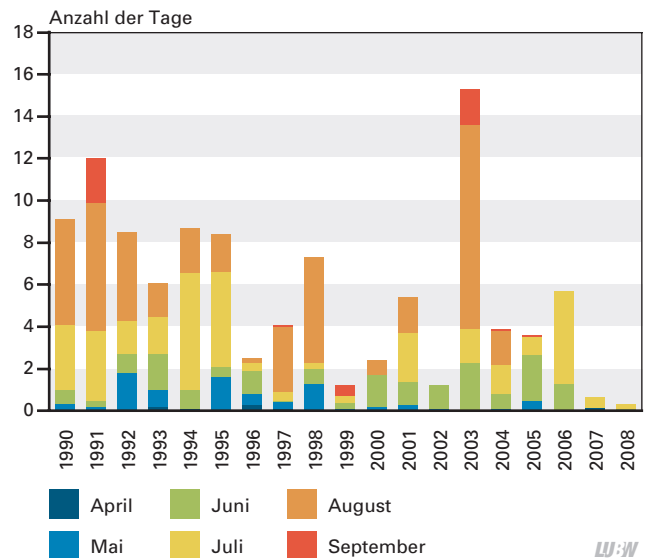


Abb. 4.3-12: Anzahl der Tage mit Überschreitung von 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Ozon von 1990 bis 2008 in Baden-Württemberg; gemittelt über alle Stationen aufgeteilt nach Monaten. Stand: 2009

#### 4.3.5 AMMONIAK

Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) trägt über seine vielfältigen Reaktionen und Wirkungen zur Versauerung, Überdüngung sowie Schädigung der belebten und unbelebten Umwelt bei. Es wird aufgrund seiner hohen Depositionsgeschwindigkeit überwiegend emittentennah, d. h. in der Nähe von Intensivtierhaltungen und Verkehrswegen deponiert. In oxidierter Form als Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) und über die Bildung von Ammoniumnitrat und Ammoniumsulfat (sekundäre Aerosole) können sich diese Stickstoffverbindungen jedoch auch großräumig in der Atmosphäre verteilen. Die Ammoniumsalze tragen in nicht unerheblichem Umfang zur Feinstaubbelastung bei, so dass ihren Vorläufersubstanzen, dem Ammoniak und den Stickstoffoxiden bei der Ursachenanalyse erhebliche Bedeutung zukommt. In Baden-Württemberg werden sowohl im emittentenbeeinflussten Umfeld als auch im unbeeinflussten Hintergrund die  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen gemessen (Abb. 4.3-13).

Die in Abbildung 4.3-14 zusammengefassten Ergebnisse zeigen, dass in direkter Nähe von landwirtschaftlichen Quellen im Jahresmittel  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen von bis zu 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  erreicht wurden. In direkter Straßennähe ergaben sich im Jahresmittel 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  bis 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Spitzenwerte, wie z. B. am Messpunkt ‚Stuttgart-Am Neckartor‘, können hiervon deutlich abweichen. Im Allgemeinen verdünnen sich die  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen mit zunehmender Entfernung zur Quelle und mit steigender Windgeschwindigkeit. In Städten wird dieser Verdünnungseffekt aufgrund der dichten Bebauung abgeschwächt.

Die Kategorien ‚Landwirtschaft‘ und ‚Verkehr‘ unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich ihrer saisonalen Ausprägung. Im



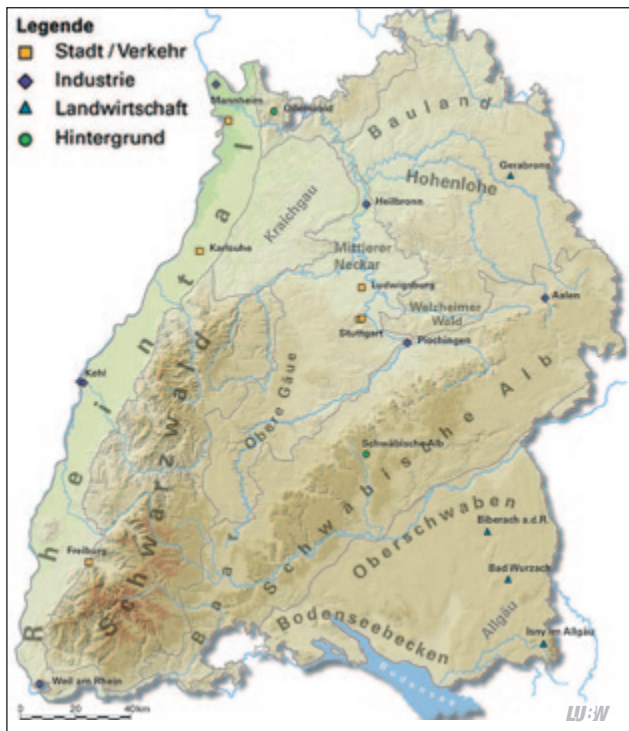


Abb. 4.3-13: Messstellen für Ammoniak in Baden-Württemberg. Stand: 2009

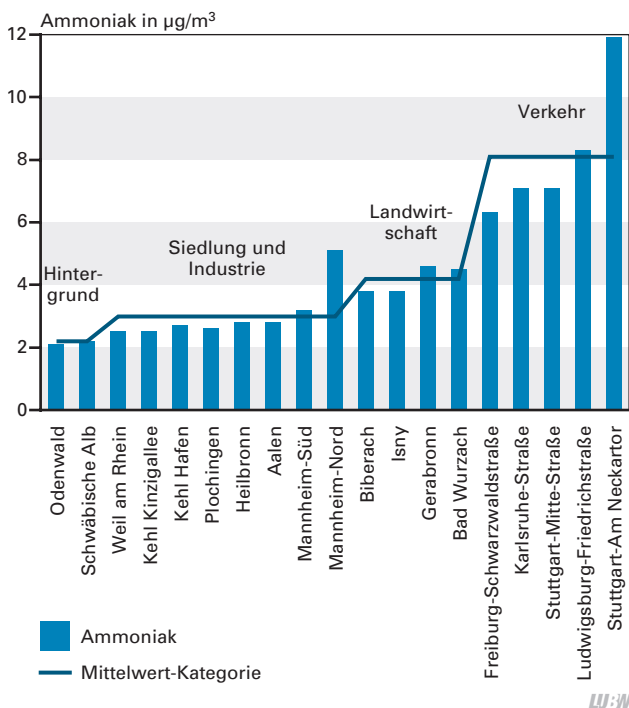


Abb. 4.3-14: Ergebnisse der  $NH_3$ -Messungen 2007. Stand: 2009

landwirtschaftlichen Umfeld unterliegen sie den Wachstums- und Düngeperioden und zeigen somit saisonale Schwankungen. Hingegen sind im städtisch verkehrsbeeinflussten Bereich die Konzentrationen über das Jahr weitgehend gleichmäßig verteilt. Die räumliche Verteilung der  $NH_3$ -Konzentrationen in Baden-Württemberg differiert je nach Emittentenlage, d. h. es ergeben sich regional verschiedene Hintergrundwerte.

#### 4.3.6 KOHLENMONOXID

Kohlenmonoxid (CO) entsteht hauptsächlich bei der unvollständigen Verbrennung fossiler Brennstoffe. Als anthropogene Quelle für CO ist vor allem der Kfz-Verkehr zu nennen. In der freien Atmosphäre wird CO nur langsam zu  $CO_2$  oxidiert; die Reaktion wird durch UV-Strahlung und Wärme begünstigt. Die mittlere Verweilzeit von CO wird auf einige Monate geschätzt.

Tab. 4.3-7: Grenzwert der 22. BImSchV für Kohlenmonoxid.

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Grenzwert	Gültigkeit
Menschliche Gesundheit	Höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages	10 mg/m <sup>3</sup>	seit 01.01.2005

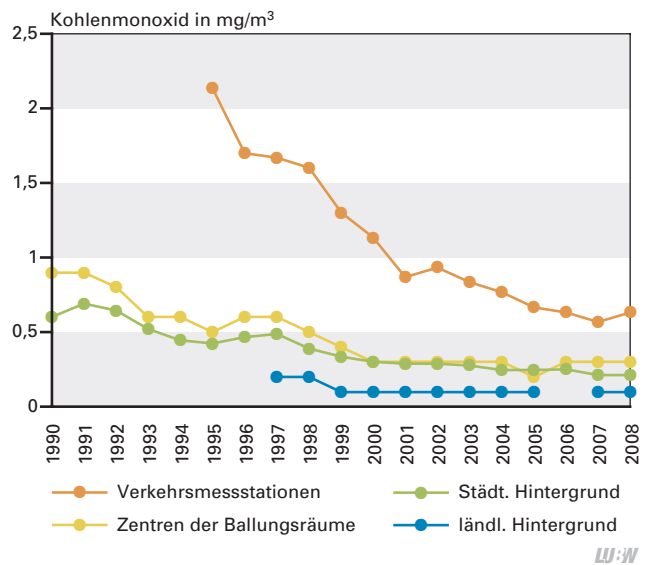


Abb. 4.3-15: Entwicklung der Jahresmittelwerte der CO-Konzentrationen in Baden-Württemberg von 1990 bis 2008. Stand: 2009

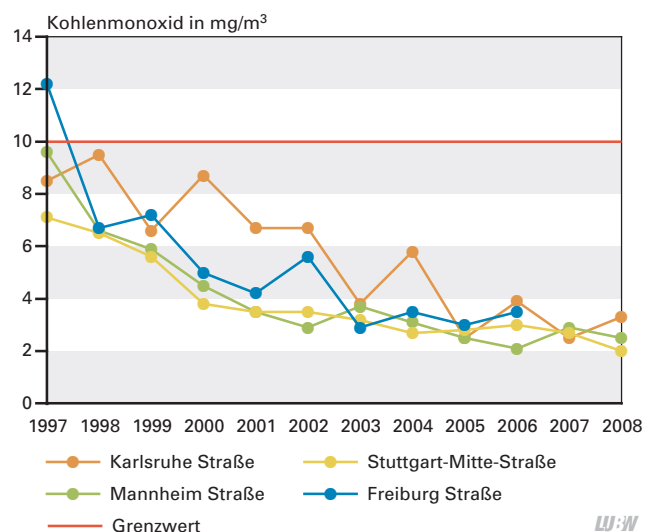


Abb. 4.3-16: Entwicklung der maximalen 8h-Mittelwerte der CO-Konzentrationen in Baden-Württemberg von 1997 bis 2008. Stand: 2009

In der 22. BImSchV ist ein Grenzwert für CO definiert, der in die neue EU-Luftqualitätsrichtlinie übernommen wurde (Tab. 4.3-7).

In Abbildung 4.3-15 ist der Verlauf der Jahresmittelwerte von CO seit 1990 dargestellt. Der starke Rückgang der CO-Konzentrationen ist auf die Einführung des geregelten Katalysators Mitte der 1980er Jahre zurückzuführen. Für den Vergleich mit dem CO-Grenzwert der 22. BImSchV sind in Abbildung 4.3-16 die maximalen 8-Stunden-Mittelwerte der Jahre 1997 bis 2008 dargestellt. Insgesamt zeigt sich auch bei den maximalen 8-Stunden-Werten eine abnehmende Tendenz.

#### 4.3.7 SCHWEFELDIOXID

Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) wird bei der Verbrennung von Kohle und Heizöl sowie anderer schwefelhaltiger Brennstoffe gebildet. Die SO<sub>2</sub>-Emissionen sind dabei direkt abhängig vom Schwefelgehalt des Brennstoffes.

Der Abbau von SO<sub>2</sub> in der Atmosphäre erfolgt durch Oxidation zu Sulfat oder wassergelöst als Schwefelsäure. Diese

Stoffe tragen zur Versauerung des Regens bei.

In der 22. BImSchV sind Kurzzeitwerte für die menschliche Gesundheit sowie Langzeitwerte zum Schutz der Ökosysteme vorgegeben. Zudem ist eine Alarmschwelle definiert, bei der die Bevölkerung informiert werden muss (Tab. 4.3-8).

Anhand der Verläufe der Jahresmittelwerte ist ein deutlicher Rückgang der SO<sub>2</sub>-Konzentrationen zu erkennen, der sich in den städtischen Gebieten bis heute fortsetzt. An den ländlichen Hintergrundstationen liegen die SO<sub>2</sub>-Konzentrationen bereits seit 1999 auf einem gleichbleibend niedrigen Niveau (Abb. 4.3-17).

Bei den Kurzzeitwerten (Stundenmittelwerte) traten im betrachteten Zeitraum keine Grenzwertüberschreitungen auf. In der Nähe industrieller Standorte werden gelegentlich 1-Stunden-Werte gemessen, die über den Grenzwerten liegen. So wurden im Jahr 2008 an der Station ‚Mannheim-Nord‘ fünf 1-Stunden-Werte über 350 µg/m<sup>3</sup> gemessen.

#### 4.3.8 WEITERE LUFTSCHADSTOFFE

Mit der Änderung der Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft (22. BImSchV) wurden für die Schadstoffe Arsen, Cadmium, Nickel und Benzo(a)pyren Zielwerte festgelegt. Seit 2005 ist in der 22. BImSchV zudem ein Grenzwert für Blei definiert (Tab. 4.3-9).

Die Schwermetalle im Feinstaub PM<sub>10</sub> werden in Baden-

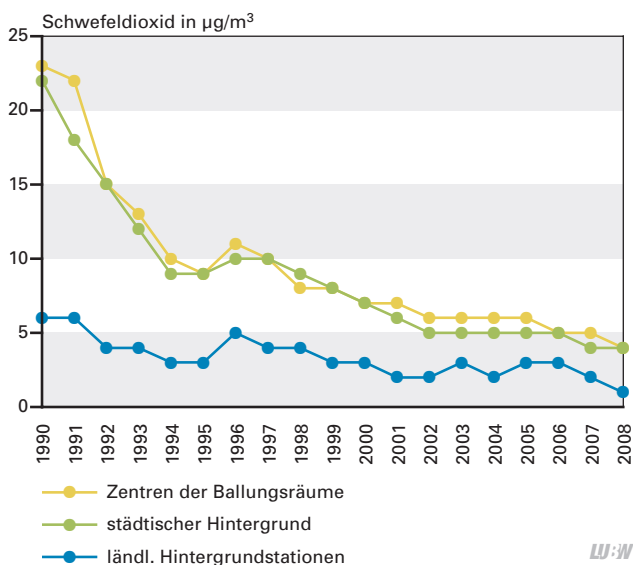


Abb. 4.3-17: Verlauf der Jahresmittelwerte von SO<sub>2</sub> in Baden-Württemberg von 1990 bis 2007. Stand: 2009

Tab. 4.3-9: Beurteilungswerte für an Feinstaub PM<sub>10</sub> gebundene Schadstoffe in der Luft.

Schadstoff	Mittelungszeitraum	Zielwert	Gültigkeit	Richtlinie
Arsen	1 Jahr	6 ng/m <sup>3</sup>	ab 31.12.2012	22. BImSchV
Cadmium	1 Jahr	5 ng/m <sup>3</sup>	ab 31.12.2012	22. BImSchV
Nickel	1 Jahr	20 ng/m <sup>3</sup>	ab 31.12.2012	22. BImSchV
Benzo(a)pyren	1 Jahr	1 ng/m <sup>3</sup>	ab 31.12.2012	22. BImSchV
Blei	1 Jahr	0,5 µg/m <sup>3</sup>	seit 1.1.2005	22. BImSchV

Tab. 4.3-8: Grenzwerte und Alarmschwelle für Schwefeldioxid der 22. BImSchV und der EU-Luftqualitätsrichtlinie.

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Grenzwert	Bemerkungen	Gültigkeit	Richtlinie
Menschliche Gesundheit	1 Stunde	350 µg/m <sup>3</sup>	bei 24 zugelassenen Überschreitungen pro Jahr	seit 1.1.2005	22. BImSchV, LQR *
Menschliche Gesundheit	24 Stunden	125 µg/m <sup>3</sup>	bei 3 zugelassenen Überschreitungen pro Jahr	seit 1.1.2005	22. BImSchV, LQR *
Ökosysteme Schutz der Vegetation	Kalenderjahr und Winterhalbjahr (1. Okt. bis 3. März)	20 µg/m <sup>3</sup>		seit 12.9.2002	22. BImSchV, LQR *
Alarmschwelle	1 Stunde	500 µg/m <sup>3</sup>	gemessen an 3 aufeinanderfolgenden Stunden	seit 12.9.2002	22. BImSchV, LQR *

\* LQR: EU-Luftqualitätsrichtlinie, noch nicht in deutsches Recht umgesetzt

Württemberg an ausgewählten Stationen analysiert. An diesen Stationen wurden 2008 Konzentrationen deutlich unter den Zielwerten der 22. BImSchV gemessen (Tab. 4.3-10).

Tab. 4.3-10: Jahresmittelwerte der Feinstaub PM10-Inhaltsstoffe im Jahr 2008. Stand: 2009

	Blei	Cadmium	Arsen	Nickel
	in ng/m <sup>3</sup>			
Aalen	7,0	0,2	0,5	1,2
Biberach	4,9	0,1	0,3	1,0
Eggenstein	6,7	0,2	0,4	1,2
Freiburg-Mitte	5,8	0,2	0,3	0,9
Freiburg-Schwarzwaldstraße	6,8	0,1	0,4	1,9
Schwarzwald Süd	2,7	0,1	0,2	0,5
Karlsruhe-Nordwest	8,4	0,2	0,4	2,2
Karlsruhe-Straße	8,2	0,2	0,5	1,7
Kehl-Hafen	12,2	0,3	0,5	1,8
Mannheim-Nord	8,7	0,2	0,6	1,6
Mannheim-Straße	9,9	0,2	0,7	2,6
Pforzheim-West	7,6	0,2	0,4	1,2
Stuttgart-Bad Cannstatt	7,5	0,2	0,6	1,9
Stuttgart-Mitte-Straße	7,1	0,2	0,6	2,2
Ulm	8,0	0,2	0,4	1,0

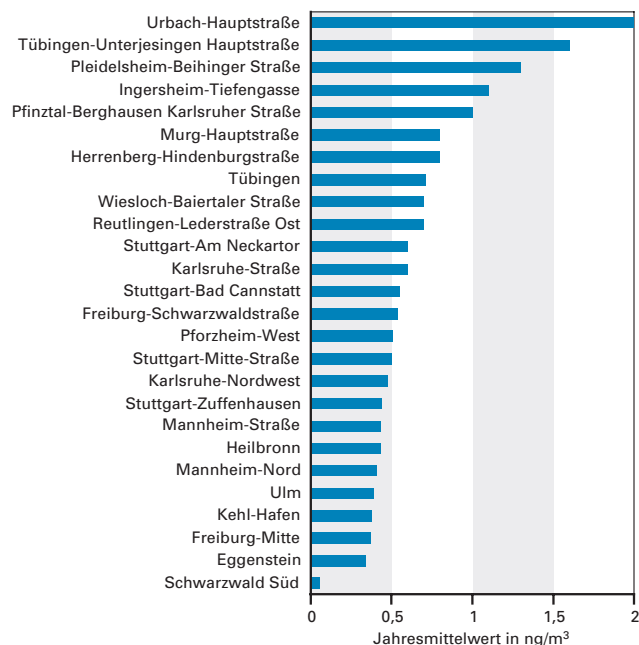
LUBW

## BENZO(A)PYREN

Benzo(a)pyren (BaP) gehört zur Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK), in der mehrere hundert Einzelverbindungen zusammengefasst sind. PAK entstehen bei der unvollständigen Verbrennung organischen Materials, wobei Menge und Zusammensetzung der emittierten PAK, das sogenannte PAK-Profil, vom Brennstoff und den Feuerungsbedingungen abhängen. Die Hauptquellen für PAK sind Industrieprozesse, Hausbrand und der Kraftfahrzeugverkehr. Natürliche PAK-Emissionen, wie z. B. aus Waldbränden, spielen in der Bundesrepublik Deutschland eine untergeordnete Rolle. Für die Stoffklasse der PAK wird das Benzo(a)pyren als Leitkomponente herangezogen.

Im Jahr 2008 wurden an ausgewählten Messstationen und Spotmessstellen in Baden-Württemberg Messungen von BaP durchgeführt (Abb. 4.3-18). Diese Stationen liefern sowohl Werte über die Hintergrundbelastung als auch Konzentrationen in Verkehrsnähe. Die Jahresmittelwerte der BaP-Konzentration liegen zwischen 0,06 ng/m<sup>3</sup> (Hin-

tergrundmessstation ‚Schwarzwald Süd‘) und 2,0 ng/m<sup>3</sup> (Spotmessstelle ‚Urbach-Hauptstraße‘). Die 4. Tochterrichtlinie nennt einen Zielwert von 1 ng/m<sup>3</sup> im Jahresmittel, der erstmals in 2013 nicht überschritten werden darf. Geht man von diesem zukünftigen Zielwert für BaP aus, wurde dieser Wert im Jahre 2008 an einigen Spotmessstellen überschritten.



LUBW

Abb. 4.3-18: Jahresmittelwerte der Konzentration von BaP als Inhaltsstoff des Feinstaubs PM10 für das Jahr 2008 an Messstellen und Spotmesspunkte in Baden-Württemberg. Stand: 2009

## LEICHT FLÜCHTIGE ORGANISCHE VERBINDUNGEN

Leicht flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds – VOC) spielen als Vorläufersubstanz bei der Ozonbildung eine große Rolle. Sie werden als Summenparameter der nicht methanhaltigen leicht flüchtigen organischen Verbindungen (NMVOC) erfasst. Ein Grenz- oder Beurteilungswert ist für diesen Summenparameter nicht definiert. Im Jahr 2008 wurden an ausgewählten Messstellen die NMVOC gemessen. Langjährige Reihen liegen für einen Teil dieser Messstellen vor. Abbildung 4.3-19 zeigt beispielhaft die Jahresmittelwerte von 1995 bis 2008 für sechs Messstationen. Insgesamt ist eine stark abnehmende Tendenz festzustellen, die höchsten Konzentrationen werden an den Verkehrsmessstationen gemessen.

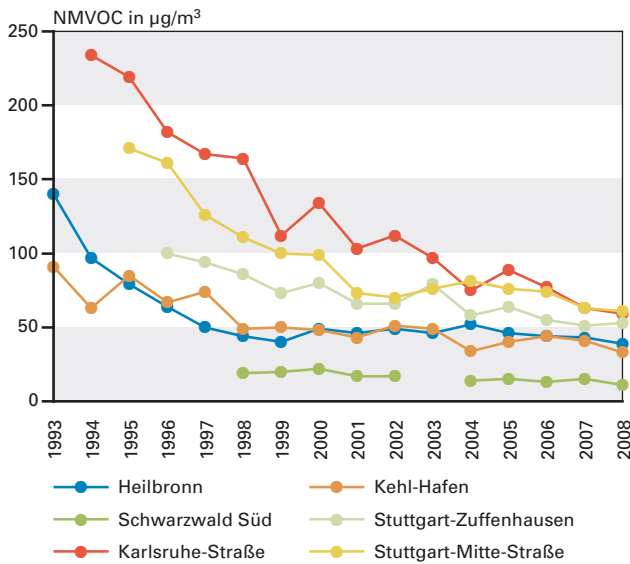


Abb. 4.3-19: Verlauf der Jahresmittelwerte von NMVOC in Baden-Württemberg von 1993 bis 2008. Stand: 2009

### BENZOL

Abbildung 4.3-20 zeigt die Jahresmittelwerte von Benzol. Bis 1999 wurde an den Verkehrsmessstationen der ab dem 01.01.2010 geltende Grenzwert der 22. BImSchV von 5 µg/m³ überschritten. Der Rückgang der Benzolkonzentration ist auf die Einführung des geregelten Katalysators und die Absenkung des Benzolgehaltes im Kraftstoff auf maximal 1 Vol.-% im Jahr 2004 zurückzuführen. Der Gehalt der übrigen Aromaten ist seit dem 01.01.2005 in der Summe auf 35 % begrenzt.

Für die Analyse der BTX-Aromaten (Benzol, Toluol und Xylole) werden an ausgewählten Messstationen Proben

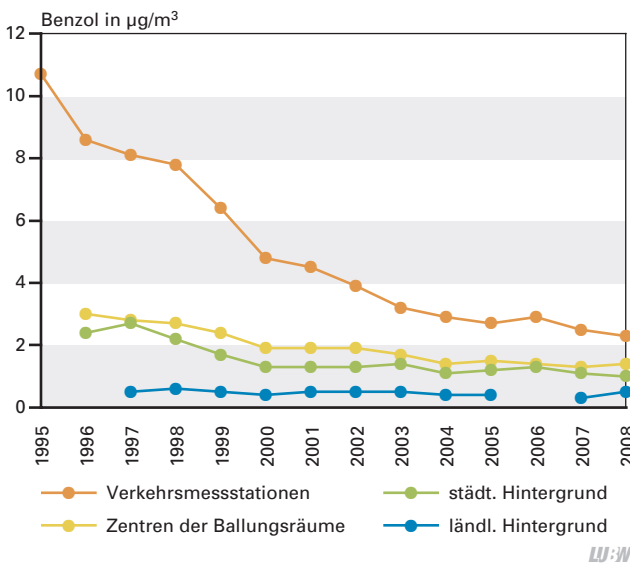


Abb. 4.3-20: Verlauf der Jahresmittelwerte von Benzol in Baden-Württemberg von 1995 bis 2008. Stand: 2009

auf Aktivkohle genommen. Die Ergebnisse der Messungen sind als Jahresmittelwerte in Tabelle 4.3-11 aufgelistet.

Die Benzolkonzentrationen liegen zwischen 0,3 µg/m³ und 2,7 µg/m³ und damit deutlich unter dem ab 2010 einzuhaltenden Grenzwert von 5 µg/m³. Erwartungsgemäß wurden die höchsten Konzentrationen von Benzol, Toluol und den Xylole an den Verkehrsmessstationen und den stark verkehrsbeeinflussten Messstationen festgestellt.

Tab. 4.3-11: Ergebnisse der Messungen von Benzol, Toluol, Ethylbenzol und den Xylole an den Luftmessstationen in Baden-Württemberg im Jahr 2007, Jahresmittelwerte in µg/m³. Stand: 2009

Messstation	Benzol	Toluol	Ethylbenzol	m/p-Xylol	o-Xylol
Freiburg-Mitte	1,0	1,8	0,4	1,2	0,4
Freiburg-Schwarzwaldstraße	1,8	4,4	0,9	3,3	1,2
Heidelberg	1,2	2,8	0,5	1,7	0,6
Heilbronn	1,2	2,2	0,7	2,5	0,7
Schwarzwald Süd	0,3	0,4	0,1	0,2	0,1
Karlsruhe-Nordwest	1,0	2,6	0,5	1,5	0,5
Karlsruhe-Straße*	2,7	6,8	1,3	4,6	1,6
Kehl-Hafen	1,0	1,7	0,4	1,3	0,4
Mannheim-Straße	2,4	6,0	1,1	3,6	1,3
Pforzheim-Mitte	1,2	2,5	0,6	1,9	0,7
Stuttgart-Bad Cannstatt	1,3	2,8	0,6	2,2	0,7
Stuttgart-Mitte-Straße*	2,6	6,0	1,3	4,5	1,6
Tübingen	0,9	1,6	0,4	1,5	0,5

\* Ausgangsdaten: Tagesmittelwerte, ansonsten 14-Tagesmittelwerte

### 4.3.9 ERGEBNISSE DER SPOTMESSUNGEN

Im Spotmessprogramm Baden-Württemberg werden seit dem Jahr 2004 straßennah gelegene „Spots“ mit besonders hohen Konzentrationen von NO<sub>2</sub> und Feinstaub PM<sub>10</sub> untersucht und anhand der Immissionsgrenzwerte der 22. BImSchV bewertet (Tab. 4.3-1 und Tab. 4.3-3). Die Ergebnisse im Jahr 2008 zeigten für NO<sub>2</sub> an allen Messpunkten Überschreitungen des im Jahr 2010 geltenden Jahresmittelwertes von 40 µg/m³, während der Stundenwert von 200 µg/m³ an vier Messpunkten mehr als 18 mal überschritten wurde. Die Immissionsgrenzwerte für Feinstaub PM<sub>10</sub> wurden für den Jahresmittelwert von 40 µg/m³ nur am Messpunkt ‚Stuttgart-Am Neckartor‘ überschritten. Bezüglich des Tagesmittelwertes zeigten mehrere der Spotmesspunkte

an mehr als 35 Tagen Überschreitungen von 50 µg/m<sup>3</sup> Feinstaub PM10. Bei beiden Komponenten ist der Großraum Stuttgart Belastungsschwerpunkt, hier werden die höchsten Konzentrationen und die häufigsten Überschreitungen der Tages- und Stundengrenzwerte festgestellt. Als weitere Komponente wurde an einigen Messpunkten Benzol gemessen. Der ab 2010 gültige Grenzwert von 5 µg/m<sup>3</sup> wurde

an allen Messpunkten sicher eingehalten. Die Jahresmittelwerte für Ruß lagen an allen beprobten Spotmesspunkten über 5,0 µg/m<sup>3</sup>; am Messpunkt ‚Stuttgart-Am Neckartor‘ wurde mit 9,4 µg/m<sup>3</sup> der ehemalige Immissionswert der 23. BImSchV für Ruß von 8 µg/m<sup>3</sup> überschritten, der mit in Kraft treten der 33. BImSchV am 20. Juli 2004 aufgehoben wurde.

Tab. 4.3-12: Ergebnisse der Spotmessungen 2008. MW: Mittelwert; TMW: Tagesmittelwert; JMW: Jahresmittelwert. Stand: 2009

Messort/Station	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM10	PM10	Benzol	Ruß	B(a)P
	Anzahl 1h-MW > 200 µg/m <sup>3</sup>	JMW [µg/m <sup>3</sup> ]	Anzahl TMW > 50 µg/m <sup>3</sup>	JMW [µg/m <sup>3</sup> ]	JMW [µg/m <sup>3</sup> ]	JMW [µg/m <sup>3</sup> ]	JMW [ng/m <sup>3</sup> ]
<b>Spotmessprogramm</b>							
Freiburg, Zähringer Straße	0	45	14	23	---	---	---
Heidenheim, Wilhelmstraße	0	53	18	26	---	---	---
Heilbronn, Weinsberger Straße	---	71	32	30	---	---	---
Herrenberg, Hindenburgstraße	0	63	25	28	2,2	5,4	0,8
Ilsfeld, König-Wilhelm-Straße	---	50	34	30	---	---	---
Ingersheim Tiefengasse	---	59	22	28	2,8	---	1,1
Karlsruhe, Kriegsstraße	---	46	11	24	---	---	---
Leonberg, Grabenstraße	5	67	39	32	---	---	---
Ludwigsburg, Friedrichstraße West	10	75	43	34	2,7	6,5	---
Markgröningen, Grabenstraße	0	47	43	32	---	---	---
Mühlacker, Stuttgarter Straße	---	61	23	28	---	---	---
Murg, Hauptstraße	---	44	19	24	2,3	---	0,8
Pfintzal-Berghausen, Karlsruher Straße	---	57	14	27	---	5,6	1,0
Pforzheim, Jahnstraße	---	52	10	24	2,7	---	---
Pleidelsheim, Beihinger Straße	10	64	41	30	2,9	5,7	1,3
Reutlingen, Lederstraße Ost	19	88	51	35	2,8	6,8	0,7
Schramberg, Oberndorfer Straße	---	50			---	---	---
Stuttgart, Am Neckartor	377	106	89	41	3,2	9,4	0,6
Stuttgart, Hohenheimer Straße	300	98	21	30	---	6,8	---
Stuttgart, Waiblinger Straße	---	68	33	30	---	---	---
Tübingen, Mühlstraße	73	78	30	27	---	---	---
Tübingen-Unterjesingen, Hauptstraße	---	57	50	32	---	5,2	1,6
Ulm, Zinglerstraße	---	63	26	29	---	---	---
Urbach, Hauptstraße	---	45	23	27	2,9	---	2,0
Walzbachtal-Jöhlingen, Bahnhofstraße *	---	59	28(37)	32	---	---	---
Wiesloch, Baiertaler Straße	---	59	35	30	3,3	---	0,7
<b>Verkehrsmessstationen</b>							
Freiburg-Schwarzwaldstraße	1	69	10	24	2,1	6,3	0,5
Karlsruhe-Straße	2	50	10	24	2,4	4,1	0,6
Mannheim-Straße	0	51	12	25	2,4	3,8	0,4
Stuttgart-Mitte-Straße	9	74	14	27	2,0	5,1	0,5

\* In Walzbachtal-Jöhlingen wurden 9 Überschreitungstage durch eine Baustelle verursacht



An einigen Messpunkten und den Verkehrsmessstationen wurden die Feinstaubfilter zusätzlich auf Benzo(a)pyren analysiert. Der Zielwert von  $1 \text{ ng/m}^3$  wurde an etwa einem Viertel der Messpunkte überschritten.

Die Entwicklung der Überschreitungen des Tagesmittelwertes von  $50 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  bei Feinstaub PM<sub>10</sub> und der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte an Belastungsschwerpunkten (Abb. 4.3-21 und 4.3-22) zeigen noch keinen einheitlichen Trend.

Allgemein ist für die Jahre 2007 und 2008 ein Rückgang der Belastung gegenüber den Jahren 2005 und 2006 festzustellen.

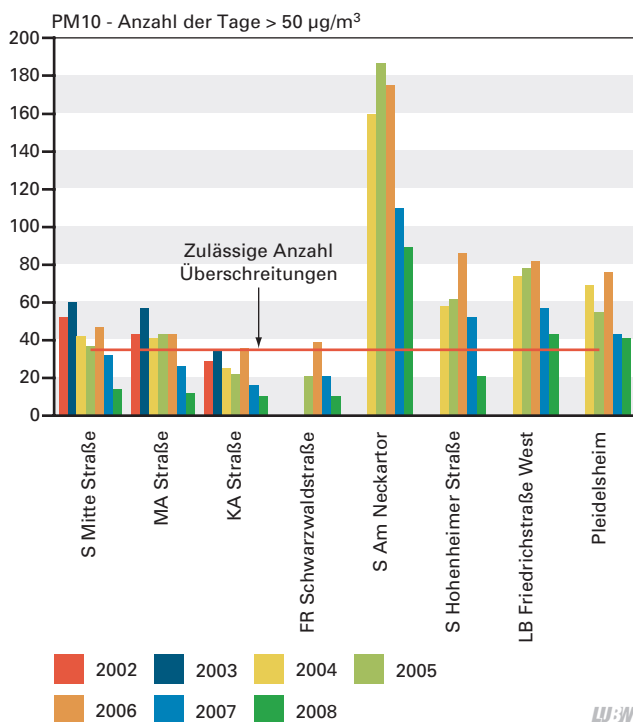


Abb. 4.3-21: Entwicklung der Überschreitungen des Feinstaub PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwertes von  $50 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  an ausgewählten Spotmessstellen. Stand: 2009

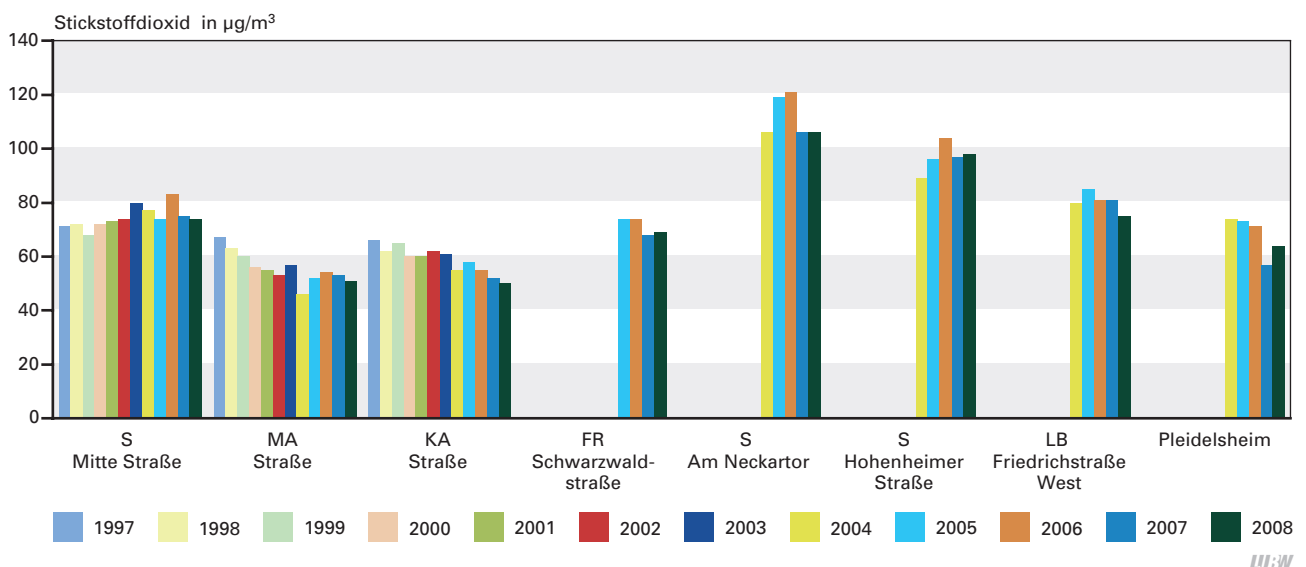


Abb. 4.3-22: Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte an ausgewählten Spotmessstellen. Stand: 2009

Die Ergebnisse im Jahr 2006 wurden wesentlich von den eingeschränkten Austauschbedingungen zu Beginn des Jahres 2006 geprägt, die zu teilweise deutlich erhöhten NO<sub>2</sub>- und Feinstaub PM<sub>10</sub>-Konzentrationen in diesem Zeitraum führten. Demgegenüber zeigten sich die Jahre 2007 und 2008 mit überwiegend guten bis sehr guten Austauschbedingungen.

#### 4.3.10 LUFTREINHALTEPLANUNG

Bei Überschreitungen der in der 22. BImSchV festgelegten Beurteilungswerte (Summe aus Immissionsgrenzwert und jährlich abnehmender Toleranzmarge) verpflichtet § 47 Abs. 1 BImSchG die zuständige Behörde, einen Luftreinhalteplan aufzustellen. Luftreinhaltepläne sollen dazu beitragen, die Luftbelastung dauerhaft so zu verbessern, dass der Immissionsgrenzwert eingehalten werden kann.

Werden geltende Immissionsgrenzwerte überschritten oder besteht die Gefahr, dass geltende Immissionsgrenzwerte überschritten werden, sind nach § 47 Abs. 2 BImSchG Aktionspläne erforderlich. Aktionspläne sollen durch kurzfristig zu ergreifende Maßnahmen die Gefahr der Grenzwertüberschreitung verringern oder den Zeitraum von Überschreitungen verkürzen.

Die in einem Luftreinhalte- / Aktionsplan festgelegten Maßnahmen sind nach § 47 Abs. 4 BImSchG entsprechend dem Verursacheranteil unter Beachtung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit gegen alle Emittenten zu richten. Bei Maßnahmen im Straßenverkehr ist ein Einvernehmen mit den zuständigen Straßenbau- und Straßenverkehrsbehörden erforderlich, darüber hinaus ist die Öffentlichkeit bei der Aufstellung der Pläne zu beteiligen.

Zuständige Behörde für die Erstellung von Luftreinhalteplänen nach § 47 BImSchG sind in Baden-Württemberg die Regierungspräsidien.

Neben allgemeinen Informationen zum Überschreitungsgebiet müssen die erarbeiteten Luftreinhalte- und Aktionspläne auch Aussagen über Art, Ursprung und Beurteilung der Verschmutzung sowie über die Verursacher der Immissionsbelastung enthalten. Diese Informationen werden von der LUBW in sogenannten Grundlagenbänden zusammengetragen.

**URSACHENANALYSE**

Um Maßnahmen verursachergerecht ergreifen zu können, werden anhand einer Ursachenanalyse für jeden Messpunkt mit einer festgestellten Überschreitung eines NO<sub>2</sub>- oder Feinstaub PM10-Grenzwertes, die Beiträge der einzelnen Verursachergruppen an der Immissionsbelastung ermittelt. Die Ursachenanalyse für NO<sub>2</sub> sowie für Feinstaub PM10 seit dem Jahr 2005 sind in o. g. Grundlagenbänden enthalten.

In der Ursachenanalyse wird unterschieden in die Beiträge „Lokale Belastung“, d. h. den Anteil der Immissionsbelastung der durch die Emissionen in direkter Umgebung des Messpunktes verursacht wird, sowie den Beitrag „Gesamthintergrundniveau“. Letzterer subsumiert die Beiträge des gesamten umgebenden städtischen Raumes und des „großräumigen Hintergrundes“.

Die Abbildungen 4.3-23 und 4.3-24 zeigen, stellvertretend für eine Vielzahl von untersuchten straßennahen Messorten in Baden-Württemberg, die Verursacher der NO<sub>2</sub>- bzw. Feinstaub PM10-Belastung für den Messpunkt ‚Stuttgart-Am Neckartor‘ im Jahr 2008. Vor allem bei NO<sub>2</sub> aber auch, in etwas weniger ausgeprägten Form, bei Feinstaub PM10 ist der lokal in der Umgebung der Messstelle stattfindende Straßenverkehr die dominierende Quelle. Der Beitrag des Straßenverkehrs an der Feinstaub PM10-Immissionsbelastung in Abbildung 4.3-24 teilt sich auf in die Anteile der Feinstaub PM10-Emissionen aus dem Abgas (v. a. Dieselaabgase) und in die Anteile des Bereichs „Auf/Ab“, welche die Feinstaub PM10-Freisetzungen aus dem Reifen- und Bremsenabrieb und Straßenabrieb sowie der Aufwirbelung von Straßenstaub beinhaltet.

Die gemessenen Feinstaub PM10-Belastungen setzen sich aus lokal, städtischem und großräumig verursachten Anteilen zusammen (Abb. 4.3-24). Diese Anteile variieren räumlich und zeitlich in weiten Grenzen und sind nur mit erheblichem Aufwand quantifizierbar. Die Grenzwertüberschreitungen im Falle des Feinstaub PM10 können sowohl lokal

sehr begrenzt auftreten als auch in manchen Perioden weiträumig verteilt über ganze Regionen bzw. über das ganze Land Baden-Württemberg. Damit gestaltet sich eine Ursachenanalyse für festgestellte Feinstaub PM10-Belastungen vergleichsweise aufwändig, insbesondere wenn sie neben den Gründen für das Auftreten von erhöhten Jahresmittelwerten auch die Aufklärung der Gründe für kurzzeitige Belastungsepisoden zur Aufgabe hat.

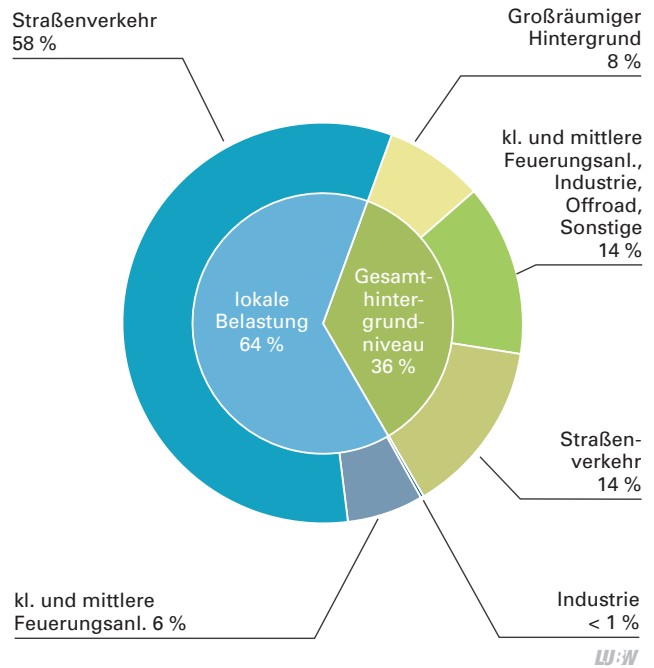


Abb. 4.3-23: Verursacher der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung am Messpunkt ‚Stuttgart-Am Neckartor‘ im Jahr 2008. Stand: 2009

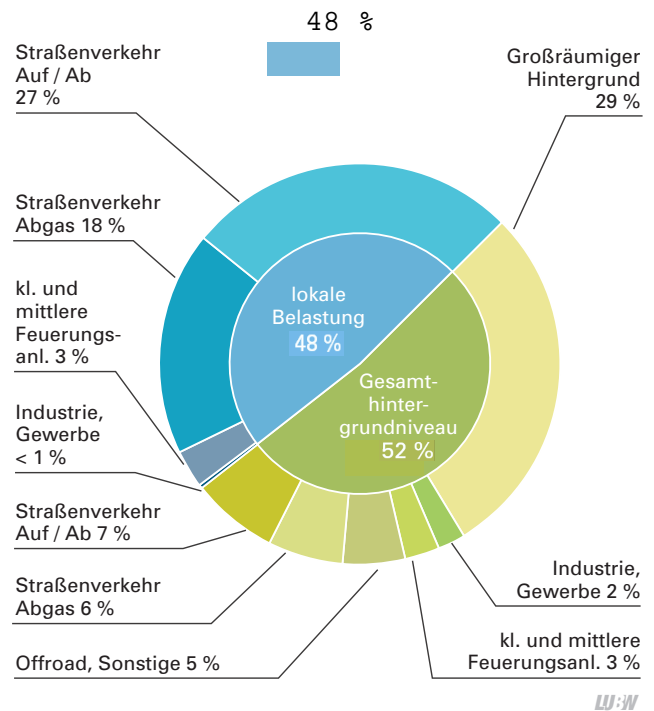


Abb. 4.3-24: Verursacher der Feinstaub PM10-Immissionsbelastung am Messpunkt ‚Stuttgart-Am Neckartor‘ im Jahr 2008. Stand: 2009

## MASSNAHMEN

Die Erarbeitung und Durchführung spezifischer Maßnahmen erfolgt in Baden-Württemberg durch die Regierungspräsidien in Zusammenarbeit mit den betroffenen Kommunen. Die in den Luftreinhalte-/Aktionsplänen vorgesehenen lokalen und regionalen Maßnahmen folgen überwiegend einem Stufenkonzept mit dem Schwerpunkt auf verkehrslenkenden und verkehrsreduzierenden Maßnahmen. Maßnahmen in Luftreinhalte- und Aktionsplänen können sein:

- Fahrverbots-Stufenkonzepte für stark emittierende Fahrzeuge in ausgewiesenen Umweltzonen gemäß der Kennzeichnungsverordnung (35. BImSchV)
- Durchfahrtsverbote für schwere Lkw in belasteten Straßen, Routenführung für Lkw
- Optimierung des Verkehrsflusses: Halteverbote, Pfortnerampeln, Optimierung von Ampelschaltungen
- Vermeidung von Transitverkehr durch Innenstädte
- Tempolimits
- Parkraummanagement und Parkraumregulierung
- Ausbau von Ring- und Ausfallstraßen, Bau von Umgehungsstraßen
- Ausbau des vorhandenen Schienennetzes zur Stärkung des Nahverkehrs
- Aufrufe an die Bevölkerung zur Nutzung des ÖPNV
- Verbesserungen in der Baustellenlogistik und Verringerung von Baustellenstaub in Innenstadtbereichen

Weitere lokale bzw. regionale Maßnahmen zielen beispielsweise auf technische Verbesserungen im Bereich Verkehr, mobile Maschinen oder stationäre Anlagen ab oder leiten sich aus wirtschaftlichen oder steuerlichen Förderprogrammen ab. Da ein Teil der Luftbelastung mit Feinstaub PM10 aus Quellen außerhalb der betroffenen Gebiete stammt (Abb. 4.3-24), sind zusätzlich nationale und europaweite Maßnahmen erforderlich, von denen einige in den letzten Jahren bereits auf den Weg gebracht wurden (z. B. TA Luft, 13. BImSchV), während andere geplant sind (z. B. Novellierung der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV, Verschärfung der europäischen Emissionsstandards für Kraftfahrzeuge).

## IMMISSIONSPROGNOSE, BEWERTUNG VON MASSNAHMEN

Im Rahmen einer Immissionsprognose wird zunächst untersucht, wie sich die Immissionsbelastung in den nächsten

Jahren ohne zusätzliche lokale Maßnahmen entwickeln wird (Trendanalyse). Dies bedeutet z. B. im Falle des Straßenverkehrs, wie werden sich bereits bekannte Veränderungen im Straßennetz und in den Verkehrszahlen, die Entwicklung der Kraftstoffqualität, die motorischen Verbesserungen bei Kraftfahrzeugen sowie insbesondere die fortschreitende Durchdringung des Fahrzeugbestandes durch Fahrzeuge mit modernen Abgasminderungstechnologien auf der Emissionsseite und damit auch auf die Immissionsbelastung niederschlagen. Wird anhand einer Trendimmissionsprognose für einen Überschreitungspunkt festgestellt, dass die geltenden Grenzwerte auch in Zukunft nicht eingehalten werden können, sind im Rahmen eines Luftreinhalte- / Aktionsplans zusätzliche lokale und / oder regionale Maßnahmen zu ergreifen, deren Wirkung auf die Luftqualität ebenfalls bewertet werden kann.

Eine quantitative immissionsseitigen Bewertung lässt sich bei verkehrsbezogenen Maßnahmen (Lkw-Durchfahrtsverbot, Fahrverbote in einer Umweltzone) oder bei Maßnahmen, die sich durch eine Reduktion der Stickstoffdioxid- oder Feinstaub PM10-Emissionen auszeichnen, mittels geeigneter Ausbreitungsmodelle durchführen. Hier werden Modelle eingesetzt, die es erlauben, die Immissionskonzentration für ein ganzes Stadtgebiet (PROKAS) oder für einzelne Straßenschluchten (MISKAM) zu berechnen.

## INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

mehr Informationen im Internet- Themenportal ‚Luft‘ und im Internet-Angebot ‚Infodienst‘ der LUBW:  
[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

‚Aktuelle Messwerte‘ im Internetangebot ‚Infodienst‘ der LUBW:  
[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

Luftqualität am Oberrhein:  
[www.luft-am-oberrhein.net/](http://www.luft-am-oberrhein.net/)

Luftqualität in der Region Bodensee:  
[www.bodenseekonferenz.org/](http://www.bodenseekonferenz.org/)

Informationen des Umweltbundesamtes zur Luftqualität:  
[www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

## 4.4 DEPOSITIONEN

Die in die Atmosphäre eingebrachten Luftschadstoffe werden durch trockene oder nasse Deposition (Ablagerung) wieder aus der Atmosphäre entfernt. Dadurch wird auf der einen Seite die Atmosphäre gereinigt, auf der anderen Seite können die Depositionen zu einer Belastung der Pflanzen, Böden und Gewässer führen. So werden z. B. die Emissionen von Schwefeldioxid, Stickstoffoxiden oder Ammoniak vor Ort abgelagert oder nach chemischen Prozessen umgewandelt und in ländliche Regionen transportiert. Dort tragen die Depositionen zur Eutrophierung und Versauerung in Ökosystemen bei. Aufgabe des Depositionsmessnetzes ist die Überwachung dieser Vorgänge. Langfristig sollen insbesondere die empfindlichen Ökosysteme vor zu hohen Stickstoff- und Säureeinträgen geschützt werden.

Im Jahr 1992 wurde das erste Depositionsmessnetz in Baden-Württemberg eingerichtet, eine Optimierung und Überarbeitung in Bezug auf die 1. und 4. EU-Tochterrichtlinie fand im Jahr 2005 statt. Seit 2006/2007 werden im neuen Depositionsmessnetz neben den klassischen Staub-, Sulfat- und Nitrateinträgen zahlreiche weitere Komponenten, z. B. Schwermetalle wie Blei, Cadmium, Arsen, Nickel, Antimon und Quecksilber oder Ammonium zur Ermittlung des Gesamtstickstoffeintrags bestimmt.



Abb. 4.4-1: Depositionsmessnetz Baden-Württemberg. Quelle: 2009

Die Messorte des Trendmessnetzes sind auf städtische (Mannheim und Karlsruhe) und ländliche Räume verteilt. Die ländlichen Standorte sind nach Naturräumen ausgewählt und reichen von den regenreichen Hochlagen des Schwarzwaldes bis zu den trockenen Lagen in Hohenlohe (Abb. 4.4-1).

### 4.4.1 GESAMTSTAUB

Die Gesamtstaubdeposition gilt als Indikator für die Bestandteile bzw. Anlagerungen des Staubes. Die Einträge des Gesamtstaubs zeigen mit Beginn der 2000er Jahre geringere Streubreiten (Abb. 4.4-2). Allgemein liegen die Staubdepositionen im Bereich zwischen 100 kg/ha-a und 400 kg/ha-a. Die Städte Karlsruhe und Mannheim und die Klasse der übrigen ländlichen Räume zeigen im Schnitt die höchsten Staubeinträge.

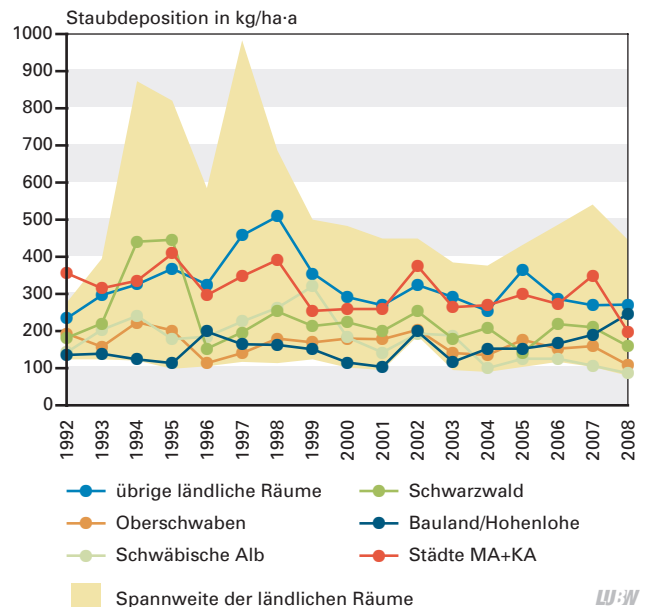


Abb. 4.4-2: Staubdeposition in Baden-Württemberg 1992 bis 2008. Stand: 2009

### 4.4.2 SULFAT

Die Bestimmung von Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) in der Deposition gilt als Indikator für die Säuredeposition, die auf der Vorläufersubstanz Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) beruht.

Die Sulfatdepositionen sind seit Beginn der Messungen durch den Rückgang der Schwefeldioxidemissionen in allen Regionen deutlich zurückgegangen (Abb. 4.4-3). Die höchsten Einträge werden im Raum Mannheim und Karlsruhe und in den niederschlagsreichen Hochlagen des Schwarzwalds beobachtet.

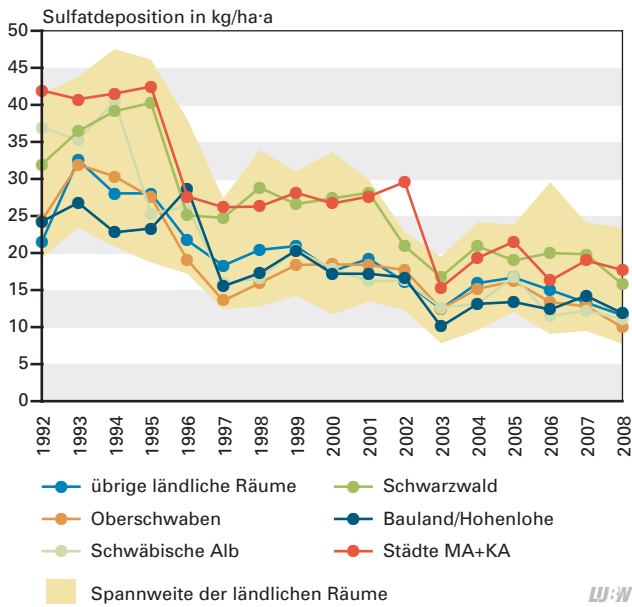


Abb. 4.4-3: Sulfatdeposition in Baden-Württemberg 1992 bis 2008. Stand: 2009

#### 4.4.3 NITRAT

Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) bildet sich über die Oxidation von Stickstoffoxiden ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ). Aufgrund seiner hohen Verweildauer in der Atmosphäre kann Nitrat auch in emittentenferne Gebiete gelangen.

Die Nitratreinträge (Abb. 4.4-4) zeigen seit Beginn der Messungen einen Rückgang der Streubreiten. Allerdings zeichnet sich im Mittel über alle Naturräume keine Abnahme der Nitratreinträge ab. Die höchsten Nitratreinträge werden auf den regenreichen Hochlagen des Schwarzwaldes festgestellt.

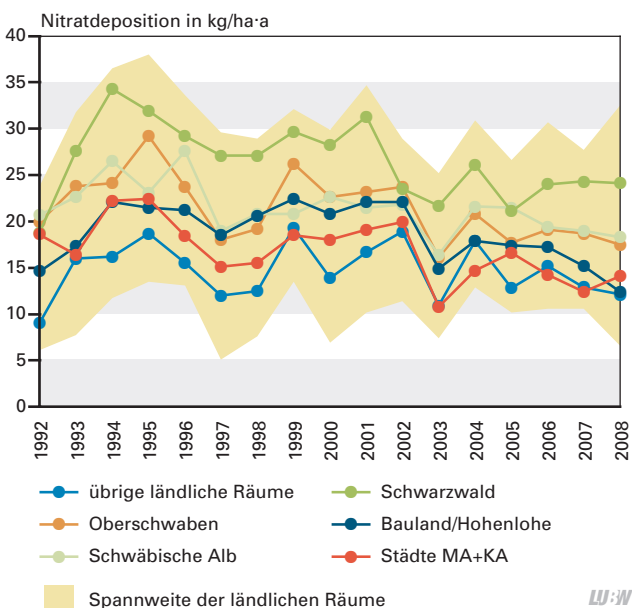


Abb. 4.4-4: Nitratdeposition in Baden-Württemberg 1992 bis 2008. Stand: 2009

#### 4.4.4 GESAMTSTICKSTOFF- UND GESAMTSÄUREEINTRAG

Zusätzlich zu Nitrat und Sulfat wird an einigen Messpunkten Ammonium bestimmt. Dies ermöglicht die Berechnung des Gesamtstickstoffeintrags mit den Komponenten Nitrat und Ammonium sowie des potenziellen Säureeintrags durch die Komponenten Nitrat, Ammonium und Sulfat. Die Erfassung der Deposition erfolgt an diesen Messpunkten seit dem Jahr 2007 mit dem Messverfahren „Trichter-Flasche“. Im Jahr 2008 lagen die Gesamtstickstoffeinträge (Abb. 4.4-5) an beprobten Messpunkten zwischen 3 kg/ha-a (Messstelle ‚Reichenau‘) und 9 kg/ha-a (Messstelle ‚Hornisgrinde‘).

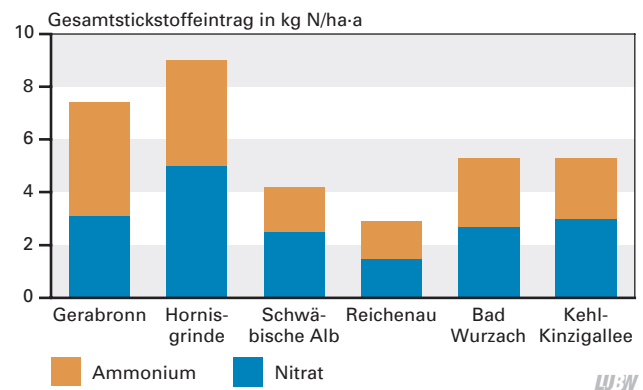


Abb. 4.4-5: Eutrophierung: Gesamtstickstoffeintrag (Nitrat und Ammonium) im Jahr 2008. Stand: 2009

Abb. 4.4-6 zeigt den Gesamtsäureeintrag 2008 an den Messstellen. Auch hier zeigen die Messstellen ‚Reichenau‘ und ‚Hornisgrinde‘ mit 320 eq/ha-a und 936 eq/ha-a Säureeintrag die große Spannweite der Messwerte. Die weiteren Messstellen zeigen Säureeinträge um 500 eq/ha-a. Die hohen Stickstoff- und Säureeinträge an der Hornisgrinde sind auf die hohen jährlichen Niederschläge im Schwarzwald und die dadurch verursachte Auswaschung zurück zu führen. Näheres zur Versauerung finden (siehe auch Kap. 8.4.4 Versauerung).

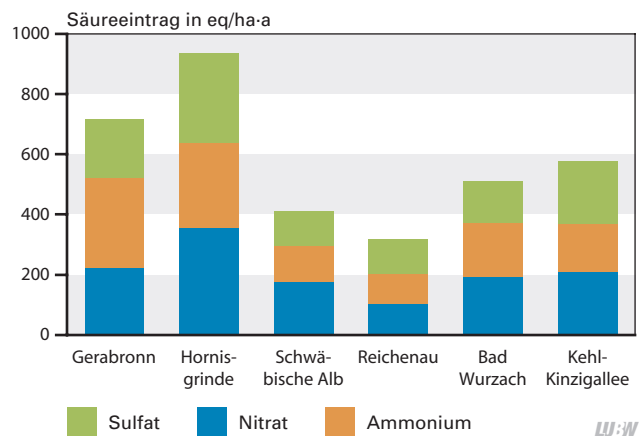


Abb. 4.4-6: Versauerung: Gesamtsäureeintrag (Nitrat, Ammonium und Sulfat) im Jahr 2008. Stand: 2009



# 5 Lärm

## 5.1 BELÄSTIGUNG DURCH LÄRM

Aus Sicht der Bevölkerung ist Lärm eines der drängendsten lokalen Umweltprobleme. Umfragen ergaben, dass mehr als drei Millionen Bürgerinnen und Bürger in Baden-Württemberg über eine zu hohe Lärmbelastung in ihrem Wohnumfeld klagen (Abb. 5.1-1). Hohe Lärmimmissionen mindern nicht nur die Lebensqualität der Betroffenen, sondern können auch gesundheitliche Risiken zur Folge haben. Daher ist es Ziel, vorhandene Belastungen zu senken und ruhige Gebiete vor Verlärmung zu schützen.

Wichtigste Lärmquelle ist der Verkehrslärm, also Straßen-, Schienen- und Flugverkehr. Daneben spielen noch Gewerbelärm, Sport- und Freizeitlärm und laute Nachbarn eine wichtige Rolle. Oft treffen auch mehrere Lärmquellen zusammen, so dass sich die Belastungssituation für die Betroffenen verschärft. Lärmeinwirkungen am Arbeitsplatz werden hier nicht betrachtet.

Die Jahre 2007 bis 2009 waren von der Umsetzung der EU-Umgebungslärmrichtlinie „...über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm“ (2002/49/EG) geprägt. Dadurch gelangte das Thema Lärm stark in den Fokus der Öffentlichkeit. In der Richtlinie ist ein europaweit einheitliches Konzept festgelegt, um schädliche Auswirkungen durch Umgebungslärm zu verhindern oder zu mindern. Auch für Baden-Württemberg liegen nun umfangreiche Daten über die Belastung der Bevölkerung durch Umgebungslärm vor. Daraus werden Lärminderungsstrategien in Form von Aktionsplänen abgeleitet.

Als Lärm werden alle Geräuscheinwirkungen bezeichnet, die von Betroffenen als unerwünscht oder belästigend empfunden werden. In der Wahrnehmung ist also eine individuelle Bewertung enthalten. Es spielt 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. Messtechnisch wird versucht, Lärm mit Hilfe des Schallpegels objektiv zu erfassen und darzustellen. Durch diesen Maßstab werden verschiedene Situationen vergleichbar. Der Schallpegel wird in Dezibel (A) – kurz dB(A) – angegeben, diese Messgröße ist dem mensch-

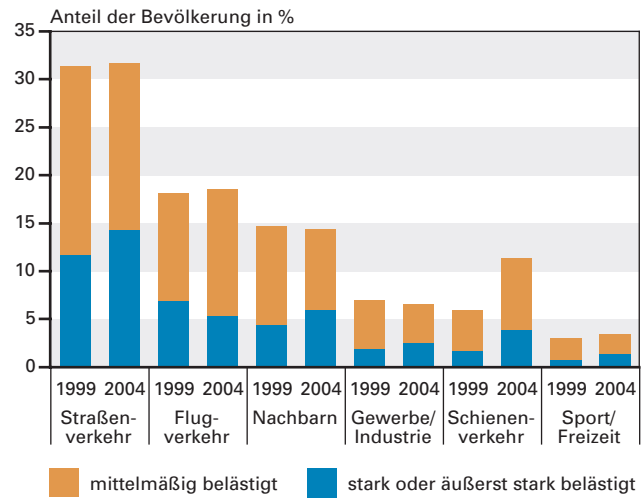


Abb. 5.1-1: Subjektive Belästigung der Bevölkerung durch Lärm in Baden-Württemberg [LFU 2004a].

lichen Hörempfinden angepasst. Beispiele für die Höhe von Schallpegeln bekannter Geräusche gibt Abbildung 5.1-2 wieder. Die Spitzenpegel kurzzeitiger Geräusche, wie z. B. der Knall von Waffen oder 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 und unterschiedlicher Dauer vergleichbar zu machen, ist eine zeitliche Mittelung erforderlich. Daraus ergibt sich ein Beurteilungspegel, der zum Vergleich einer Belastung mit Immissionsrichtwerten herangezogen wird.

Lärm ist nicht lediglich eine Quelle von subjektiven Belästigungen und Ärger, er kann auch negative gesundheitliche Wirkungen verursachen (Tab. 5.1-1).

Im Gegensatz zu den meisten anderen Umwelteinflüssen werden durch Lärm keine Ressourcen (Luft, Wasser, Boden) verschmutzt. Die Lärmemissionen wirken sich direkt auf den Menschen aus. Man muss sich beim Lärm nicht mit Effekten der Speicherung und Verzögerung befassen. Außerdem hat man es nicht, wie etwa im Fall der Luftverunreinigungen, mit einem weiträumigen, die gesamte Bevölkerung betreffenden Vorgang zu tun, sondern mit einer Vielzahl lokaler Einwirkungen. Auch wenn man inzwischen von einer „Verschmutzung der akustischen Landschaft“ sprechen kann, so betreffen die Einwirkungen des Lärms örtlich oder zeitlich klar definiert einzelne regionale Gruppen der Bevölkerung. Die Möglichkeit der Lärmflucht führt dann oft dazu,

dass Lärmbelastung auch zu einem sozialen Umweltproblem wird, welches zwar von allen verursacht wird, aber mehrheitlich von den finanziell Schwächeren getragen werden muss.

"LÄRM"	dB(A)	"RUHE"
Trillerpfeife in Ohrnähe - Schmerzgrenze -	120	
Presslufthammer in unmittelbarer Nähe	110	
Kreissäge; übliche Diskothek	100	
Lkw, 1 m Abstand	90	
Pkw, 50 km/h, 1 m Abstand	80	
Staubsauger	70	am fließenden Gebirgsbach
Gespräch	60	Vogelgezwitscher; Meerrauschen
Leise Musik	50	ruhiges Wohngebiet im Grünen
Kühlschrank	40	
Flüstern	30	
Klick einer PC-Maus in 3 m Entfernung	20	
	10	„Stille“
Hörschwelle	0	

Abb. 5.1-2: Ruhig muss nicht leise sein – Schallpegel von typischen Geräuschen in dB(A) [FLEISCHER 2000].

Tab. 5.1-1: Die wichtigsten Auswirkungen hoher Belastungen von Umgebungslärm. Quelle: Bundesamt für Umwelt (Schweiz) 2008

Physiologische Auswirkungen	Psychologische Auswirkungen
Herz-Kreislauf Erkrankungen	Belästigung, Verärgerung
Erhöhtes Herzinfarktisiko	Stress, Nervosität
Schlafstörungen	Kommunikationsstörungen
Vegetative Funktionsstörungen	Leistungsbeeinträchtigung
Blutdruckerhöhung	Niedergeschlagenheit
Kopfschmerzen	Lern- und Konzentrationsstörungen
Soziale Lärmwirkungen	Ökonomische Lärmwirkungen
Kommunikationserschweris	Gesundheitskosten
Aggressionen	Lärmschutz- und raumplanerische Kosten
Soziale Entmischung	Produktionsausfälle
	Miet- und Immobilienpreise

## 5.2 UMGEBUNGSLÄRMKARTIERUNG UND LÄRMAKTIONSPLANUNG

Als Umgebungslärm werden nach § 47b des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) belästigende oder gesundheitsschädliche Geräusche im Freien bezeichnet, die durch Aktivitäten von Menschen verursacht werden, einschließlich des Lärms, der von Verkehrsmitteln, Straßenverkehr, Eisenbahnverkehr, Flugverkehr sowie Geländen für industrielle Tätigkeiten ausgeht. Die EU-Umgebungslärmrichtlinie wurde über das BImSchG und die Verordnung über die Lärmkartierung (34. BImSchV) in nationales Recht überführt. Sie hat zum Ziel, den Umgebungslärm und somit die Lärmbelastung der Bevölkerung zu reduzieren. Die praktische Umsetzung der Richtlinie erfolgt zeitlich gestaffelt. Zuerst werden mit Hilfe einer Lärmkartierung die am stärksten von Umgebungslärm betroffenen Gebiete ermittelt. Aufbauend auf den Ergebnissen der Kartierung in Form strategischer Lärmkarten sind von den zuständigen Stellen (in der Regel sind das die Kommunen) Lärmaktionspläne aufzustellen. Bei der Lärmaktionsplanung werden lärmmentlastende Maßnahmen erarbeitet und in einem Plan verbindlich festgeschrieben. Für die Umsetzung gelten europaweit vorgegebenen Fristen (Tab. 5.2-1). Nach Abschluss der ersten und zweiten Stufe sind die Lärmkarten und ggf. auch die Lärmaktionspläne alle fünf Jahre zu aktualisieren bzw. fortzuschreiben. Lärmkartierung und Lärmaktionsplanung stellen somit eine Daueraufgabe dar.

Tab. 5.2-1: Fristen der EU-Umgebungslärmrichtlinie (2002/49/EG).

	Stufe 1	Stufe 2	Aktualisierung
Lärmkartierung	30.6.2007	30.6.2012	alle 5 Jahre
Aktionsplanung	18.7.2008	18.7.2013	ggf. alle 5 Jahre

Für die Kartierung der verschiedenen Lärmquellen gibt es in Baden-Württemberg unterschiedliche Zuständigkeiten. Die Ballungsräume sind für die Kartierung in ihrem Stadtgebiet selbst zuständig. Der LUBW wurde die Zuständigkeit für die landesweite Kartierung außerhalb der Ballungsräume übertragen. Bundeseigene Eisenbahnstrecken werden vom Eisenbahn-Bundesamt (EBA) kartiert. Der Umfang der zu kartierenden Strecken und Gebiete nimmt von Stufe 1 zu Stufe 2 erheblich zu, da die Erfassungsgrenzen in der zweiten Stufe stark abgesenkt werden. In Tabelle 5.2-2 sind die Zuständigkeiten und Erfassungsgrenzen zusammenfassend dargestellt.

Tab. 5.2-2: Zuständigkeiten und Erfassungsgrenzen für die Umgebungslärmkartierung Baden-Württemberg. Stand: 2008

Lärmquelle	Zuständigkeit für die Kartierung	Erfassungsgrenze für Stufe 1	Erfassungsgrenze für Stufe 2
Ballungsräume	jeweilige Kommune	> 250 000 Einwohner	> 100 000 Einwohner
Hauptverkehrsstraßen	LUBW	> 6 Mio. Kfz/Jahr	> 3 Mio. Kfz/Jahr
Großflughäfen	LUBW	> 50 000 Bewegungen/Jahr	> 50 000 Bewegungen/Jahr
Hauptbahnstrecken - bundeseigene - nicht-bundeseigene	Eisenbahn-Bundesamt LUBW	> 60 000 Züge/Jahr	> 30 000 Züge/Jahr

LUBW

Zu den Hauptverkehrsstraßen zählen definitionsgemäß Autobahnen sowie Bundes- und Landesstraßen. Kreis- und Gemeindestraßen fallen – unabhängig vom Verkehrsaufkommen – nicht unter die Kartierungspflicht. Bei den Schienenwegen werden von der LUBW ausschließlich nicht-bundeseigene Eisenbahnstrecken (sog. NE-Bahnen) kartiert. Ballungsräume sind die größten Städte im Land. Tabelle 5.2-3 zeigt, welche Städte in den verschiedenen Kartierungsstufen als Ballungsräume definiert sind.

Tab. 5.2-3: Ballungsräume der zwei Stufen. Stand: 2008

Ballungsräume Stufe 1 > 250 000 Einwohner	Ballungsräume Stufe 2 > 100 000 Einwohner	
Stuttgart	Stuttgart *	Heilbronn
Mannheim	Mannheim *	Ulm
Karlsruhe	Karlsruhe *	Pforzheim
	Freiburg	Reutlingen
	Heidelberg	

\* Aktualisierung bestehender Lärmaktionspläne

LUBW

### 5.2.1 METHODE UND UMFANG DER LÄRMKARTIERUNG

Die Lärmkarten werden entsprechend den gesetzlichen Regelungen jeweils getrennt für die Lärmarten Straßenverkehr, Schienenverkehr, Flugverkehr sowie Industrie und Gewerbe (letztere nur in den Ballungsräumen) berechnet und ausgewiesen. Sie sind im Internetangebot der LUBW verfügbar. Eine Überlagerung der Schallpegel für unterschiedliche Lärmarten, z. B. bei parallel verlaufenden Straßen und Eisenbahnstrecken, erfolgt dabei nicht. Es werden zwei unterschiedliche Zeiträume betrachtet: Der Lärmindex  $L_{DEN}$

#### Lärmindizes:

$L_{DEN}$  = über 24 Stunden gemittelte Lärmbelastung (Tag/Day, Abend/Evening, Nacht/Night) mit Zuschlägen für den Abend- und Nachtzeitraum

$L_{Night}$  = über die Nacht gemittelte Lärmbelastung (22 Uhr bis 6 Uhr)

(Day – Evening – Night) umfasst den Tages-, Abend- und Nachtzeitraum, also volle 24 Stunden, während der Lärmindex  $L_{Night}$  nur den besonders sensiblen Nachtzeitraum zwischen 22 Uhr und 6 Uhr beschreibt.

Grundlage für die Erstellung der Lärmkarten sind die vorläufigen nationalen Berechnungsvorschriften für Straßen-, Schienen-, Flug- sowie Industrie- und Gewerbelärm (VBUS, VBUSch, VBUF und VBUI).

Die Belastung wird also nicht vor Ort gemessen, sondern mit bundesweit einheitlichen Berechnungsverfahren ermittelt. Nur so ist gewährleistet, dass vergleichbare und belastbare Ergebnisse gewonnen werden.

Ausgangspunkt der Berechnungen ist ein komplexes dreidimensionales Rechenmodell, welches alle für die Schallimmissionsberechnung relevanten Gegebenheiten beinhalten muss. Die Qualität der Berechnung hängt entscheidend von der Güte der Eingangsdaten ab, welche die Lärmquelle und den Ausbreitungsweg beschreiben. Für die Umgebungslärmkartierung müssen Daten aus unterschiedlichen Fachbereichen und Institutionen zusammengetragen, um neu erhobene Informationen ergänzt und in das Rechenmodell integriert werden. In diesen Prozess wurden auch die Kommunen über eine landesweite Abfrage von Straßeninformationen eng mit eingebunden. Am Beispiel der Hauptverkehrsstraßen sind nachfolgend die wichtigsten Eingangsdaten genannt:

- Verkehrsmenge, Lkw-Anteil und deren zeitliche Verteilung (Tag, Abend, Nacht)
- Straßeninformationen (Verlauf, Breite, Steigung, Belag, Fahrgeschwindigkeit)
- Schallschutzbauwerke (Lage, Ausdehnung, Art, Höhe)
- Gebäudedaten (Lage, Höhe, Nutzung, Bewohnerzahl)
- Digitales Geländemodell

Entsprechend den Vorgaben der Richtlinie werden in den Lärmkarten die berechneten Schallimmissionen in sogenannten Isophonenbändern (Bänder gleicher Schallpegel)

in 5-dB-Stufen (Pegelklassen) flächenhaft farbig dargestellt. Durch die Einführung von Mittelungspegeln werden zeitlich schwankende Geräusche durch einen Einzahlwert ersetzt. Dadurch können unterschiedliche Geräuschsituationen verglichen werden. Lärmkarten objektivieren dadurch nachvollziehbar die vorhandene Lärmsituation.

### UMFANG DER LÄRMKARTIERUNG

In der Ende 2007 abgeschlossenen ersten Stufe der Umgebungslärmkartierung hat die LUBW eine Gesamtfläche von rund 5 000 km<sup>2</sup> kartiert, was etwa 14 % der Landesfläche Baden-Württembergs entspricht. Diese umfasst neben den Gebieten rund um den Flughafen Stuttgart und entlang 26 Kilometern nicht-bundeseigener Hauptbahnstrecken vor allem die Umgebung der am stärksten befahrenen Straßen des Landes mit über 2 300 km Gesamtlänge.

Tab. 5.2-4: Kartierungsumfang. Stand: 2007

Lärmart	Umfang	kartierte Fläche
Straßenlärm	2 300 km	4 600 km <sup>2</sup>
Schienerlärm	26 km	30 km <sup>2</sup>
Fluglärm	Flughafen Stuttgart	330 km <sup>2</sup>

LUBW

Insgesamt hat die LUBW außerhalb der Ballungsräume für etwa 15 % der Gesamtstreckenlänge aller Hauptverkehrsstraßen im Land Lärmberechnungen durchgeführt. Nach Straßenklassen aufgeschlüsselt ergibt sich für die von der LUBW kartierten Straßen folgender Streckenumfang:

Tab. 5.2-5: Streckenlängen der kartierten Straßen je Straßenklasse (Pflichtkartierung Stufe 1). Stand: 2007

Straßenklasse	kartierte Strecke	Anteil am Gesamtnetz*
Autobahnen	980 km	94 %
Bundesstraßen	1 035 km	23 %
Landesstraßen	295 km	3 %

\* der jeweiligen Straßenklasse

LUBW

### ARRONDIERUNG

Über die Pflichtkartierung hinaus wurde den Kommunen im Land im Rahmen der so genannten Arrondierung angeboten, gegen geringe Kostenbeteiligung weitere, nicht unter die Kartierungspflicht fallende Strecken durch die LUBW kartieren zu lassen. Dieses freiwillige Zusatzangebot des Landes erfolgte im Interesse einer sinnvollen Lärmaktionsplanung vor Ort

und diente dazu, Lücken im kartierten Streckennetz zu schließen und so eine verbesserte Grundlage für die kommunale Lärmaktionsplanung bereitzustellen. 26 Kommunen haben dieses Angebot in Anspruch genommen. Dabei wurden von der LUBW weitere rund 270 km meist innerörtlicher Straßenabschnitte kartiert. Die Arrondierungsstrecken werden bei der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt. Die im Auftrag der Kommunen erstellten Lärmkarten für Arrondierungsstrecken wurden direkt an die Kommunen abgegeben und sind nicht im Internetangebot der LUBW verfügbar.

### BETROFFENHEITEN DURCH UMGEBUNGSLÄRM IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Gemäß EU-Umgebungslärmrichtlinie sind zu den Lärmkarten auch statistische Angaben über die von Lärm betroffenen Menschen in den kartierten Gebieten zu erstellen. Hierfür werden nach einem bundeseinheitlich festgelegten Berechnungsverfahren die Schallimmissionen an den Gebäudefassaden berechnet und die Bewohnerzahl jedes einzelnen Gebäudes den so ermittelten Pegelwerten zugeordnet. Um für jede Gemeinde Aussagen über die Lärmbetroffenheit in ihrem Gebiet machen zu können, wird die Anzahl der Betroffenen je Pegelklasse aufsummiert. Diese Zahlen werden für jede einzelne der von der Kartierung tangierten Gemeinden ausgewiesen und veröffentlicht.

Die Ermittlung der Betroffenenanzahl stellt verfahrensbedingt – wie auch die Ermittlung der Anzahl betroffener Wohnungen – eine Schätzung dar und kann deshalb nur einen Anhaltspunkt für die Notwendigkeit von Lärmschutzmaßnahmen bieten. Weitere Kriterien können herangezogen werden, wie etwa Mehrfachbelastungen oder Lärmbelastungen aus anderen Lärmquellen, die bei der Kartierung nicht erfasst wurden.

### 5.2.2 ERGEBNISSE DER LÄRMKARTIERUNG

Seit Ende 2007 ist die erste Stufe der Lärmkartierung durch die LUBW abgeschlossen. Die Ergebnisse der Immissionsberechnung sind in Form strategischer Lärmkarten und Lärmbelastungsanalysen im Internet der LUBW dargestellt. Im Rahmen der Umgebungslärmkartierung Stufe 1 wurden rund 1 000 Lärmkarten für Straßen-, Schienen- und Fluglärm erstellt, jeweils mit Karten für den Ganztages- ( $L_{DEN}$ ) und Nachtzeitraum ( $L_{Night}$ ). Die kartierten Strecken und die landesweite Verteilung der erstellten Lärmkarten sind in Abbildung 5.2-1 dargestellt.



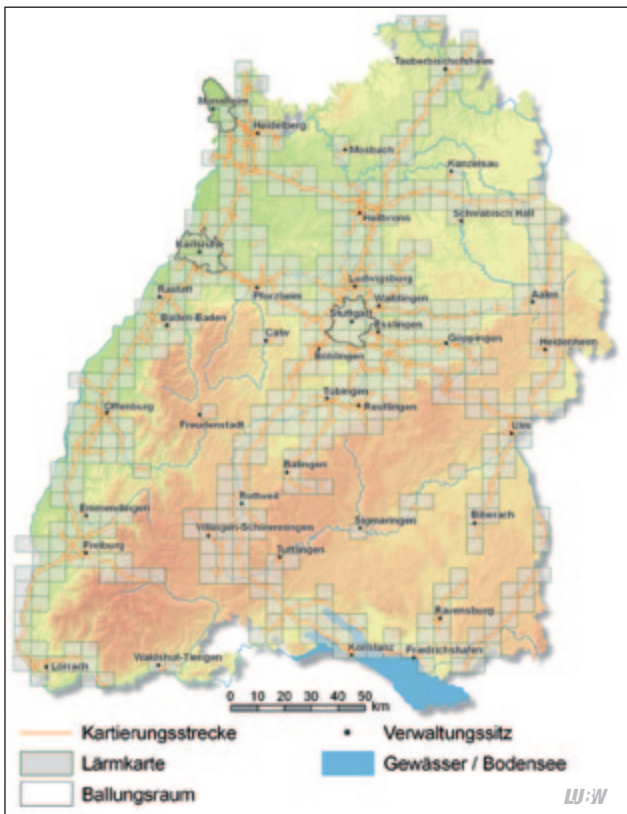


Abb. 5.2-1: Verteilung der Lärmkarten in Baden-Württemberg. Stand: 2007

Nachfolgend sind Ergebnisse aus Stufe 1 der Umgebungslärmkartierung dargestellt. Die Lärmbelastungsanalysen spiegeln die landesweite Situation wider und beinhalten neben den von der LUBW gewonnenen Ergebnissen auch Zahlen aus der Kartierung der Ballungsräume und des Eisenbahn-Bundesamtes. Der ausschließlich in den Ballungsräumen ermittelte Industrie- und Gewerbelärm ist hier nicht aufgeführt.

### STRASSENVERKEHRSLÄRM

In Stufe 1 der Umgebungslärmkartierung wurden alle Hauptverkehrsstraßen außerhalb der Ballungsräume gemäß den vorgegebenen Erfassungskriterien kartiert. Innerhalb der Ballungsräume wurden Straßen bereits ab einem erheblich niedrigeren Verkehrsaufkommen und unabhängig von der Straßenklasse erfasst. Abbildung 5.2-2 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt aus einer Lärmkarte für Straßenlärm. Die Tabellen 5.2-6 und 5.2-7 geben die landesweite Lärmbetroffenheit für Straßenlärm inklusive der in den Ballungsräumen ermittelten Belastungszahlen wieder. Knapp die Hälfte der Betroffenen (45 %) lebt in den Ballungsräumen Stuttgart, Mannheim und Karlsruhe.

Tab. 5.2-6: Anzahl der landesweit durch Straßenlärm belasteten Menschen an Hauptverkehrsstraßen und in Ballungsräumen (auf Hundert gerundet). Stand: 2008

Pegelbereich dB(A)		Belastete Menschen – Straßenlärm –	
über	bis	L <sub>DEN</sub>	L <sub>Night</sub>
50	55	-	213 700
55	60	335 400	107 000
60	65	155 300	38 300
65	70	88 900	7 100
70	75	32 000	200
75		4 000	-
Summe:		615 600	366 300

LUBW

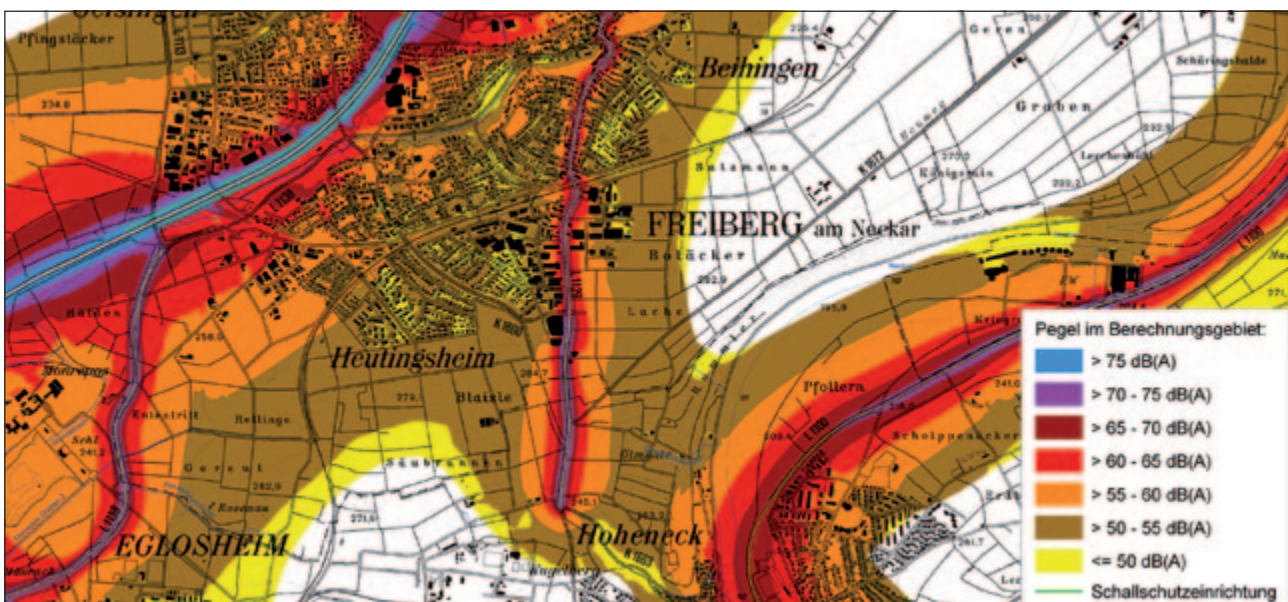


Abb. 5.2-2: Ausschnitt aus einer Lärmkarte für Straßenlärm (L<sub>DEN</sub>). Stand: 2007

LUBW



Tab. 5.2-7: Von Straßenlärm an Hauptverkehrsstraßen und in Ballungsräumen belastete Flächen und Anzahl der Wohnungen (auf Hundert gerundet), Schul- und Krankenhausgebäude – für  $L_{DEN}$  (24 Stunden). Stand: 2008

Pegelbereich dB(A)		Lärmbelastung durch Straßenlärm			
über	bis	Fläche (km <sup>2</sup> )	Wohnungen	Schulgebäude	Krankenhausgebäude
55	65	2 046	299 500	544	117
65	75	582	62 500	49	14
75		137	2 400	0	0
Summe:		2 765	364 400	593	131

U:W

### SCHIENENVERKEHRLÄRM

Die von der LUBW kartierten nicht-bundeseigenen Eisenbahnen haben nur einen verhältnismäßig geringen Anteil am Schienenlärm in Baden-Württemberg. Weitaus größere Bedeutung haben die vom Eisenbahn-Bundesamt (EBA) kartierten etwa 600 km bundeseigenen Schienenwege. Außerhalb der Ballungsräume hat das EBA die Haupteisenbahnstrecken gemäß den geltenden Erfassungskriterien kartiert. Innerhalb der Ballungsräume wurden vom EBA – unabhängig von der Verkehrsmenge – alle bundeseigenen Eisenbahnstrecken erfasst. Hinzu kommen die in den Ballungsräumen

kartierten Straßenbahnlinien.

Die Tabellen 5.2-8 und 5.2-9 geben die landesweite Lärmbetroffenheit für Schienenverkehrslärm wieder. Die Statistiken beinhalten Daten der von der LUBW kartierten nicht-bundeseigenen Eisenbahnen, Daten der in den Ballungsräumen erfassten Schienenwege (inkl. Straßenbahnen) sowie Daten aus der Kartierung des Eisenbahn-Bundesamtes.

Tab. 5.2-8: Anzahl der landesweit von Schienenlärm belasteten Menschen an Haupteisenbahnstrecken und in Ballungsräumen (auf Hundert gerundet). Stand: 2008

Pegelbereich dB(A)		Belastete Menschen – Schienenlärm –	
über	bis	$L_{DEN}$	$L_{Night}$
50	55	-	208 300
55	60	249 700	86 500
60	65	105 800	35 700
65	70	47 900	14 300
70	75	21 200	7 800
75		10 700	-
Summe:		435 300	352 600

U:W

Tab. 5.2-9: Von Schienenlärm an Haupteisenbahnstrecken und in Ballungsräumen belastete Flächen und Anzahl der Wohnungen (auf Hundert gerundet), Schul- und Krankenhausgebäude – für  $L_{DEN}$  (24 Stunden). Stand: 2008

Pegelbereich dB(A)		Lärmbelastung durch Schienenlärm			
über	bis	Fläche (km <sup>2</sup> )	Wohnungen	Schulgebäude	Krankenhausgebäude
55	65	674	176 200	681	132
65	75	178	33 500	113	10
75		43	5 000	0	0
Summe:		896	364 400	794	142

U:W



Abb. 5.2-3: Kartierungspflichtige Haupteisenbahnstrecken (landesweite Übersicht). Stand: 2007

### FLUGLÄRM

Als einziger Großflughafen im Land erfüllte der Flughafen Stuttgart die für Stufe 1 der Kartierung vorgegebenen Erfassungskriterien und wurde von der LUBW kartiert. Weiterer Fluglärm wurde im Ballungsraum Mannheim für die Umgebung des dortigen Verkehrslandeplatzes erfasst. In den anderen Ballungsräumen wurde kein Fluglärm kartiert. In Abbildung 5.2-4 sind die aus Sicht der Richtlinie relevanten  $L_{DEN}$ -Isophonen im Bereich des Flughafens Stuttgart in der Übersicht dargestellt.

Die Tabellen 5.2-10 und 5.2-11 geben die Lärmbetroffenheit für Fluglärm im Bereich des Flughafens Stuttgart und des Verkehrslandeplatzes Mannheim zusammengefasst wieder.



Abb. 5.2-4:  $L_{DEN}$ -Isophonen der Fluglärmkartierung im Bereich des Flughafens Stuttgart. Stand: 2007

LU:W

Tab. 5.2-10: Anzahl der von Fluglärm am Flughafen Stuttgart und im Ballungsraum Mannheim belasteten Menschen (auf Hundert gerundet). Stand: 2008

Pegelbereich dB(A)		Belastete Menschen – Fluglärm –	
über	bis	$L_{DEN}$	$L_{Night}$
50	55	-	5 600
55	60	37 600	100
60	65	7 300	0
65	70	200	0
70	75	0	0
75		0	-
Summe:		45 100	5 700

LU:W

Tab. 5.2-11: Von Fluglärm am Flughafen Stuttgart und im Ballungsraum Mannheim belastete Flächen und Anzahl der Wohnungen (auf Hundert gerundet), Schul- und Krankenhausgebäude – für  $L_{DEN}$  (24 Stunden). Quelle LUBW 2008

Pegelbereich dB(A)		Lärmbelastung durch Fluglärm			
über	bis	Fläche (km <sup>2</sup> )	Wohnungen	Schulgebäude	Krankenhausgebäude
55	65	46	21 500	26	0
65	75	7	100	0	0
75		1	0	0	0
Summe:		54	21 600	26	0

LU:W

### 5.2.3 LÄRMAKTIONSPLANUNG

In den kartierten Bereichen waren nach den gesetzlichen Vorgaben für besonders lärmbeeinträchtigte Gebiete bis zum 18. Juli 2008 Lärmaktionspläne zur Regelung von Lärmpro-

blemen und Lärmauswirkungen aufzustellen. Ein Lärmaktionsplan ist ein strategisches Planwerk, um Ziele, Strategien und Maßnahmen zur Lärminderung und zum Schutz ruhiger Gebiete zu formulieren. Die Zuständigkeit für die Erstellung von Lärmaktionsplänen liegt in Baden-Württemberg bei den Städten und Gemeinden, ausgenommen Fluglärm im Bereich des Flughafens Stuttgart; für diesen ist das Regierungspräsidium Stuttgart zuständig. Die sehr knappe Frist für die Planerstellung konnte nur von wenigen Gemeinden eingehalten werden. Die meisten Lärmaktionspläne dürften bis Ende 2009 erstellt und beschlossen sein. Grundlage für die Lärmaktionsplanung sind die vorliegenden strategischen Lärmkarten für Straßen, Eisenbahnstrecken, Großflughäfen und Ballungsräume.

Es gibt keine gesetzliche Vorgabe von Grenz- oder Auslöswerten, ab denen eine Lärmaktionsplanung zwingend durchgeführt werden muss. Das Umweltministerium Baden-Württemberg empfiehlt jedoch in einem ersten Schritt den Einstieg in die Maßnahmenplanung sobald im kartierten Bereich Pegelwerte von  $L_{DEN} > 70$  dB(A) bzw.  $L_{Night} > 60$  dB(A) erreicht werden und Personen davon betroffen sind. Diese hoch belasteten Gebiete bilden die Lärmschwerpunkte im Land. Primäres Ziel ist es deshalb, bei diesen Betroffenen wirksam für eine spürbare Verminderung der Lärmbelastung zu sorgen.

### MASSNAHMENKATALOG

Das Kernelement eines Lärmaktionsplanes ist der Maßnahmenkatalog, in den mögliche Lärminderungsmaßnahmen aufgenommen werden. Dabei sollten Maßnahmen von ho-

Tab. 5.2-12: Bewertung der Lärmpegel. Stand: 2008

Bewertung	Pegelbereich L <sub>DEN</sub>	Pegelbereich L <sub>Night</sub>
Sehr hohe Belastung	> 70 dB(A)	> 60 dB(A)
hohe Belastung	65 - 70 dB(A)	55 - 60 dB(A)
Belastung / Belästigung	< 65 dB(A)	< 55 dB(A)

U:W

her Effizienz und Akzeptanz im Vordergrund stehen. Als Maßnahmenfelder und kommunale Strategien der Lärmaktionsplanung kommen in Betracht:

- Punktuelle Maßnahmen: Fahrbahneinbauten, Querschnittsreduzierung, verkehrsregelnde Maßnahmen, baulicher Lärmschutz,
- Linienhafte Maßnahmen: städtebauliche Maßnahmen, verkehrliche Maßnahmen (Verkehrsregelung, Verkehrsverlagerung), bauliche Maßnahmen (Lärmschutzeinrichtungen, Straßenbelag), passiver Lärmschutz sowie
- Flächenhafte Maßnahmen: städtebauliche Maßnahmen wie z. B. Nutzungszuordnung, Verkehrsmaßnahmen (z. B. ÖPNV, Förderung des Radfahrverkehrs, Leitsysteme, Parkraumkonzepte).

Die Maßnahmen können dabei grundsätzlich in drei Gruppen unterteilt werden:

- Aktive Maßnahmen, die an der Quelle ansetzen (z. B. geräuschkindernder Fahrbahnbelag),
- Passive Maßnahmen am Immissionsort (z. B. Schallschutzfenster) sowie
- Planerische und organisatorische Maßnahmen (z. B. Ortsumfahrung, Verkehrsmanagement).

Die Lärmaktionsplanung steht teilweise in enger Beziehung zu anderen kommunalen Fachplanungen. Planungsrechtliche Vorgaben eines Aktionsplanes sind in den Fachplanungen zu berücksichtigen. Damit wird der Lärmschutz in sonstigen, kommunalen Planungsprozessen verankert und ihm ein entsprechendes Gewicht beigemessen.

## 5.3 LÄRMARTEN – ERKENNTNISSE UND ENTWICKLUNGEN

### 5.3.1 STRASSENVERKEHRSLÄRM

Der Straßenverkehr steht an der Spitze der Lärmverursacher, er ist auch in Baden-Württemberg nahezu allgegenwärtig. Über die Hälfte der Bevölkerung im Land fühlt sich durch den Straßenverkehr in irgendeiner Form belästigt, über 14 % sogar stark oder äußerst stark (Abb. 5.1-1). Andererseits sind bei keiner anderen Lärmart die Grenzen zwischen Verursachern und Betroffenen so unscharf wie beim Straßenverkehrslärm, denn fast jeder ist durch die Nutzung seines Pkw Mitverursacher. Der Straßenverkehrslärm hat auch großen Anteil daran, dass weite Teile der Landesfläche nicht mehr als „ruhig“ bezeichnet werden können. Als Folge sinkt der Erholungswert dieser Flächen merklich.

Lokale Maßnahmen wie z. B. Ortsumgehungsstraßen oder Lärmschutzwände führen durchaus zu Erleichterungen bei den betroffenen Menschen. Ohne solche Maßnahmen würde die Lärmbelastung heute zweifellos höher liegen. Sie wurden jedoch teilweise kompensiert, unter anderem durch kontinuierlich steigende Verkehrszahlen und höhere Fahrgeschwindigkeiten. Da auch in Zukunft mit einer Zunahme des Verkehrs zu rechnen ist, wird sich das Problem weiter verschärfen, wenn keine wirksamen Maßnahmen ergriffen werden.

Maßnahmen direkt an der Quelle, also am Fahrzeug, führten bisher noch nicht zu durchschlagendem Erfolg. Die Entwicklung der Geräuschemissionsgrenzwerte im Rahmen der Fahrzeugtypprüfung nach der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) zeigt zwar eine deutliche Reduktion von Motorgeräuschen bei Pkw und Lkw; bei der Minderung des Gesamtgeräusches, also der Summe aus Reifen-Fahrbahn-Geräusch und Motorgeräusch, wurde jedoch effektiv nur wenig erreicht. Umfangreiche Messungen im Rahmen einer Studie des TÜV Nord [TÜV NORD 2005] zeigten, dass sich die tatsächlichen Vorbeifahrtpegel von Pkw und Lieferwagen in den letzten Jahrzehnten so gut wie nicht verringerten. Lediglich bei den Lkw waren Verbesserungen feststellbar. Das liegt daran, dass das Reifen-Fahrbahn-Geräusch bereits ab 40 km/h dominiert. Daher kommen die Verbesserungen beim Motorengeräusch insgesamt nur wenig zur Geltung.

In der Vergangenheit war das Reifen-Fahrbahn-Geräusch im Gegensatz zum Motorgeräusch nicht im Blickwinkel



gesetzlicher Regelungen zur Verbesserung der Lärmemission. Dies änderte sich 2001 mit der EU-Reifenrichtlinie (2001/43/EG). Diese regelt zwar die zulässige Lärmemission von Pkw- und Lkw-Reifen, aber selbst die lautesten Reifen unterschreiten die Grenzwerte problemlos (Abb. 5.3-1). Damit laute Reifen vom Markt verschwinden, müssen zukünftige Entwicklungen hier ansetzen. Aktuell steht eine Neufassung der Richtlinie an.

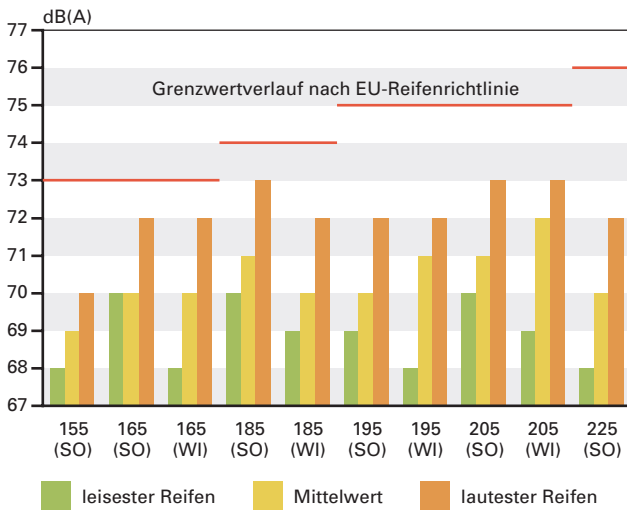


Abb. 5.3-1: Vergleich der Lärmgrenzwerte für Reifen nach der EU-Reifenrichtlinie aus dem Jahr 2001 mit Emissionswerten tatsächlich auf dem Markt befindlicher Reifen [LFU 2004b].

Die Lärmemissionen im praktischen Fahrbetrieb ist stark von der Fahrweise abhängig. Je nach dem ob man niedrig- oder hochtourig fährt, können Unterschiede in der Lärmemission von 10 dB(A) auftreten. Ein einziger rasant und hochtourig gefahrener Pkw verursacht genau so viel Lärm wie acht normal gefahrene (Abb. 5.3-2). Das entspricht ungefähr einer Verdoppelung oder Halbierung des subjektiv empfundenen Lärms. Gegenseitige Rücksichtnahme ist daher auch für die Lärminderung ein wichtiger Einflussfaktor.

Für den Neubau oder die wesentliche Änderung von Straßen sind in der Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) verbindliche Immissionsgrenzwerte festge-



Abb. 5.3-2: Der Unterschied zwischen einer lärmbewussten und einer lärmenden Fahrweise. Stand: 2006.

legt. Damit wird ein entsprechender Schallschutz sichergestellt. Dies gilt für bestehende Straßen nicht in gleicher Weise. Seit rund 30 Jahren ist, je nach Haushaltslage, an bestehenden Bundesfernstraßen eine Lärmsanierung Schritt für Schritt möglich. In Baden-Württemberg wurden dabei bis zum Jahr 2006 über 200 km Lärmschutzwände und -wälle an Bundesfernstraßen errichtet (Abb. 5.3-3). Flächendeckende Daten über Lärmschutzmaßnahmen an Landes- und Gemeindestraßen liegen nicht vor. Passive Lärmschutzmaßnahmen in Form von Lärmschutzfenstern werden bei Bundesfernstraßen ebenfalls statistisch erfasst. Bis 2006 wurden über 150 000 m<sup>2</sup> Lärmschutzfenster eingesetzt (Abb. 5.3-4). Durch Maßnahmen im Rahmen der Aktionsplanungen bei der Umsetzung der EU-Umgebungslärmrichtlinie und durch Bundesmittel zur Lärmsanierung an Straßen im Rahmen des Konjunkturprogramms II sind weitere Fortschritte zu erwarten.

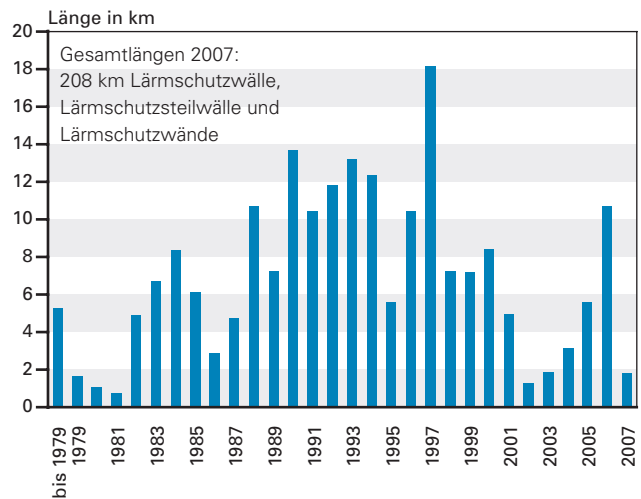


Abb. 5.3-3: Im jeweiligen Jahr neu errichtete Lärmschutzwände und -wälle an Bundesfernstraßen in Baden-Württemberg [BMVBW 2008].

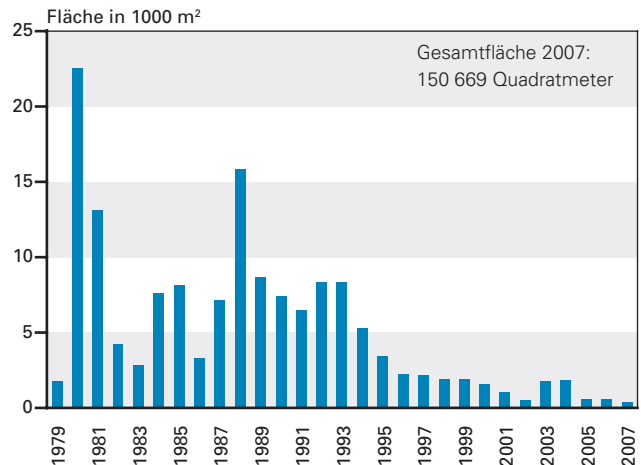


Abb. 5.3-4: Im jeweiligen Jahr neu eingebaute Lärmschutzfenster an Bundesfernstraßen in Baden-Württemberg [BMVBW 2008].

### 5.3.2 SCHIENENVERKEHRSLÄRM

Schienverkehrslärm wird von Fahrzeugen auf Schienenwegen erzeugt. Hierzu zählen Eisenbahnen (vom ICE bis zum Güterzug) und Straßenbahnen sowie S- und U-Bahnen. Hauptursache des Schienenverkehrslärms ist das Abrollen der Räder auf den Gleisen, das so genannte Rad-Schiene-Geräusch. Bei sehr hohen Geschwindigkeiten wie z. B. beim ICE mit mehr als 200 km/h kommen auch aerodynamische Geräusche hinzu. Diese werden u. a. von den hoch liegenden Stromabnehmern der Züge verursacht und daher von Schallschutzwänden entlang der Strecke nur ungenügend oder gar nicht abgeschirmt. Bei niedrigen Geschwindigkeiten kommen Antriebs-, Rangier- und Bremsgeräusche hinzu, die sich störend auswirken können. Lärm, der von Schienenfahrzeugen auf Betriebsgeländen hervorgerufen wird, ist dem Industrie- und Gewerbelärm zuzurechnen. Im Gegensatz zum nahezu flächendeckend vorhandenen Straßenverkehr ist der Eisenbahnverkehr stark gebündelt und deshalb hinsichtlich seiner Auswirkungen begrenzt. Die Belästigung konzentriert 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. 5.3-5). In den kommenden Jahren ist insgesamt mit weiteren Steigerungen 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.

Die Umgebungslärmkartierung in den Großstädten Stuttgart, Mannheim und Karlsruhe zeigte, dass aufgrund der Nähe zur Wohnbebauung auch bei den Straßenbahnen hohe Betroffenzahlen vorhanden sind.

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. Gegebenenfalls sind Schallschutzmaßnahmen vorzusehen. Unter bestimmten Voraussetzungen übernimmt die Deutsche Bahn AG als Verursacher auch die Kosten für Schallschutzfenster bei den Anwohnern. An bestehenden Streckenabschnitten haben die Anwohner keinen Rechtsanspruch auf Schallschutz. Aber auch hier werden alljährlich begrenzte Mittel eingesetzt, um zumindest schrittweise in besonders betroffenen Bereichen Minderungen zu erreichen. Inwieweit hier die bei der Lärmkartierung nach Umgebungslärmrichtlinie identifizierten kritischen Streckenabschnitte eine Lärmsanierung entsprechend den Aktionsplanungen erhalten, bleibt abzuwarten.

Typische Lärmemissionswerte für derzeit von der Deutschen Bahn AG eingesetzte Zugarten sind in Abbildung 5.3-5 dargestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit werden für einige Zugarten auch normierte Werte angegeben, die auf einheitliche Zuglänge und Fahrgeschwindigkeit bezogen sind. Unter realen Bedingungen hängen die Geräuschemissionen aber noch von verschiedenen weiteren Faktoren ab. So ist etwa der Zustand des Gleises und hier insbesondere der Grad der Verriffelung der Schienenauflflächen von besonderer Bedeutung. Das Schleifen stark verriffelter Gleise kann die Geräuschpegel schiebengebremsster Personenzüge teilweise um bis zu 10 dB(A) absenken. 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

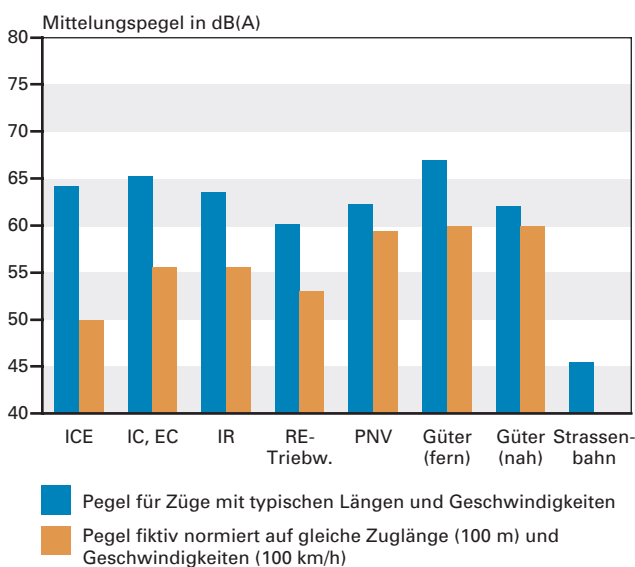


Abb. 5.3-5: Mittelungspegel für verschiedene Zugarten der Deutschen Bahn AG im Vergleich (25 m Abstand, 1 Zug pro Stunde.) Quelle: Deutsche Bahn AG, LUBW. Stand: 2005.



bei Scheibengebremsten Personenzügen um durchschnittlich 0,7 dB(A) pro Jahr, bei Güterzügen um jährlich etwa 0,3 dB(A) erhöhen. Daher wird der Deutschen Bahn AG im Rahmen der Planung von Neu- und Ausbaustrecken 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.

### 5.3.3 FLUGLÄRM

Der Flugbetrieb und der damit zusammenhängende Fluglärm wird in Baden-Württemberg insbesondere durch den Großflughafen Stuttgart, die überregionalen Flughäfen Karlsruhe/Baden-Baden (Baden Airpark), Friedrichshafen und Mannheim sowie in Südbaden durch den Flughafen Zürich-Kloten geprägt. Daneben gibt es im Land noch über 160 zivil genutzte Flugplätze, die relativ gleichmäßig über die Landesfläche verteilt sind. Den zahlenmäßig größten Anteil bilden Segelflugplätze, gefolgt von Hubschrauberlandeplätzen bei Krankenhäusern und Industrieunternehmen.

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 in Baden-Württemberg 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. 5.1-1). Eine im Jahr 2008 abgeschlossene internationale Studie konnte zeigen, dass insbesondere Nachtflüge gesundheitlich ungünstige Auswirkungen auf die Anwohner haben. So konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen Bluthochdruck und Fluglärm nachgewiesen werden.

Außerdem führt nächtlicher Fluglärm zu einem Anstieg des Arzneimittelverbrauchs im Einwirkungsbereich des Flughafens. Dies ist das Ergebnis einer epidemiologischen Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, in deren Verlauf Daten gesetzlicher Krankenkassen ausgewertet wurden. Anwohner, die nächtlichem Fluglärm ausgesetzt waren, wiesen deutlich höhere Verordnungsraten und -mengen auf als solche aus ruhigen Wohngebieten. Dies betraf u. a. Arzneimittel mit blutdrucksenkender Wirkung, zur Behandlung von Herz-Kreislaufkrankungen und zur Beruhigung [UBA 2008c].

Mit der Neufassung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm wurde das 36 Jahre alte Fluglärmgesetz im Juni 2007 abgelöst (FluLärmG). In Baden-Württemberg werden im Jahr 2009 die Lärmschutzzonen der Flughäfen Stuttgart, Mannheim, Karlsruhe/Baden-Baden und Friedrichshafen durch die LUBW neu ermittelt und in einer Landesverordnung festgelegt werden.

Unter Fluglärmgesichtspunkten 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 auch weiter ansteigen. Obwohl moderne Düsenjets bereits erheblich leiser sind als früher, bestehen noch große technische Potenziale für eine weitere Minderung der Lärmemissionen.

Im Einwirkungsbereich des Flughafens Stuttgart ist es gelungen, trotz kontinuierlich steigender Flugzahlen sinkende Dauerschallpegel zu erreichen (Abb. 5.3-6 und 5.3-7). Dies ist nur möglich, wenn das einzelne Fluglärmereignis geringere Maximalschallpegel aufweist, wenn also leisere Flugzeuge verkehren. Ein Grund für diesen Erfolg sind u. a. die lärmbezogenen Start- und Landegebühren. Laute Flugzeuge zahlen deutlich mehr als leisere. Trotz allem wird der Flugverkehr im Einwirkungsbereich des Flughafens Stuttgart weiterhin störenden Lärm für die Anwohner verursachen. Man kommt nicht umhin, passive Schallschutzmaßnahmen bei besonders betroffenen Anwohnern

Tab. 5.3-1: Werte des äquivalenten Dauerschallpegels für die Lärmschutzzonen ziviler Flugplätze nach Fluglärmgesetz (2007). Schutzzonen sind jeweils diejenige Gebiete in denen der durch den Fluglärm hervorgerufene Pegel die angegebenen Werte übersteigt.

Zone	Bestehende Flugplätze	Neue oder wesentlich geänderte Flugplätze (bis 31.12.2010)	Neue oder wesentlich geänderte Flugplätze (ab 1.1.2011)
Tag-Schutzzone 1	65 dB(A)	60 dB (A)	60 dB (A)
Tag-Schutzzone 2	60 dB(A)	55 dB (A)	55 dB (A)
Nacht-Schutzzone	55 dB (A)	53 dB (A)	50 dB (A)

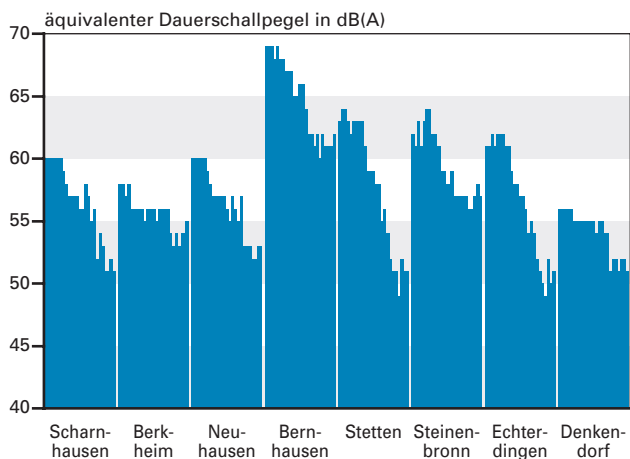


Abb. 5.3-6: Äquivalenter Dauerschallpegel an den Fluglärmmessstationen im Einwirkungsbereich des Flughafens Stuttgart 1982-2006 [FLUGLÄRMSCHUTZBEAUFTRAGTER 2007].

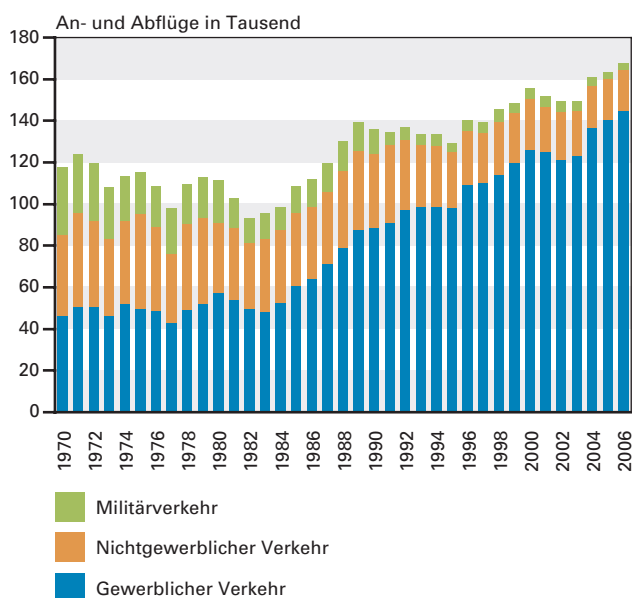


Abb. 5.3-7: Flugbewegungen (An- und Abflüge) am Flughafen Stuttgart 1970 bis 2006 [FLUGLÄRMSCHUTZBEAUFTRAGTER 2007].

finanziell zu unterstützen, um die Belästigung innerhalb der Wohnungen zu begrenzen. Dabei handelt es sich um Schallschutzfenster, in Schlafzimmern zusätzlich mit Schalldämmlüftern. Mit solchen Maßnahmen kann zumindest für einen erholsamen Schlaf gesorgt werden, der für die Gesundheit sehr wichtig ist.

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 durch Fluglärm. Mit Unterstützung des Landes Baden-Württemberg werden daher in der etwa 15 km vom Flughafen entfernten Gemeinde Hohentengen (Landkreis Waldshut) und in Hohentengen-Herdern

zwei Fluglärmmessstationen betrieben. In Hohentengen ist festzustellen, dass die nächtliche Belastung gegenüber früher deutlich zurückging, während die Tagwerte stagnieren. In Herdern zeigen neben den Nachtwerten auch die Tagwerte ab Anfang 2001 einen leichten Rückgang (Abb. 5.3-8 und 5.3-9). Abbildung 5.3-10 zeigt einen typischen Pegelverlauf, wenn frühmorgens ab 6.00 Uhr nach den Nachtflugbeschränkungen in Herdern wieder die ersten Maschinen registriert werden; auch im weiteren Tagesverlauf werden Phasen mit dichtem Flugverkehr verzeichnet (Abb. 5.3-11).

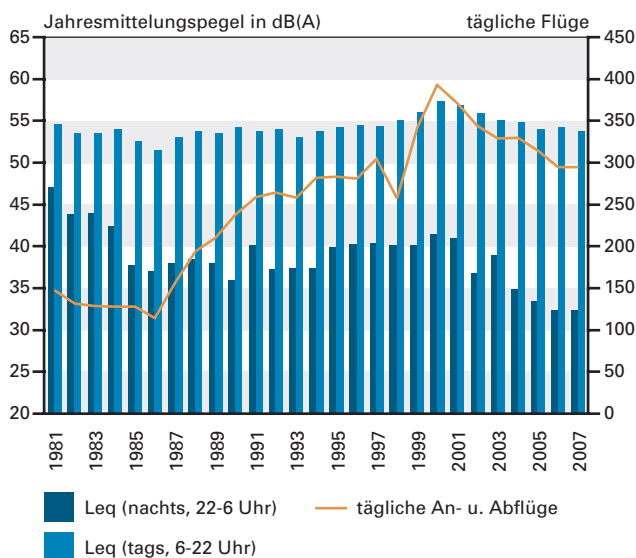


Abb. 5.3-8: Jahresmittelungspegel (Leq = energieäquivalenter Mittelungspegel) und Mittelwert der täglichen Flugzahlen an der Fluglärmmessstation Hohentengen. Quelle: Landkreis Waldshut, LUBW. Stand: 2008

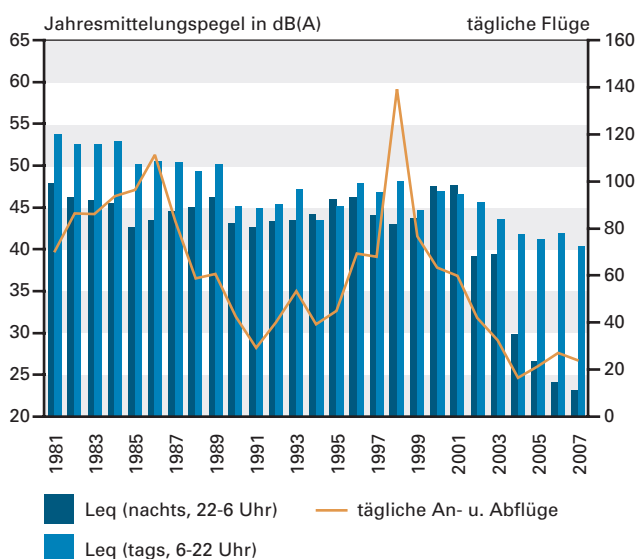


Abb. 5.3-9: Jahresmittelungspegel (Leq = energieäquivalenter Mittelungspegel) und Mittelwert der täglichen Flugzahlen an der Fluglärmmessstation Hohentengen-Herdern. Quelle: Landkreis Waldshut, LUBW. Stand: 2008

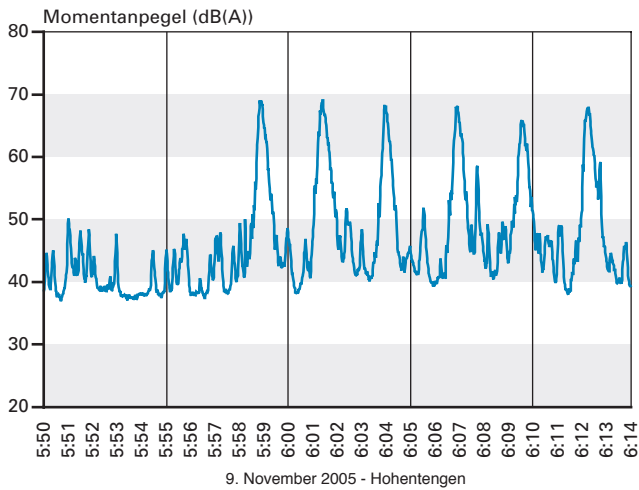


Abb. 5.3-10: Fluglärm – typischer frühmorgendlicher Pegel-Zeitverlauf (Hohentengen, 9.11.2005 ab 5.50 Uhr bis 6.14 Uhr). Quellen: Landkreis Waldshut, LUBW. Stand: 2005

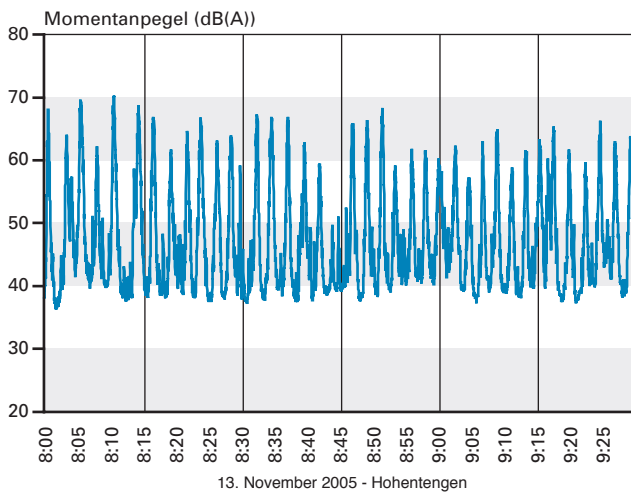


Abb. 5.3-11: Fluglärm – typischer Pegel-Zeitverlauf am Tag (Hohentengen, 13.11.2005 ab 8.00 Uhr bis 9.30 Uhr). Quellen: Landkreis Waldshut, LUBW. Stand: 2005

### 5.3.4 INDUSTRIE- UND GEWERBELÄRM

Gewerbliche Betriebe und Anlagen – hierzu zählen Handwerksbetriebe ebenso wie große Industrieanlagen – können Quellen störender Lärmemissionen sein. Das Spektrum ist äußerst vielfältig: Vom Lüfter der Klimaanlage einer Bank über das Hämmern und Sägen in einer Schreinerei sind in der Praxis viele Geräuschsituationen anzutreffen.

Im Zusammenspiel von industrieller bzw. gewerblicher Nutzung mit Wohnnutzungen kommt es immer wieder zu Konfliktsituationen, die lokal erhebliche Ausmaße annehmen können. Dabei stehen die Lärmeinwirkungen, zum Teil als tieffrequenter Schall und in Verbindung mit Erschütterungen, häufig ganz im Vordergrund. Insgesamt ist festzustellen, dass die Belästigungssituation der Bevölkerung im Bereich Industrie und Gewerbe gleich bleibt.

Gleichbleibend fühlten sich 2 % bis 4 % der Bevölkerung durch industrielle Lärmquellen „stark“ oder „äußerst stark“ belästigt (Abb. 5.3-12). Konflikte zwischen Gewerbebetrieben und der Nachbarschaft sind daher im Unterschied zu anderen Lärmarten weder ein generelles noch flächenhaftes Problem. Dies ist 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 werden auch die prognostizierten Lärmemissionen geprüft und bewertet. Die genehmigungsbedürftigen Anlagen sind in der 4. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz aufgeführt (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV). Aber auch gewerbliche Anlagen, die lediglich einer Baugenehmigung bedürfen, müssen die in der TA Lärm festgelegten Immissionsrichtwerte in ihrer Nachbarschaft einhalten (Tab. 5.3-2). Für Tageszeiten mit erhöhter Empfindlichkeit sind in der TA Lärm Zuschläge festgelegt. Für besonders kritische Geräuschspitzen gibt es Obergrenzen. Genehmigungsbedürftige und nicht genehmigungsbedürftige Industrie- und Gewerbeanlagen werden in der TA Lärm weitgehend gleich behandelt. Für Notsituationen, seltene Ereignisse

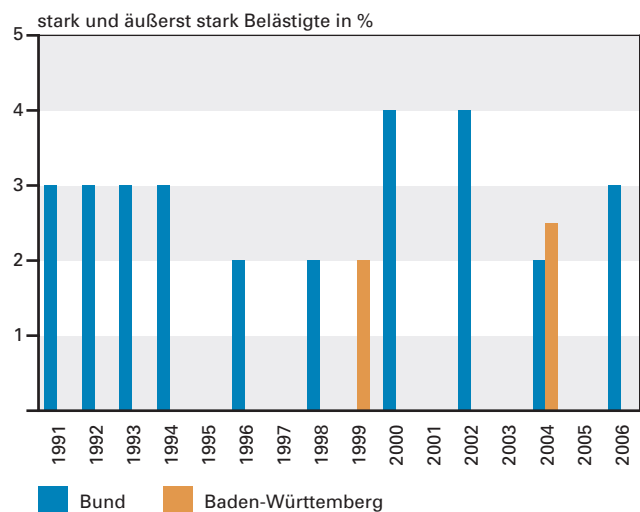


Abb. 5.3-12: Subjektive Belästigung der Bevölkerung (in Prozent) durch Industrie- bzw. Gewerbelärm in Deutschland und Baden-Württemberg im jeweiligen Wohnumfeld (nur stark und äußerst stark Belästigte) [SRU 2004] [LfU 2004a].

Tab. 5.3-2: Immissionsrichtwerte nach der TA Lärm (Stand 2008).

	Tags 6.00-22.00 Uhr	Nachts 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 Kleinsiedlungsgebieten	55 dB(A)	40 dB(A)
in reinen Wohngebieten	50 dB(A)	35 dB(A)
in Kurgebieten, für Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45 dB(A)	35 dB(A)
<b>für einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen:</b>		
maximal zulässige Überschreitung des Immissionsrichtwertes um	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>		
bei Geräuschübertragungen innerhalb von Gebäuden oder bei Körperschallübertragung in betriebsfremden schutzbedürftigen Räume unabhängig von der Lage des Gebäudes in einem der unter 1. genannten Gebäude	35 dB(A)	25 dB(A)
<b>für einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen:</b>		
maximal zulässige Überschreitung des Immissionsrichtwertes um	10 dB(A)	10 dB(A)

nisse, 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 trotz stetiger Zunahme von Produktivität und Siedlungsdichte ein moderates Belästigungsniveau gehalten werden. Auch Innovationen in der technischen Arbeitswelt sowie 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.

Schon seit Jahren verzeichnen LUBW und Vollzugsbehörden in Baden-Württemberg einen Anstieg an Betroffenheiten und Beschwerden wegen tieffrequenter Geräusche. Diese Geräusche werden umgangssprachlich als „Brumnton“ bezeichnet. Geht man den Fällen nach, so lassen sich bei einem Teil tatsächliche Ursachen auffinden. In vielen

anderen Fällen jedoch bleibt die Ursache unklar und ist trotz hoher subjektiver Betroffenheit der Personen vor Ort messtechnisch nicht nachzuweisen.

### 5.3.5 LÄRM IM WOHNUMFELD – NACHBARSCHAFT, FREIZEIT UND SPORT

Umfrageergebnisse zeigen immer wieder, dass laute Nachbarn zu den bedeutenden Belästigungsursachen zählen. Immerhin rund 6 % der Bevölkerung fühlen sich durch Nachbarn „stark“ oder „äußerst stark“ belästigt, weitere 8 % fühlen sich „mittelmäßig“ belästigt. Lärmende Nachbarn liegen in der Skala der lästigsten Lärmquellen an dritter Stelle, noch vor dem Schienenverkehrslärm und dem Lärm durch Industrie und Gewerbe (Abb. 5.1-1). Ohne gegenseitige Rücksichtnahme und einen respektvollen Umgang miteinander ist in der Regel wenig zu erreichen. Ursache kann aber auch unzureichender baulicher Schallschutz sein, der zu lästigen Geräuschübertragungen innerhalb von Wohnhäusern führt. Auch der steigende Freizeitanteil führt zu Konflikten mit Menschen, die Ruhe und Erholung suchen. In jüngerer Zeit sind auch immer wieder nachbarschaftliche Probleme durch den Betrieb technischer Aggregate wie z. B. Wärmepumpen zu verzeichnen. Sind sie außen aufgestellt, kann es insbesondere nachts zu Belästigungen der Nachbarschaft kommen.

Vermehrt werden im Wohnumfeld auch das Glockengeläute und der Uhrschlag der Kirchen von einem Teil der Anwohner als störend empfunden. Die LUBW hat hierzu ein Infoblatt erstellt, das im Internet verfügbar ist. Problematisch ist oftmals der nächtliche Uhrschlag. Dieser wird nach der TA Lärm beurteilt (Tab. 5.3-2). Ausschlaggebend sind hier die Nachtstunden zwischen 22.00 Uhr und 6.00 Uhr, in welchen strengere Immissionsrichtwerte gelten, die oftmals vom Uhrschlag nahe gelegener Kirchen nicht eingehalten werden. In vielen Fällen wurde Abhilfe durch das Abstellen des nächtlichen Uhrschlages erreicht. Das liturgische Glockengeläute hingegen ist regelmäßig als sozialadäquat zu betrachten und zu tolerieren.

Der Lärm durch Sport- und Freizeitanlagen ist in Baden-Württemberg verglichen mit den anderen Lärmarten am wenigsten belästigend. Nur 1 % bis 2 % der Bevölkerung fühlen sich „stark“ oder „äußerst stark“, weitere 2 % mittelmäßig belästigt (Abb. 5.1-1). Sportanlagen fallen unter die Regelungen der 18. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Sportanlagenlärmschutzverordnung –

18. BImSchV). Darin sind Immissionsrichtwerte festgelegt, die durch den Trainings- und Spielbetrieb von Sportanlagen nicht überschritten werden dürfen. Anlagen für den Schulsport genießen einen privilegierten Status.

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 Maschinenlärm-schutzverordnung (32. BImSchV), werden unter anderem örtliche und zeitliche Betriebsbeschränkungen für insgesamt 57 besonders lärmintensive Maschinen und Geräte im Freien festgelegt (Tab. 5.3-3). 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 2006 verschärft wurden (2000/14/EG).

Tab. 5.3-3: Betriebsbeschränkungen für lärmintensive Geräte und Maschinen in Wohngebieten. Quelle: 32. BImSchV 2008.

Betriebsbeschränkungen für lärmintensive Geräte und Maschinen in Wohngebieten im Freien (nach 32. BImSchV)	
Generelles Betriebsverbot	- an Sonn- und Feiertagen - an Werktagen von 20.00-7.00 Uhr.
Betriebsverbot für - Freischneider, - Gastrimmer, - 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.

## INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

mehr Informationen im Internet-Themenportal ‚Lärm‘ der LUBW:

[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

Informationen und Angebote des Umweltministeriums Baden-Württemberg:

[www.schullaerm.baden-wuerttemberg.de](http://www.schullaerm.baden-wuerttemberg.de)

Kartierungsergebnisse:

Ballungsraum Stuttgart: [www.stadtlima-stuttgart.de/index.php?laerm\\_lmp\\_stgt\\_eu\\_karten](http://www.stadtlima-stuttgart.de/index.php?laerm_lmp_stgt_eu_karten)

Ballungsraum Mannheim: [www.mannheim.de/io2/browse/webseiten/umwelt\\_verkehr/laermminderungsplanung](http://www.mannheim.de/io2/browse/webseiten/umwelt_verkehr/laermminderungsplanung)

Ballungsraum Karlsruhe: [www.karlsruhe.de/bauen/bauenplanen/laermminderung](http://www.karlsruhe.de/bauen/bauenplanen/laermminderung)

weitere Kartierungsergebnisse im Internet-Themenportal ‚Lärm‘ unter ‚Umgebungsärmkartierung‘ der LUBW:  
[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

Umgebungsärmkartierung des Eisenbahn-Bundesamtes:  
[www.eba.bund.de/cln\\_005/nn\\_204680/de/fachthemen/umgebungslaermkartierung/laermkartierung\\_node.html](http://www.eba.bund.de/cln_005/nn_204680/de/fachthemen/umgebungslaermkartierung/laermkartierung_node.html)

Umweltbundesamt:  
[www.umweltbundesamt.de/](http://www.umweltbundesamt.de/)

Ermittlung der Geräuschemission von Kfz im Straßenverkehr (TÜV Nord 2005):  
[www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2952.pdf](http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2952.pdf)

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung:  
[www.bmvbs.de](http://www.bmvbs.de)



# 6 Wasser

Die europäische Wasserrahmenrichtlinie, kurz WRRL (2000/60/EG) setzt als Ziel, bis zum Jahr 2015 für alle oberirdischen Gewässer den ‚guten ökologischen und guten chemischen Zustand‘ und im Grundwasser einen ‚guten chemischen und quantitativen Zustand‘ zu erreichen. Sie enthält detaillierte Vorgaben zur Bewertung der Gewässer und hat damit die Überwachung insbesondere der Oberflächengewässer entscheidend beeinflusst und verändert. Dies schlägt sich auch in den folgenden Kapiteln 6.1, 6.3 und 6.4 nieder, die sich deshalb teilweise deutlich von den bisher veröffentlichten ‚Umweltdaten‘ unterscheiden.

Die wesentlichste Neuerung ist, dass die Bewertung der Oberflächengewässer – also der Fließgewässer und Seen – sehr stark durch das Besiedelungsbild der Tiere und Pflanzen bestimmt wird, das mit dem natürlichen Zustand verglichen wird. Die maßgeblichen Organismengruppen sind dabei neben dem in der ‚klassischen‘ biologischen Gewässergüte bisher schon betrachteten Makrozoobenthos (wirbellose Tiere des Gewässerbodens) die Fische, die höheren Wasserpflanzen und die Algen. Für das Grundwasser sind die Anforderungen durch die EU-Grundwasserrichtlinie (2006/118/EG vom 12.12.2006) konkretisiert.

## 6.1 GRUNDWASSER

### 6.1.1 GRUNDWASSERBESCHAFFENHEITSMESSNETZ

In Baden-Württemberg gibt es seit 25 Jahren ein Messnetz zur Erfassung der Grundwasserbeschaffenheit. Ein repräsentatives Grundwasserbeschaffenheitsmessnetz mit den zugehörigen Untersuchungsprogrammen und aktuellen Datendiensten dient der Dokumentation des Grundwasserzustands. Es ist zugleich ein Frühwarnsystem für großräumige natürlich und menschlich bedingte Veränderungen des Grundwassers, verursacht beispielsweise durch Versauerung, Klimawandel, Bewirtschaftungsänderungen und Grundwassernutzungen. Es ist auch ein Instrument für Verbesserungs- und Eingriffsmöglichkeiten. Das Grundwassermessnetz besteht aus mehreren Komponenten:

- durch menschliche Aktivitäten möglichst unbeeinflusste Basismessstellen,

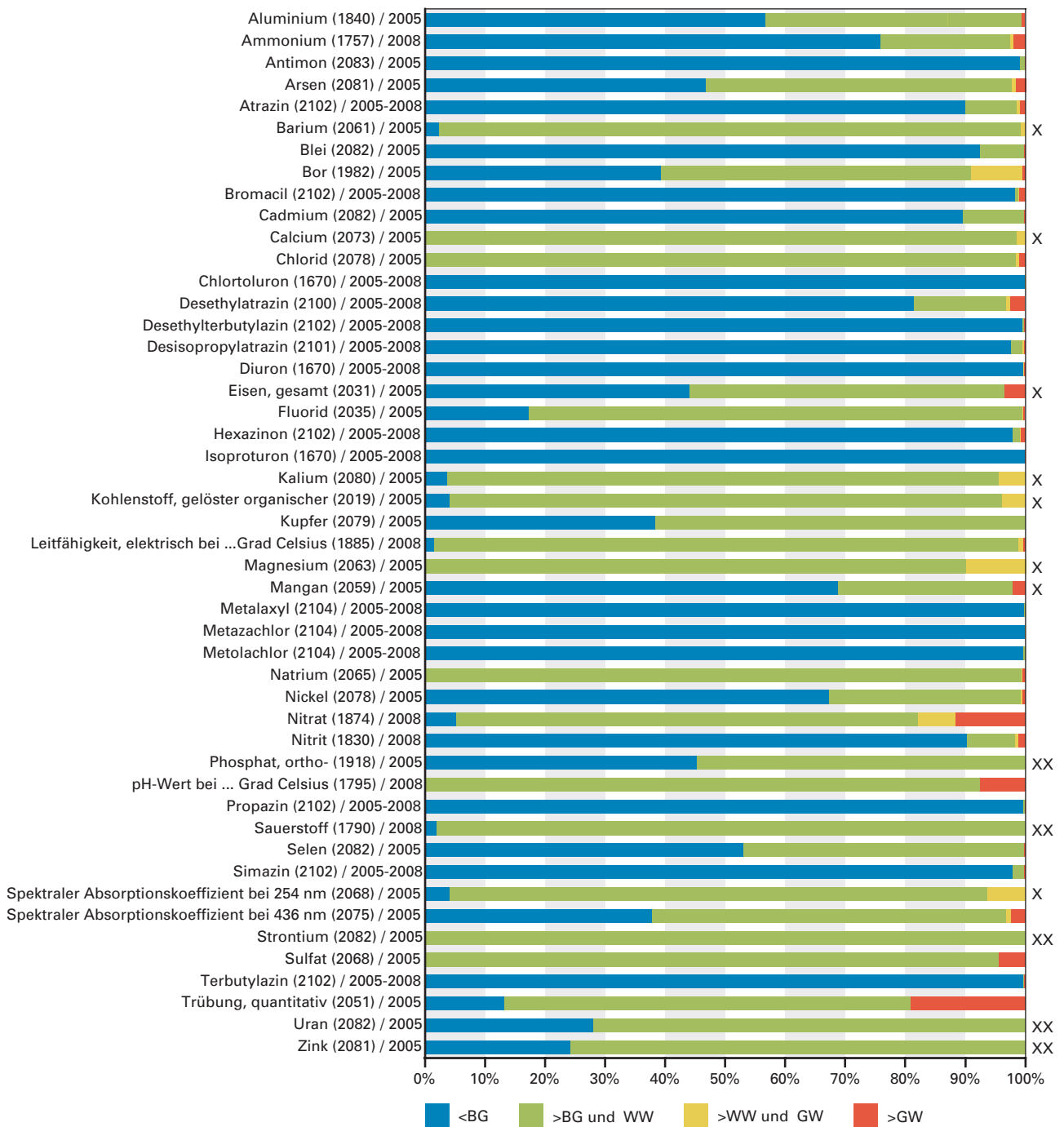
- Rohwassermessstellen der öffentlichen Wassergewinnungsanlagen und Vorfeldmessstellen im Zustrombereich von Rohwasserfassungen,
- Emittentenmessstellen im Einflussbereich von Landwirtschaft, Industrie, Siedlung und sonstigen potenziellen Emittenten wie Bahnanlagen, Abwassersammler oder Kläranlagen,
- Quellen im Festgesteinsbereich.

### 6.1.2 GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT

Je nach Region hat jedes Grundwasser seine charakteristische Zusammensetzung, abhängig unter anderem von Bodenbedeckung, Untergrundverhältnissen und hydrologischen Einflüssen. Zusätzlich zu dieser ‚natürlichen‘ Beschaffenheit ist das Grundwasser im dicht besiedelten und hoch industrialisierten Baden-Württemberg auch unterschiedlich durch den Menschen beeinflusst. Gesetzlich geregelte Grenzwerte für das Grundwasser gibt es in der EU-Grundwasserrichtlinie als ‚Grundwasserqualitätsnorm‘ nur für die Parameter Nitrat und die Pflanzenschutzmittel. ‚Schwellenwerte‘ für weitere zehn Parameter sind von den Mitgliedsstaaten noch festzulegen. Weiterhin ist der Trend der Belastung zu betrachten. Bei steigenden Trends wird eine Trendumkehr gefordert. Für die Mehrzahl der Grundwasserparameter existieren jedoch keine Grenzwerte oder sonstige Vorgaben, so dass in diesen Fällen als Orientierungshilfe für deren Beurteilung die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung vom 21.05.2001 (TrinkwV 2001) und die durch das Grundwasserüberwachungsprogramm eingeführten Warnwerte herangezogen werden. Nur ein Teil der Messstellen des Grundwasserüberwachungsprogramms sind Rohwasserbrunnen für Trinkwasserzwecke. Ansonsten sind die Messstellen Beobachtungsrohre oder Brunnen und Quellen, die meist keiner Nutzung unterliegen.

Abbildung 6.1-1 gibt einen Überblick über die Beprobungsergebnisse. Drei Problemfelder bestehen dabei:

- Landwirtschaftliche Belastungen aus der Stickstoffdüngung (Nitrat, Nitrit, Ammonium),
- Pflanzenschutzmittelanwendungen, z. T. auch auf nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen,
- Versauerung durch sauren Regen (vgl. Kap. 8.4.4).



in Klammern Anzahl der Messwerte / Beprobungsjahr bzw. -zeitraum;

BG = Bestimmungsgrenze

WW = Warnwert des Grundwasserüberwachungsprogrammes

GW = Grenzwert der TrinkwV 2001, bei Nitrat und den Pflanzenschutzmitteln auch Qualitätsnorm der EU-Grundwasserrichtlinie

X = kein Warnwert des Grundwasserüberwachungsprogramms oder kein Grenzwert in der TrinkwV festgelegt

XX = kein Warnwert des Grundwasserüberwachungsprogramms und kein Grenzwert in der TrinkwV festgelegt

LUBW

Abb. 6.1-1: Ergebnisse der Beprobungen 2005 bis 2008: Prozentuale Verteilung der Messwerte. Stand: 2009

### 6.1.2.1 NITRAT

In Baden-Württemberg wird fast die Hälfte der Landesfläche landwirtschaftlich genutzt. Der damit verbundene Einsatz an stickstoffhaltigen Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln führt zu einem flächenhaften Eintrag dieser

Agrochemikalien in das Grundwasser. Im Jahr 2008 wurde Nitrat an 1 874 Messstellen des Landesmessnetzes untersucht. An etwa 70 % der Messstellen liegen die Nitratwerte über der ‚natürlichen Hintergrundkonzentration‘ von rund 10 mg/l. Der Warnwert von 40 mg/l wird an nahezu jeder

sechsten Messstelle überschritten, die Qualitätsnorm der EU-Grundwasserrichtlinie bzw. der Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 50 mg/l an jeder neunten Messstelle. Bei den Landesmessstellen mit für die öffentliche Wasserversorgung genutztem Rohwasser liegt der Nitratwert 2008 an jeder 16. Messstelle über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung bzw. der Qualitätsnorm der EU-Grundwasserrichtlinie, an Messstellen im landwirtschaftlichen Ein-

flussbereich jedoch an jeder vierten. Die in Abbildung 6.1-2 dargestellten Belastungsschwerpunkte sind insbesondere Bereiche mit Maisanbau und Sonderkulturen wie Reben oder Gemüse.

Die mittelfristige Änderung der Nitratkonzentration wird anhand an Landesmessstellen ermittelt, bei denen durchgehend von 1994 bis 2008 Messwerte vorliegen (Abb. 6.1-3).

Diese 1 518 jährlich im Herbst beprobten Landesmessstellen (Abb. 6.1-3: ‚Alle‘) repräsentieren rund 80 % des 2008 beprobten Gesamtmessnetzes. Bei fallendem Gesamttrend sinkt der Mittelwert 27,6 mg/l im Jahr 1994 auf den niedrigsten Wert von 23,2 mg/l im Jahr 2004. Danach erfolgt bis 2007 ein Anstieg auf 24,4 mg/l, in erster Linie verursacht durch das Trockenjahr 2003, als die landwirtschaftlichen Erträge weit unter dem Durchschnitt lagen und diese Ernteeinbußen zum Düngzeitpunkt noch nicht vorhersehbar waren. Das ‚Zuviel‘ an Dünger zeigte sich im Herbst 2003 in erhöhten Werten an Bodenstickstoff, der sich in den Jahren 2005 bis 2007 auch in einem Anstieg der Nitratkonzentration im Grundwasser äußert. 2008 setzt sich der seit 1994 festgestellte fallende Gesamttrend nach den Unterbrechungen in den Jahren 2005 bis 2007 wieder fort. Die Belastungssituation entspricht in etwa der der Jahre 2003/2004. Seit 1994 hat die landesweite Belastung um etwa 15 % abgenommen. Das Trendverhalten für das Grundwasser im Einflussbereich der landwirtschaftlichen Nutzung und auch in Wasserschutzgebieten beim Rohwasser für die öffentliche Wasserversorgung stellt sich ähnlich dar. In Baden-Württemberg werden rund 71 % des Trinkwassers aus Grundwasser gewonnen. Durch Ausweisung von Wasserschutzgebieten kommt diesen Wasservorkommen ein erhöhter Schutz zu. Darüber hinaus regelt in Baden-Württemberg die Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO) seit 1988 die Landbewirtschaftung in allen rechtskräftig festgesetzten und vorläufig angeordneten Wasserschutzgebieten. Ziel ist der Schutz des Grundwassers u. a. vor Nitratreinträgen sowie die schnellstmögliche Sanierung nitratbelasteter Grundwasservorkommen durch Grundwasser schonende Bewirtschaftungsmaßnahmen. Nach der 2001 novellierten SchALVO werden die Wasserschutzgebiete je nach Belastung in Gebiete mit niedriger Nitratbelastung, Nitratproblemgebiete und Nitratsanierungsgebiete eingeteilt. Der stärkste mittlere Nitratrückgang seit 2001 ist mit rund 8 % in den Sanierungsgebieten zu beobachten (Abb. 6.1-4).

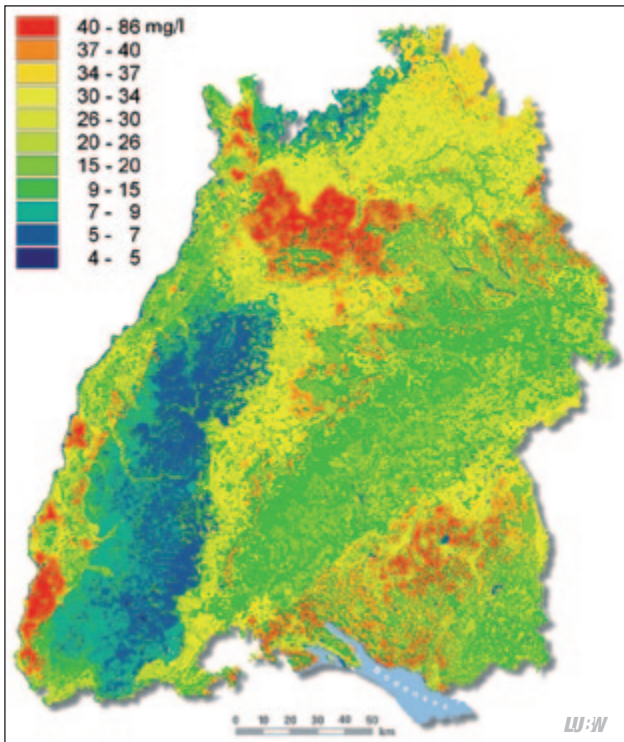


Abb. 6.1-2: Konzentrationsverteilung von Nitrat im oberflächennahen Grundwasser 2008 – regionalisierte Darstellung. Stand: 2009

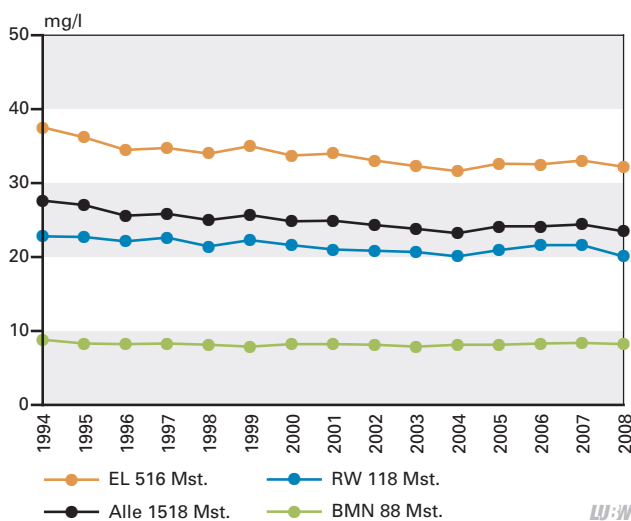


Abb. 6.1-3: Mittelfristige Trends der mittleren Nitratkonzentrationen für jährlich im Herbst beprobte Messstellengruppen – Gesamtsituation innerhalb und außerhalb von Wasserschutzgebieten; EL – Einflussbereich Landwirtschaftliche Nutzung; Alle – alle Landesmessstellen; RW – Rohwasser; BMN – Teilmessnetz Hintergrundkonzentration; Mst. – Messstellen; Daten: Landesmessstellen. Stand: 2009

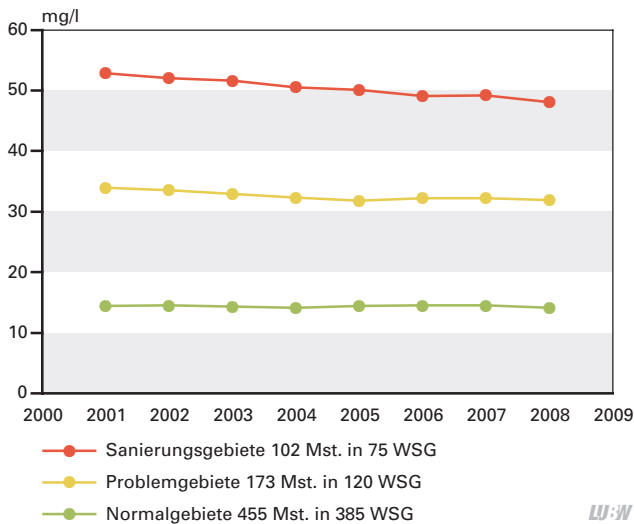


Abb. 6.1-4: Mittelfristige Trends der mittleren Nitratkonzentrationen für jährlich beobachtete Messstellen (Mst.) in Wasserschutzgebieten (WSG); Datenquelle: Landesmessstellen und Kooperationsmessstellen der Wasserversorgungsunternehmen (nur für die WSG-Einstufung maßgebliche Messstellen. Stand: 2009

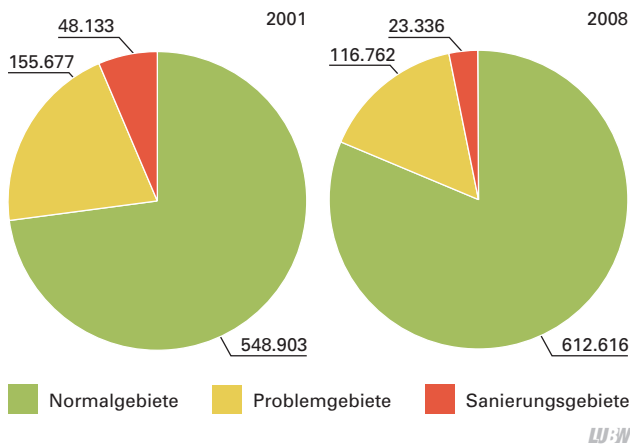


Abb. 6.1-5: Veränderung der konsistenten Wasserschutzgebietsflächen (ha) von 2001 bis 2008, Einstufung gemäß SchALVO, Gesamtfläche jeweils 752 713 ha. Stand: 2009

Auch in den Problemgebieten ist mit rund 5 % Abnahme eine Verbesserung zu erkennen. In den gering belasteten ‚Normalgebieten‘ gibt es keine wesentlichen Veränderungen.

Der Rückgang der Belastung zeigt sich auch bei Betrachtung identischer Flächen, die sowohl 2001 als auch 2008 als Wasserschutzgebiete ausgewiesen waren (konsistente WSG-Flächen). So ging durch Herabstufungen die Fläche der Sanierungsgebiete um 51,5 % und die Fläche der Problemgebiete um 25 % zurück (Abb. 6.1-5).

#### UMSETZUNG DER WRRL IM BEREICH GRUNDWASSER

In Baden-Württemberg wurden 37 Grundwasserkörper (GWK) abgegrenzt. Die Bestandsaufnahme der Ist-Situation der GWK 2004 ergab, dass alle Grundwasserkörper

mengenmäßig in gutem Zustand sind. Bei der Beurteilung des chemischen Zustands zeigte sich, dass 23 GWK gefährdet sind, das Ziel des ‚guten Zustands‘ hinsichtlich Nitrat nicht zu erreichen, wenn keine weiteren Maßnahmen ergriffen werden (so genannte ‚gefährdete Grundwasserkörper‘ – gGWK). Bei Chlorid besteht diese Gefahr bei einem GWK. Beim Nitrat entspricht dies 18 % der Landesfläche, beim Chlorid 0,1 %.

In den Jahren 2005/2006 schloss sich eine zielgerichtete Untersuchung in den gGWK an. Dazu wurde das bereits vorhandene Grundwassermessnetz durch zusätzliche Messstellen verdichtet. Die anhand von Modellrechnungen ermittelten Stickstoffausträge der Jahre 1985, 1995 und 2004 wurden mit den Untersuchungsergebnissen im Grundwasser verglichen, eine gute Übereinstimmung wurde nachgewiesen. Anhand eines mit der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser abgestimmten Verfahrens wurden dann die Flächen identifiziert, bei denen weitere Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers erforderlich sind.

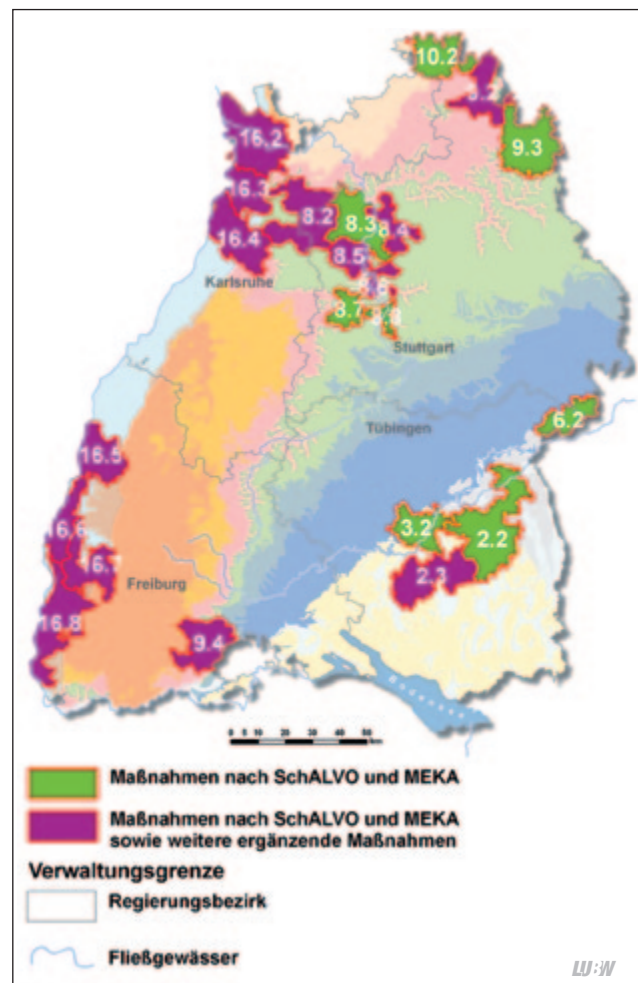


Abb. 6.1-6: Gefährdete Grundwasserkörper mit ergänzenden Maßnahmen der Landwirtschaft. Stand: 2009



In allen gGWK werden schon seit längerem verschiedene Maßnahmen zur Verminderung des Stickstoffeintrags durchgeführt. Die Auswertungen zeigen, dass in acht gGWK das Ziel des ‚guten Zustands‘ bei Weiterführung der bisherigen Maßnahmen bis 2015 erreicht wird (Abb. 6.1-6). In 14 gGWK sind zur Zielerreichung weitere nutzungs- und problemorientierte Maßnahmen zu ergreifen. Der gGWK 8.9 – Obere Würm – wird aufgrund der Ergebnisse des Monitorings nicht weiter als gefährdet im Sinne der WRRL eingestuft. In Arbeitskreisen auf Ebene der Regierungspräsidien wurden Maßnahmen zur Verbesserung des Zustandes erarbeitet. Bis Ende 2009 werden verbindliche Bewirtschaftungspläne einschließlich konkreter Maßnahmenprogramme aufgestellt.

### 6.1.2.2 PFLANZENSCHUTZMITTEL UND DEREN METABOLITE

In Deutschland sind 250 Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe in rund 1 070 Handelsprodukten auf dem Markt (Stand April 2009). Im Jahr 2008 entfiel der mit 48,8 % mengenmäßig größte Anteil auf die Herbizide, gefolgt von den Fungiziden mit 34,8 % und den Insektiziden mit rund 3 %. Die meisten Pflanzenschutzmittel werden in der Landwirtschaft eingesetzt, nur etwa 1,3 % der abgesetzten Wirkstoffmenge entfällt auf den Bereich Haus und Garten. Weiterhin werden Herbizide auf Nichtkulturland wie auf Böschungen, Betriebsflächen, Flugplätzen, Gleisanlagen, Straßen sowie auf Parkplätzen angewendet, um diese Flächen von Pflanzenbewuchs freizuhalten.

Die Auswertung der Daten von 94 häufig gemessenen Wirkstoffen und fünf Metaboliten (Abbauprodukten) im Zeitraum 1999 bis 2008 zur Beschreibung der Gesamtsituation zeigt:

- 43 Substanzen wurden an keiner einzigen Messstelle gefunden, darunter 1 Metabolit, 30 nicht mehr zugelassene und 12 zugelassene Wirkstoffe.
- Positive Befunde in Konzentrationen unter dem Wert 0,1 µg/l traten bei 36 Stoffen auf (1 Metabolit, 21 nicht mehr zugelassene und 14 zugelassene Wirkstoffe).
- Positive Befunde über dem Wert 0,1 µg/l (Grundwasserqualitätsnorm der WRRL) an bis zu 1 % der Messstellen werden durch 21 Stoffe verursacht (2 Metaboliten, 7 nicht mehr zugelassene und 12 zugelassene Wirkstoffe).
- Überschreitungen des Werts 0,1 µg/l an 1 % – 3 % der Messstellen werden durch den Metaboliten Desethylatrazin hervorgerufen.

Demgegenüber waren im Zeitraum 1992 bis 2000 in der Gruppe ‚1 % – 3 % der Messstellen über 0,1 µg/l‘ noch vier Substanzen vertreten. Atrazin und sein Metabolit Desethylatrazin wurden sogar noch an mehr als 3 % der Messstellen in Konzentrationen über 0,1 µg/l gefunden.

Die regionale Verteilung der Messstellen mit den Hauptbelastungstoffen Desethylatrazin, Atrazin, Bentazon, Bromacil und Hexazinon zeigt Abbildung 6.1-7. Datengrundlage sind die Überschreitungen des Werts 0,1 µg/l in den letzten fünf Jahren an Messstellen des Landesmessnetzes und des Kooperationsmessnetzes Wasserversorgung. Für diese Darstellung wurde der jeweils aktuellste Messwert berücksichtigt:

- Atrazin wurde vor seinem Verbot im Jahre 1991 hauptsächlich als Maisherbizid eingesetzt. In Baden-Württemberg war die Anwendung in Wasserschutzgebieten schon seit 1988 nicht mehr erlaubt. Da es nur schwer abbaubar ist, wird der Wirkstoff immer noch nachgewiesen, wenn auch in deutlich abnehmenden Konzentrationen.
- Das Abbauprodukt Desethylatrazin trägt trotz Anwendungsverbotes von Atrazin seit 1991 immer noch zur

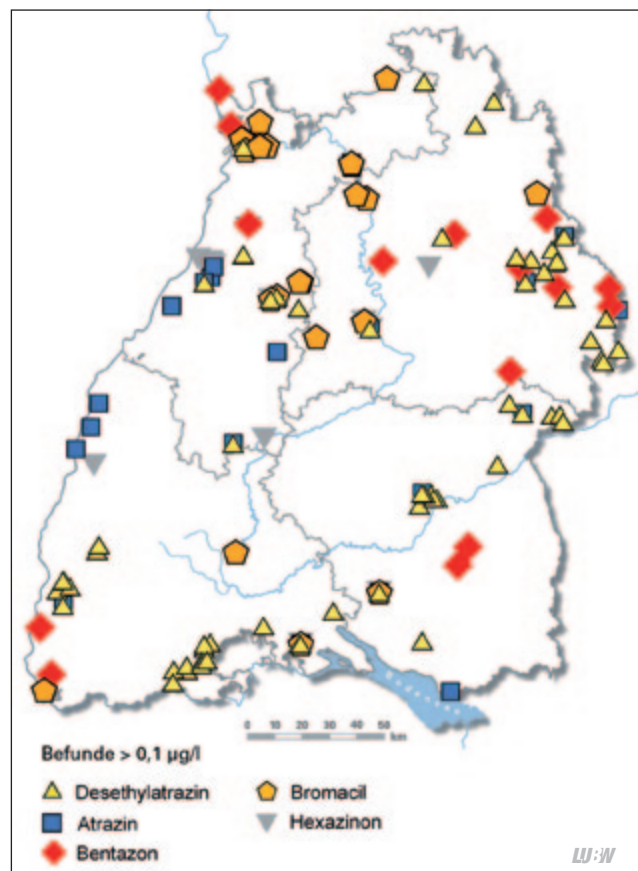


Abb. 6.1-7: Messstellen mit Pflanzenschutzmittelbefunden über dem Grenzwert von TrinkwV bzw. der Qualitätsnorm der Grundwasserrichtlinie von 0,1 µg/l. Datengrundlage: Landesmessstellen und Kooperationsmessstellen der Wasserversorgungsunternehmen; aktuellste Messwerte aus dem Zeitraum 2004 bis 2008. Stand: 2009



Hauptbelastung bei. Die Nachweishäufigkeit ist in den letzten Jahren jedoch stark rückläufig.

- Von den zugelassenen Wirkstoffen wird Bentazon am häufigsten gefunden. Allerdings haben die zahlreichen Positivbefunde in den letzten Jahren dazu geführt, dass Anwendungsbeschränkungen erlassen wurden. Aufgrund seiner hohen Mobilität im Untergrund wurde beispielsweise der Einsatz auf besonders durchlässigen Böden verboten. Die vorliegenden Daten zeigen, dass die Belastung langsam zurück geht.
- Bromacil und Hexazinon wurden in der Vergangenheit als Totalherbizide insbesondere auf Nichtkulturland eingesetzt. Beide Wirkstoffe sind seit Anfang der 1990er Jahre wegen ihrer Persistenz verboten. Betroffen ist in erster Linie das Umfeld von Gleisanlagen, die Belastung geht deutlich zurück.

#### **METABOLITE**

Aufgrund aktueller Ereignisse im Jahr 2006 wurde in Pilotuntersuchungen die Belastung mit Metaboliten von zwei häufig eingesetzten Wirkstoffen untersucht. Es handelt sich dabei um

- Desphenylchloridazon und Methyldesphenylchloridazon (Metabolit B' und Metabolit B1), Abbauprodukte von Chloridazon, das seit über 40 Jahren als Herbizid im Futter- und Zuckerrübenanbau verwendet wird. Nur an 4 bzw. 12 von 41 ‚Verdachtsmessstellen‘ wurden keine Abbauprodukte gefunden, ansonsten war die Belastung relativ hoch. Daraufhin wurde eine freiwillige Vereinbarung zwischen den Zulassungsinhabern und dem Land geschlossen, dass künftig aus ‚Vorsorgegründen keine chloridazonhaltigen Produkte mehr in sensiblen und für die Trinkwassergewinnung bedeutsamen Gebieten verwendet werden‘.
- N,N-Dimethylsulfamid (DMS), ein neu entdecktes Abbauprodukt von Tolyfluanid, das als Fungizid in Reben und in Obstkulturen eingesetzt wird. Aus N,N-Dimethylsulfamid kann bei der Trinkwasseraufbereitung mit Ozon krebserregendes N-Nitrosodimethylamin entstehen. Nur an 36 der 101 ‚Verdachtsmessstellen‘ wurde kein DMS nachgewiesen, der Spitzenwert lag bei 16 µg/l. Inzwischen hat das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit als Zulassungsbehörde aufgrund dieser unerwartet hohen Befunde die Zulassung für tolyfluanidhaltige Mittel für Freilandanwendungen

widerrufen oder ruhen lassen. In Baden-Württemberg ist die Anwendung in Wasserschutzgebieten seit 2007 nicht mehr erlaubt.

Weitere Messungen folgten im Sommer 2007: Es wurden 110 Verdachtsmessstellen im Grundwassermessnetz auf die Pflanzenschutzmittelwirkstoffe Chlorthalonil, Dimethachlor, Metazachlor und Metalochlor sowie deren insgesamt sieben Metaboliten untersucht. Die Wirkstoffe selbst wurden nur in Ausnahmefällen nachgewiesen. Bei den Metaboliten von Chlorthalonil und Dimethachlor traten nur wenige Positivbefunde auf. Die Belastung mit den Metaboliten von Metazachlor und Metalochlor war etwas höher, dabei wurden jeweils die Sulfonsäuremetaboliten in höheren Konzentrationen gefunden als die Carbonsäuremetaboliten. Die Maximalwerte lagen bei einigen µg/l. Das Belastungsniveau der Metaboliten von Tolyfluanid und Chloridazon wurde bei diesen sieben erstmals untersuchten Metaboliten jedoch nicht erreicht.

Im Oktober 2008 wurden die Untersuchungen auf Metabolite an 238 Messstellen fortgesetzt und ausgeweitet. Dabei wurden 16 Wirkstoffe und 28 Metaboliten gemessen. Im Wesentlichen hat sich das Belastungsmuster der vorangegangenen Messkampagnen bestätigt: Die mit Abstand höchste Belastung stammt von den Metaboliten der Wirkstoffe Chloridazon und Tolyfluanid. Danach folgen die Metabolite von Metalochlor, Metazachlor und Dimethachlor (Abb. 6.1-8). Die meisten anderen Metabolite werden im Grundwasser nicht nachgewiesen oder treten nur in geringen Konzentrationen auf.

Seit dem ersten Auftreten der Metabolite von Chloridazon und Tolyfluanid herrschte eine große Unsicherheit hinsichtlich deren Einstufung als ‚relevant‘ oder ‚nicht relevant‘ im Sinne der Trinkwasserverordnung von 2001 bzw. der Grundwasserrichtlinie. Das Umweltbundesamt veröffentlichte 2008 eine ‚Trinkwasserhygienische Empfehlung stoffrechtlich ‚nicht relevanter‘ Metaboliten von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln im Trinkwasser‘ [UBA 2008d]. Darin wird bei Vorliegen aussagekräftiger toxikologischer Daten für ‚nicht relevante Metaboliten‘ ein trinkwasserhygienisch bis auf weiteres (vorerst dauerhaft) hinnehmbarer gesundheitlicher Orientierungswert (GOW) von 3,0 µg/l genannt, bei schlechterer Datenlage ein niedrigerer GOW von 1,0 µg/l. Darüber hinaus legte das Umweltbundesamt noch einen trinkwasserhygienisch vorübergehend hinnehmbaren

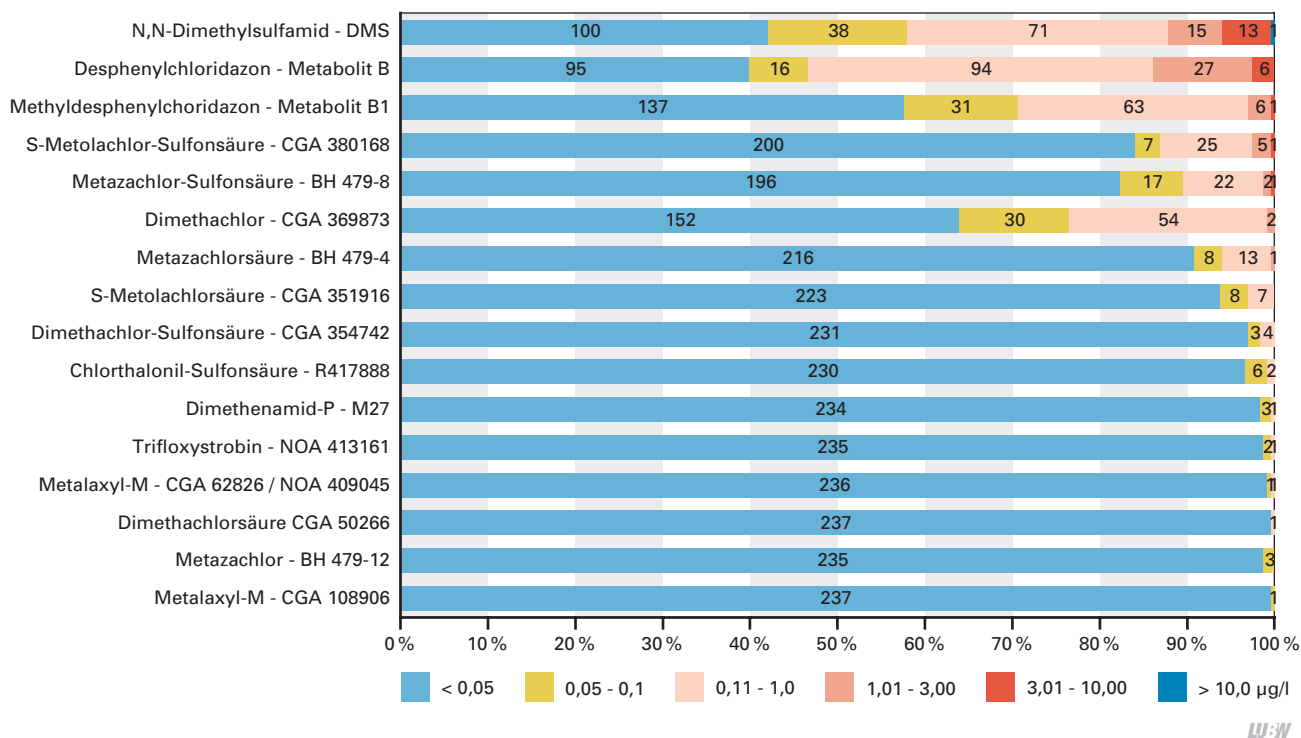


Abb. 6.1-8: Konzentrationsverteilung der Positivbefunde Pflanzenschutzmittel-Metabolite, jeweils 238 Messstellen, Beprobung Oktober 2008. Stand: 2009

Vorsorge-Maßnahmenwert von 10 µg/l fest. Inzwischen hat das Umweltbundesamt zusammen mit dem Bundesinstitut für Risikobewertung gesundheitliche Orientierungswerte für zahlreiche Metabolite veröffentlicht [UBA/BfR 2009]. Zieht man diese Werte von 3 bzw. 1 µg/l als Vergleichsmaßstab für das Grundwasser heran, so ist die Überschreitungshäufigkeit im Falle von DMS an 12,2 % der Messstellen am höchsten. Danach folgen mit großem Abstand die Metabolite von Chloridazon und die Sulfonsäuren von Metolachlor und Metazachlor mit 2,5 bzw. 0,4 %. Bei weiteren acht Metaboliten, für die GOW festgesetzt wurden, werden diese bei weitem nicht erreicht.

Aus Gründen des nachhaltigen Grundwasserschutzes und da es sich bei den Pflanzenschutzmittelwirkstoffen und deren Metaboliten um grundwasserfremde Stoffe handelt, ist anzustreben künftig solche Einträge ins Grundwasser zu verringern, auch wenn die Metaboliten pflanzenschutzrechtlich als ‚nicht relevant‘ eingestuft sind.

Das Monitoring der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und deren Metaboliten ist im Landesmessnetz seit rund 20 Jahren etabliert. Dadurch konnten diejenigen Stoffe identifiziert werden, die für das Grundwasser und die Trinkwasserversorgung ein Problem darstellen. Insgesamt gesehen hat sich die Belastungssituation in Baden-Württemberg in den letzten Jahren merklich verbessert. Derzeit stehen die in den

letzten Jahren aufgetretenen Metabolite von bereits länger auf dem Markt befindlichen Wirkstoffen im Blickpunkt des Interesses. Diese Untersuchungen werden fortgesetzt und ausgeweitet.

### 6.1.2.3 ARZNEIMITTEL

In Deutschland sind etwa 3 000 Arzneimittelwirkstoffe in rund 9 700 Präparaten auf dem Markt. Einige Medikamente werden in der Größenordnung von einigen 100 bis 100 000 kg pro Jahr hergestellt und verabreicht. Arzneimittelwirkstoffe sind seit etwa Mitte der 1990er Jahre in der Umweltdiskussion, nachdem diese Stoffe in Abwasser, Fließgewässern, Grundwasser und vereinzelt im Trinkwasser nachgewiesen wurden. Der Eintragspfad verläuft in erster Linie über das Abwasser. Humanpharmaka werden nach der Einnahme zum großen Teil unverändert wieder ausgeschieden. So findet man beispielsweise im Urin nach Verabreichung des Lipidsenkens Bezafibrat noch 95 % der Ausgangssubstanz, beim Antiepileptikum Carbamazepin noch 30 %. Über die menschlichen Ausscheidungen gelangen die pharmazeutischen Wirkstoffe in die Kanalisation und weiter in die Kläranlage. Darüber hinaus werden nach wie vor unbenutzte Medikamente und Restmengen über die Toilette unsachgemäß entsorgt. Leckagen in den Abwasserkanälen können zum Eindringen der Arzneimittel

in das Grundwasser führen. Die Abbaubarkeit von Arzneimitteln in der Belebtschlammstufe einer Kläranlage ist recht unterschiedlich. Der Lipidsenker Bezafibrat und das Schmerzmittel Ibuprofen werden z. B. zu 90 bis 95 % abgebaut, das Schmerzmittel Diclofenac hingegen nur zu 20 bis 40 %. Carbamazepin verlässt die Kläranlage praktisch unverändert. Die jodierten Röntgenkontrastmittel werden weder biologisch abgebaut noch am Klärschlamm sorbiert. Im weiteren Verlauf des Eintragspfads gelangen die Wirkstoffe über den Kläranlagenablauf in den Vorfluter, wo sie bei entsprechenden hydrologischen Verhältnissen in den Grundwasserleiter eingetragen werden können.

Das Monitoring von Arzneimittelwirkstoffen wurde 2006 fortgesetzt. Von 22 untersuchten Verdachtsmessstellen waren 16 mit bis zu sieben Wirkstoffen belastet. Die sowohl nach Anzahl als auch nach Konzentration am häufigsten vertretenen Substanzen waren Carbamazepin, Diclofenac und die jodierten Röntgenkontrastmittel Iopamidol und

Amidotrizoesäure. Gegenüber den letzten Messungen im Jahr 2000 wurden 2006 mehr Wirkstoffe an mehr Messstellen nachgewiesen. An Messstellen, die unmittelbar durch Rohabwasser beeinflusst sind, z. B. durch undichte Abwasserleitungen, findet man typischerweise Carbamazepin, Diclofenac und Bezafibrat in Konzentrationen von 0,5 µg/l bis 1,2 µg/l, Röntgenkontrastmittel bis zu 0,2 µg/l. An Messstellen, die durch gereinigtes Abwasser aus Kläranlagenabläufen bzw. über Uferfiltrat beeinflusst sind, sind die in der Kläranlage gut bis mittelmäßig eliminierbaren Substanzen wie Bezafibrat und Diclofenac nicht mehr nachweisbar, wohl aber die schlecht bis gar nicht eliminierbaren Verbindungen wie Carbamazepin und Amidotrizoesäure (Abb. 6.1-9). Die an diesen 22 ‚Indikatormessstellen‘ vorliegenden Befunde dürfen keinesfalls auf das gesamte Landesmessnetz hochgerechnet werden, die Belastung in der Fläche ist demgegenüber deutlich geringer.

Arzneimittelwirkstoffe in den derzeit gefundenen Konzentrationen stellen aus Sicht des Gesundheitsschutzes keine Gefährdung dar, weder bei kurzzeitiger noch bei lebenslanger Aufnahme. Aus Gründen des Vorsorgeprinzips sollte dennoch angestrebt werden, den Eintrag von Arzneimittelwirkstoffen und hormonähnlichen Substanzen künftig zu verringern. Pilotuntersuchungen, bei denen in der Kläranlage eine Nachreinigung der Abwässer mit Aktivkohle erfolgt, haben beispielsweise gezeigt, dass je nach Wirkstoff eine Entfernung von 40 bis 95 % möglich ist.

#### 6.1.2.4 URAN

Uran ist ein in geringen Konzentrationen natürlicherweise ubiquitär auftretendes Metall. Seine chemische Toxizität ist etwa um das fünffache höher als die radiologische. Für Grundwasser und für Trinkwasser gibt es bisher keinen Grenzwert, allerdings beabsichtigt die Bundesregierung im Rahmen einer Novellierung der Trinkwasserverordnung einen solchen festzulegen. Das Umweltbundesamt empfiehlt für Trinkwasser einen ‚lebenslang duldbaren, gesundheitlichen Leitwert‘ von 10 µg/l. Als regulatorischen Maßnahmewert für bis zehn Jahre zeitlich befristete Ausnahmen nach der Trinkwasserverordnung hält es einen Wert von 20 µg/l für angemessen. Der für Mineralwasser mit der besonderen Auslobung ‚Geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung‘ angesetzte Wert von 2 µg/l ist nicht toxikologisch begründet, sondern im Vorsorgebereich angesiedelt, d. h. auch bei Urangelhalten zwischen 2 µg/l und 10 µg/l

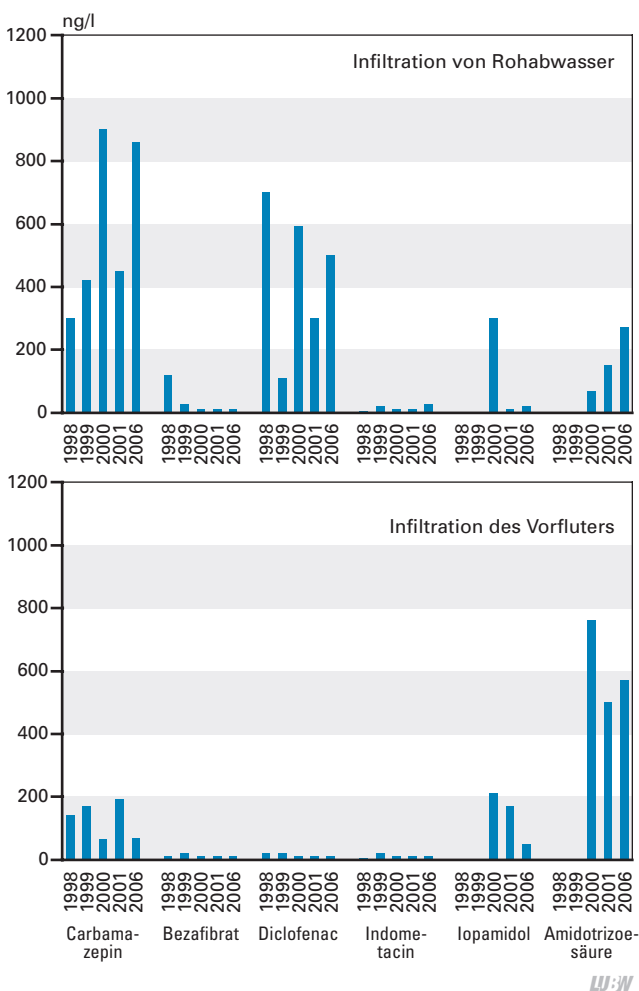


Abb. 6.1-9: Zeitlicher Verlauf der Konzentration einiger Arzneimittelwirkstoffe und Röntgenkontrastmittel, beispielhaft an zwei Messstellen. Stand: 2008

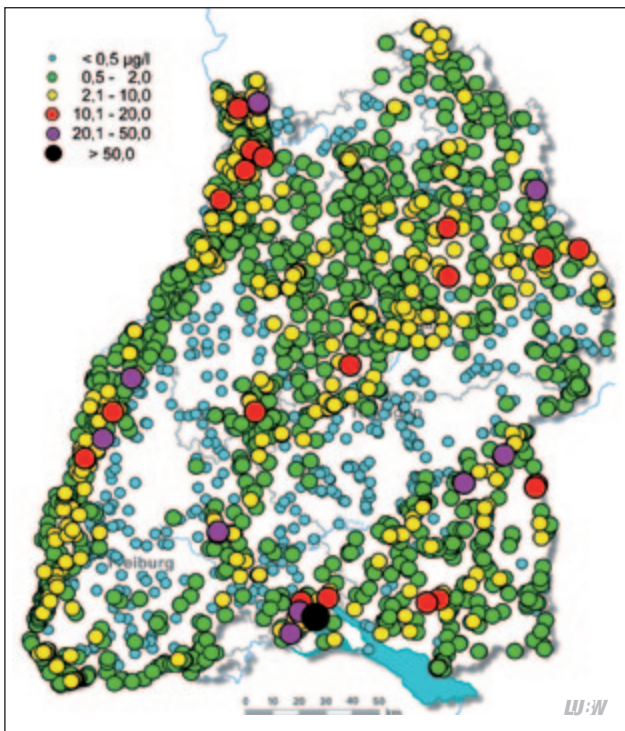


Abb. 6.1-10: Konzentrationsverteilung Uran 2005, alle Messnetze (2 184 Messstellen). Stand: 2008

besteht nach Auffassung des Umweltbundesamtes und des Bundesinstituts für Risikobewertung auch für Säuglinge kein gesundheitliches Risiko. Zur Entfernung von Uran aus Wasser sind Ionenaustauschverfahren am besten geeignet. Im Grundwassermessnetz Baden-Württemberg wurde Uran im Jahr 2005 an 2 184 Messstellen untersucht. Der Maximalwert betrug 99,7 µg/l, an weiteren neun Messstellen lagen die Werte zwischen 20 und 50 µg/l, an 21 Messstellen zwischen 10 und 20 µg/l. Erhöhte Urankonzentrationen treten meist in Gipskeuper- und Buntsandsteinregionen auf, aber auch in anmoorigen Bereichen aus dem Quartär wie beispielsweise an und südlich der Donau (Abb. 6.1-10). Das Uran wurde vermutlich im Trias aus der Region des heutigen Fichtelgebirges und des Bayrischen Waldes westwärts transportiert und während dieser geologischen Zeiträume zur wasserlöslichen sechswertigen Form oxidiert, weshalb es heute bis in den Bereich der Hohenloher Ebene im Wasser gefunden wird.

### 6.1.3 GRUNDWASSERVORRÄTE

Das quantitative Grundwassermessnetz von Baden-Württemberg, das seit 1913 betrieben wird, umfasst rund 2 400 Messstellen (Stand November 2008) 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 Grundwasserstand sowie rund 80 ausgewählten Quellen gewährleistet. Diese für die Gesamtheit repräsentativen Messstellen wurden vor dem Hintergrund historischer Beobachtungsreihen nach mathematischen und hydrogeologischen Gesichtspunkten ausgewählt.

#### 6.1.3.1 GRUNDWASSERNEUBILDUNG AUS NIEDERSCHLAG

Die Grundwasserneubildung aus Niederschlag hängt von der jahreszeitlichen, längerfristigen und auch räumlichen Variabilität der Niederschlagsereignisse ab.

In den Jahren 2006 bis 2008 waren die landesweit mittleren Jahresniederschläge leicht unterdurchschnittlich. Verglichen mit dem Referenzzeitraum 1961-1990 wurden im Jahr 2006 rund 97 % (leicht unterdurchschnittlich), im Jahr 2007 104 % (leicht überdurchschnittlich) und im Jahr 2008 94 % (unterdurchschnittlich) des langjährig mittleren Wertes erreicht. Diese Flächenmittelwerte verbergen starke monatliche Kontraste, beispielsweise außergewöhnlich hohe Niederschläge im August 2006, im Mai 2007 sowie März/April und Oktober 2008. Besonders ungewöhnlich waren die geringen Niederschlagsmengen in den Monaten Oktober und insbesondere April 2007, als zahlreiche Wetterstationen überhaupt keinen Niederschlag registriert haben.

Der Jahreswechsel 2005 bis 2006 zeichnet sich durch geringe Niederschläge und untypisch geringe Versickerungen aus. Die kontrastreichen Niederschlagsverteilungen innerhalb der Jahre 2006 und 2007 weichen vom mittleren Gang stark ab; die Abfolge von trockenen und nassen Abschnitten ergibt fast zufällig ausgeglichene Jahresniederschlagssummen. Nicht zuletzt die wechselhaften Witterungsverhältnisse haben dazu geführt, dass der Bodenwasserspeicher zwischen Frühjahr 2007 und Februar 2008 nie den Zustand erreichen konnte, der für signifikante Versickerungen ausreichend gewesen wäre. Im Februar 2008 hat der Sickerungsprozess wieder eingesetzt – für kurze Zeit. Der anschließende Rückgang ab Juni 2008 hat zum Ausbleiben der Versickerung bis zum Ende des hydrologischen Sommerhalbjahres geführt. Diese Entwicklung wird am Lysimeter Büchig im Oberrheingraben deutlich (Abb. 6.1-11).

Die Niederschläge beeinflussen aufgrund ihrer Sickerzeiten durch die Deckschichten meist zeitverzögert die Grundwasservorräte. Die sogenannten Winterniederschlä-



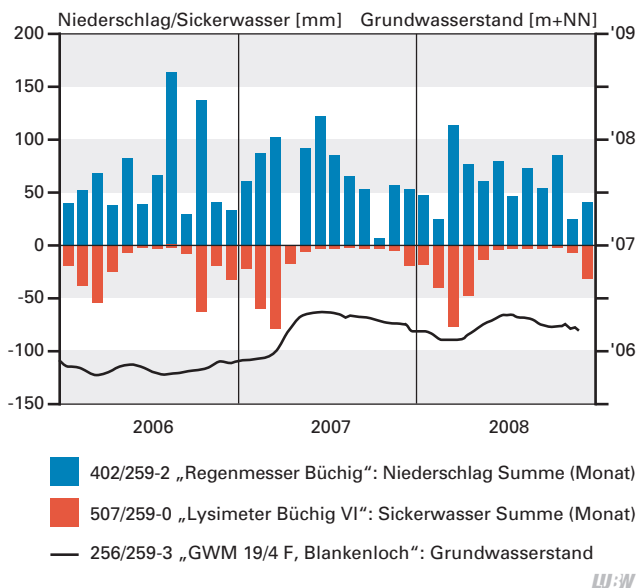


Abb. 6.1-11: Niederschlag, Sickerung und Grundwasserstand an der Lysimeteranlage Büchig. Stand: 2009

ge in den Monaten Oktober bis April führen zu wesentlich größeren Grundwasserneubildungsraten als die Niederschläge der übrigen sechs Sommermonate. In den Sommermonaten wird nahezu der gesamte Niederschlag von den Pflanzen aufgenommen bzw. verdunstet.

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.

### 6.1.3.2 GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE

Die kurz- und langfristige Entwicklung der Grundwasservorräte wird an repräsentativen Messstellen (Trendmessstellen) beobachtet (Abb. 6.1-12).

Insgesamt bewegen sich die Grundwasserstände und Quellschüttungen im Jahr 2006 auf etwas höherem Niveau als im Vorjahr und entsprechen etwa durchschnittlichen Verhältnissen. Die starken Frühjahrsniederschläge haben einen signifikanten Anstieg bewirkt, insbesondere in den südöstlichen Landesteilen und im mittleren Oberrheingraben.

Die Grundwasservorräte sind im Jahr 2007 auf ein noch etwas höheres Niveau als 2006 angestiegen. Die starken Niederschläge im Mai und zum Jahresende haben die Auswirkungen der extrem trockenen Monate April und Oktober kompensiert. Die sehr ungleiche Niederschlagsverteilung über das Jahr 2007 findet sich insbesondere im Gang der Quellschüttungen wieder. Grundwasserstände und Quell-

schüttungen sind in der 1. Jahreshälfte 2008 stark angestiegen, in Festgesteinsbereichen teilweise bis auf ein außergewöhnlich hohes Niveau. Im darauf folgenden Sommerhalbjahr werden trotz der überdurchschnittlichen Augustniederschläge nachhaltig rückläufige Grundwasserverhältnisse beobachtet. Ein Wiederanstieg ist in den meisten Landesteilen zum Jahresende 2008 erkennbar.

Der kurzfristige, über 10 Jahre ermittelte Trend der Grundwasserstände ist landesweit stark rückläufig, der mittelfristige, 20-jährige deutlich steigend und die langfristigen Entwicklungen über 50 Jahre sind unauffällig. Die Quellschüttungen weisen sowohl kurzfristig als auch mittel- und langfristig keine eindeutige Tendenz auf und bewegen sich im Mittel auf gleich bleibendem Niveau (Abb. 6.1-12).

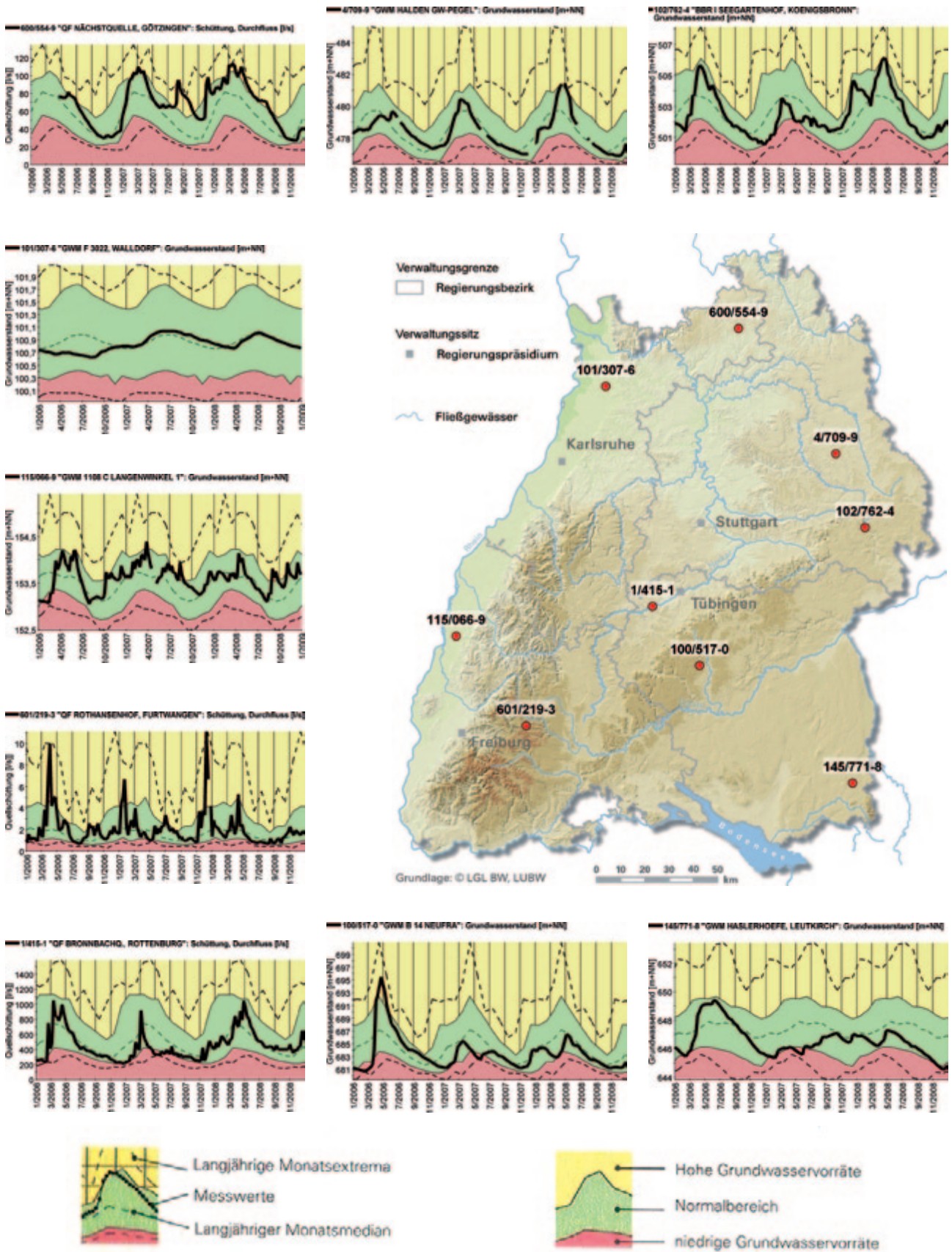
### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Berichte zum Grundwasserüberwachungsprogramm im Internet-Angebot ‚Publikationen‘ der LUBW:  
[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

mehr Informationen zum aktuellen Entwicklungsstand der Grundwasservorräte im Internet-Themenportal ‚Wasser‘ der LUBW:  
[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit:  
[www.bvl.bund.de](http://www.bvl.bund.de)





LJ:W

Abb. 6.1-12: Grundwasserstand/Quellschüttung und zugehörige Normalbereiche ausgewählter Grundwassermessstellen. Stand: 2009

## 6.2 HYDROLOGIE DER OBERFLÄCHEN- GEWÄSSER

### 6.2.1 PEGELMESSNETZ

Das Pegelmessnetz dient der zuverlässigen Ermittlung und Bereitstellung der hydrologischen Kenngrößen Wasserstand und Abfluss als Grundlage wasserwirtschaftlichen Handelns. Basis für eine sachgerechte und rechtskonforme Aufgabenerledigung ist die Bereitstellung der Kenngrößen in hinreichender zeitlicher und räumlicher Auflösung. Die frühzeitige und zutreffende Vorhersage des zeitlichen Verlaufes der Hochwässer und der Hochwasserstände einschließlich der Alarmierung nach der Hochwassermeldeordnung, die Beurteilung der Niedrigwasserperioden auf das Ökosystem und die Aussagen im Rahmen des Kooperationsvorhabens „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ – KLIWA erfordern aktuelle korrekte Messdaten der Pegelstände der Fließgewässer. Daraus werden Durchflussdaten abgeleitet. Darüber hinaus finden Pegeldaten Eingang in die Wärme- und Stofffrachtberechnung, in die Steuerung von Hochwasserrückhaltebecken, in die Erstellung von Hochwassergefahrenkarten und sind Entscheidungskriterium zur Einleitung lokaler Hochwasserschutzmaßnahmen. Sie bilden die Grundlagen für die Erfüllung nationaler und europäischer Berichtspflichten wie z. B. für die Veröffentlichung im „Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch“ oder für die Berichte an das Bundesministerium für Umwelt.

Das Land Baden-Württemberg betreibt 315 Pegelanlagen. Bei einer Landesfläche von etwa 35 000 km<sup>2</sup> ergibt das eine Pegeldichte von etwa bei 9 pro 1 000 km<sup>2</sup>. Die Pegel befinden sich hauptsächlich an bedeutenden Gewässerknoten wie z. B. in Mündungsbereichen und an hydrologisch relevanten Gewässerabschnitten. Die Aufgaben der Pegel sind in der Tab. 6.2-1 zusammengestellt. Die Daten der meisten Pegel werden für verschiedene Aufgaben genutzt.

Um den hohen Anforderungen an die Verfügbarkeit der Messdaten und die Betriebssicherheit der Pegelanlage auch bei extremen Hochwasserereignissen gerecht zu werden, sind derzeit an etwa 2/3 der Pegel die Messgeräte und Datenfernübertragungsanlagen doppelt vorhanden, wobei diese so montiert sind, dass bei einem Hochwasserereignis, das statistisch alle 500 Jahre einmal abläuft, auf die Pegeldaten noch sicher zugegriffen werden kann.

Betrieb und Unterhaltung der Pegel werden von den Regie-

Tab. 6.2-1: Aufgaben der Pegel. Stand: 2008

Aufgabe	Anzahl
Landeshydrologie	315
Davon für Hochwasservorhersage	184
Hochwassermeldeordnung	53
Berichtspflichten	75
Wärmehaushalt, KLIWA	190

LUBW

rungspräsidien sichergestellt. Die LUBW erstellt das Konzept und führt die Qualitätssicherung durch.

Die kontinuierlichen Pegelaufzeichnungen auf Diagrammbögen gehen bis zum Anfang des 20. Jahrhunderts zurück. Heute ist der größte Teil der Daten digital als Stundennittelwerte des Wasserstandes und des Durchflusses verfügbar.

### 6.2.2 HYDROLOGISCHE KENNGRÖSSEN

Für die Planung und Bewertung von flussbaulichen Maßnahmen, Abflussregelungen, wasserwirtschaftlichen Nutzungen oder Renaturierungen sind sowohl Kenntnisse über Hochwasser, als auch über mittlere Abflüsse und mittlere Niedrigwasserabflüsse wichtig. Letztere werden zum Beispiel zur Ermittlung von Mindestabflüssen bei Ausleitungen gemäß der EU-Wasserrahmenrichtlinie herangezogen. Hochwasserabflüsse werden für die aktuelle Bearbeitung der Hochwassergefahren-, und Hochwasserrisikokarten Baden-Württemberg gemäß EU-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie oder zur Bemessung von Hochwasserschutzanlagen wie z. B. Hochwasserrückhaltebecken benötigt. Wichtig ist es also, landesweite Abflusskennwerte bereitzustellen. Dies sollte sowohl für die Pegeleinzugsgebiete 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 anderer Gewässermessstellen ist das digitale gewässerkundliche Flächenverzeichnis Baden-Württemberg. An 421 Pegeln der Wasserwirtschaftsverwaltung Baden-Württembergs, der Wasser- und Schifffahrtsdirektionen von Rhein, Neckar und Main sowie grenznaher bayerischer und schweizerischer Pegel wurden Abflusskennwerte für Hoch-, Mittel- und Niedrigwasser 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 Abflusskennwerte entwickelt. Sie lassen sich aus Gebietskenngrößen wie Einzugsgebietsfläche, Bebauungs- und Waldanteil, mittlerem jährlichen Niederschlag sowie regionalisiertem Landschaftsfaktor ableiten. Die Regionalisierungsmodelle können auf die Basis- und Sammelgebiete des oben genannten gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses Baden-Württemberg angewendet werden. Somit können auch an Orten, an denen keine Pegel vorhanden sind, entsprechende Abflussdaten bereitgestellt werden. Für sämtliche regionalisierbaren Gewässer Baden-Württembergs, die im gewässerkundlichen Flächenverzeichnis enthalten sind, liegen die Abflusskennwerte für 6 800 Basisgebiete, 3 379 Sammelgebiete und 155 Sondergebiete vor. Zusätzlich wurden für 190 Flüsse Abflusslängsschnitte für Hoch-, Mittel- und Niedrigwasser bearbeitet.

2007 wurden die Daten aktualisiert und als „Abflusskennwerte in Baden-Württemberg“ auf CD-ROM veröffentlicht [LUBW 2007b]. Die Neubearbeitung der Hoch-, Mittel- und Niedrigwasserregionalisierungen beruht auf dem ergänzten Flächenverzeichnis und enthält zusätzlich die überarbeiteten Abflusswahrscheinlichkeiten für Niedrigwasser sowie die Niedrigwasserdauern in Baden-Württemberg, die Häufigkeitsfaktoren zur Ermittlung von extremen Hochwasserabflüssen mit den Wiederkehrzeiten von  $T = 200, 500, 1\ 000, 5\ 000$  und  $10\ 000$  Jahre sowie Klimaänderungsfaktoren zur Berücksichtigung klimatischer Einflüsse auf die zukünftige Entwicklung von Hochwasserabflüssen.

### 6.2.3 PROGNOTIZIERTE ENTWICKLUNG DER NIEDRIGWASSERVERHÄLTNISSE INFOLGE DES KLIMAWANDELS

Die klimatischen Bedingungen in Baden-Württemberg haben sich im 20. Jahrhundert nachweisbar verändert. In den Sommern der vergangenen Jahre wurden wiederholt extreme Trockenperioden beobachtet, die an zahlreichen Gewässern zu Niedrigwassersituationen geführt haben. Die Auftretenswahrscheinlichkeit von extrem trockenen Vegetationsperioden und ausgeprägten Niedrigwasserverhältnissen ist im Vergleich zum Zeitraum vor 1985 deutlich angestiegen. Veränderungen von Niedrigwasserabflüssen und Niedrigwasserperioden haben wesentliche Auswirkungen

auf die Energiewirtschaft, die Wasserversorgung, die Wasser- güte- und Wassermengenwirtschaft, die Binnenschifffahrt, auf die Gewässerökologie und Fischerei. Veränderungen von Niedrigwasserverhältnissen haben eine volkswirtschaftliche Bedeutung, deshalb ist eine Quantifizierung zukünftiger Niedrigwasseränderungen von großem Interesse. Im Kooperationsvorhaben KLIWA wurden deshalb Prognosen erstellt, wie der Klimawandel bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts auf die Entwicklung der Niedrigwasserverhältnisse auswirken kann. Das interannuelle Verhalten wurde auf Basis der mittleren Monatswerte untersucht (Abb. 6.2-1). In der Betrachtung des Jahresgangs zeigen die Veränderungen des mittleren monatlichen Niedrigwasserabflusses für alle einbezogenen Pegel und Gewässerstellen tendenziell sehr einheitlich Veränderungen: Im Mittel ergibt sich für Baden-Württemberg für die Monate Juli bis September eine deutliche Abnahme der monatlichen Niedrigwasserabflüsse um ca. -15 %. Die größten Abnahmen sind in den Einzugsgebieten der Rheinzuflüsse von Wutach bis zur Murg mit ca. -30 % (starke Abnahmen) zu erwarten. Deutliche Abnahmen zeigen die Einzugsgebiete von Neckar, Donau und Bodensee (-10 % bis -20 %). Geringere Abnahmen dürften sich dagegen im Einzugsgebiet der Tauber und im nordwestlichen Baden-Württemberg einstellen. Die größten Abnahmen konzentrieren sich sowohl im Mittel über ganz

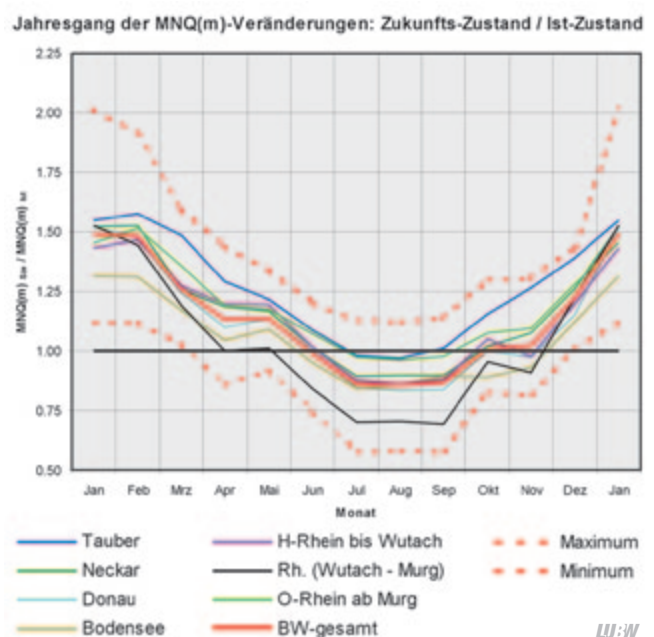


Abb. 6.2-1: Jahresgang der Veränderungen des mittleren monatlichen Niedrigwasserabflusses MNQ(m) als Veränderungsfaktor (Zukunfts-Zustand/Ist-Zustand) in den jeweiligen Pegel und Gewässerstellen in Baden-Württemberg; Mittelwert über alle Pegel und Gewässerstellen mit unterer und oberer Bandbreite (Baden-Württemberg gesamt, Maximum, Minimum). Stand: 2008





Abb. 6.2-2: Räumliche Verteilung der zu erwartenden Veränderungen des mittleren Niedrigwasserabflusses MNQ des Gesamtjahres, abgeleitet aus den jährlichen Niedrigwasserabflüssen NQ(J) infolge Klimaänderung. Quelle: Universität Karlsruhe, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung und LUBW 2008

Baden-Württemberg als auch in den verschiedenen Regionen in den Monaten Juli, August, September. Außerhalb der Monate Juli bis September gehen die Abnahmen sehr schnell zurück. In den Monaten Dezember bis April werden im Mittel für alle Regionen Abflusszunahmen aufgrund von zunehmenden Gebietsniederschlägen im Winterhalbjahr mit hoher Wahrscheinlichkeit prognostiziert. Der Einfluss des Klimawandels auf die Dauer von Niedrigwasserperioden kann für Baden-Württemberg mit Hilfe von berechneten Entwicklungstendenzen bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts abgeschätzt werden (Abb. 6.2-2). Bei den meisten einbezogenen Pegel- und Gewässerstellen sind zukünftig längere Niedrigwasserphasen landesweit mit Ausnahme des Kraichgaus sehr wahrscheinlich.

#### 6.2.4 HOCHWASSERVORHERSAGE

Die Hochwasservorhersagezentrale Baden-Württemberg – HVZ der LUBW bündelt im Hochwasserfall aktuelle Informationen und macht sie den zuständigen Verwaltungsstellen, der

betroffenen Bevölkerung sowie den Medien zugänglich. Die HVZ-Daten werden im Routinebetrieb einmal täglich und bei Hochwasser stündlich aktualisiert und, zum Teil graphisch aufbereitet, auf zahlreichen Informationswegen wie Internet, Videotext und automatische Telefonansagen veröffentlicht.

Tab. 6.2-2: Informationen der Hochwasservorhersagezentrale Baden-Württemberg. LUBW 2009

	Videotext-Tafel SWR	Telefonansage
Lagebericht	809	0721/9804-0
Oberrhein und Zuflüsse	805	0721/9804-61
Neckar und Zuflüsse	806	unterer Neckar: -62 oberer Neckar: -63
Main und Tauber	807	0721/9804-65
Donau und Zuflüsse	808	0721/9804-64
Internet: <a href="http://www.hvz.baden-wuerttemberg.de">www.hvz.baden-wuerttemberg.de</a>		
PDA: <a href="http://www.hvz.baden-wuerttemberg.de/pda.html">www.hvz.baden-wuerttemberg.de/pda.html</a>		

LUBW

Der kontinuierliche, tägliche Betrieb der Hochwasservorhersagemodelle erfordert einen umfangreichen Datenfluss von Mess- und Vorhersagedaten, der derzeit rund 120 Mio. Mess- und Modellwerte pro Tag umfasst. Dieser operationelle Modellbetrieb ist die Grundlage für Hoch-, Mittel- und Niedrigwasservorhersagen für rund 90 Pegel in Baden-Württemberg an Oberrhein, Neckar, Donau und deren jeweils wichtigsten Zuflüssen sowie an Main und Tauber. Die länderübergreifende Wasserstandsvorhersage für den Bodensee erfolgt in Kooperation mit dem schweizerischen Bundesamt für Umwelt und dem Amt der Vorarlberger Landesregierung. Für den operationellen Modellbetrieb nutzt die HVZ neben den Pegelmessungen weitere Daten:

- meteorologische Parameter aus dem LUBW-eigenen Messnetz (Globalstrahlung, Luftdruck, Lufttemperatur, Niederschlag, relative Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit),
- meteorologische Daten und Vorhersagen der Wetterdienste (z. Z. Deutscher Wetterdienst, MeteoSwiss und Meteomedia AG),
- Betriebsdaten für Rückhaltmaßnahmen (Segmentöffnungen, Betriebsart, Wasserstand, Einstauvolumen, Zufluss, Abfluss).

Im Falle außergewöhnlicher Hochwasser berechnet die HVZ Varianten zum Einsatz der Rückhaltmaßnahmen am Oberrhein und erarbeitet Empfehlungen für einen günstigen Maßnahmeneinsatz.

Seit Juli 2007 betreibt die HVZ zusätzlich ein Hochwasserfrühwarnsystem für kleine Einzugsgebiete unter 200 km<sup>2</sup> Flächengröße. Durch eine kombinierte Anwendung von meteorologischen und hydrologischen Modellen wird eine regionsbezogene Frühwarnkarte erarbeitet. Für die Warnregionen auf Ebene der Stadt- und Landkreise werden Warnungen in vier verschiedenen Stufen erstellt: keine, mittlere, hohe und sehr hohe Hochwassergefährdung.

Die Frühwarnkarten werden alle drei Stunden aktualisiert und beziehen sich jeweils auf die Hochwassergefahr der nächsten 24 h bzw. 25 bis 48 Stunden. Die Verlässlichkeit der Hochwasserfrühwarnung ist wesentlich von der Güte der Niederschlagsvorhersagen abhängig und nimmt mit zunehmendem Frühwarnzeitraum ab (Abb. 6.2-3).

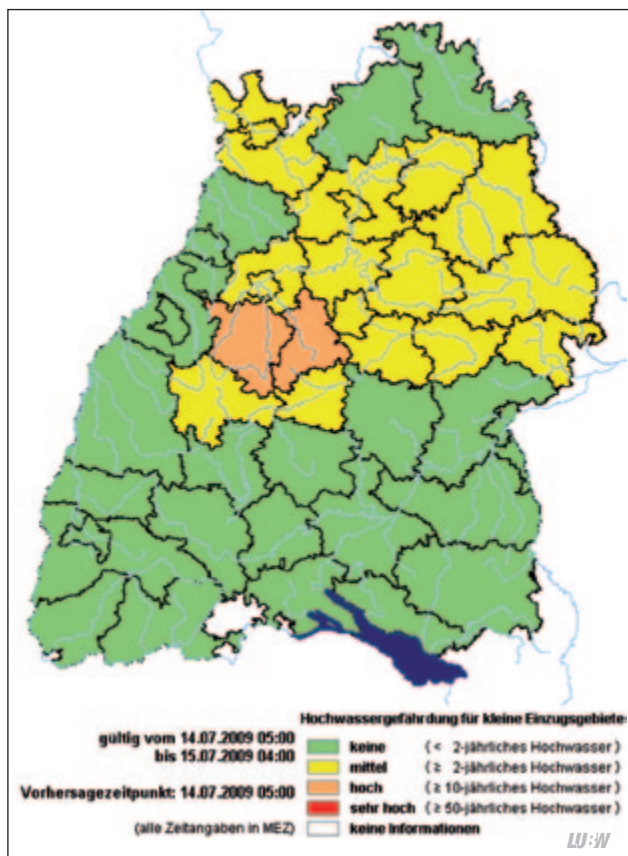


Abb. 6.2-3: Beispiel einer Hochwasserfrühwarnkarte. Stand: 2009

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Wasserstandsinformationen am Bodensee:  
<http://www.bodensee-hochwasser.info/>

Länderübergreifendes Hochwasserportal:  
[www.hochwasserzentralen.info](http://www.hochwasserzentralen.info)

## 6.3 ZUSTAND DER FLIESSGEWÄSSER

Ziel der Gewässerschutzpolitik Baden-Württembergs ist es, den in der WRRL definierten guten ökologischen und guten chemischen Zustand der Gewässer zu erreichen. Die Gewässerbeurteilungsverordnung des Landes enthält die Anforderungen an die Bewertung gemäß WRRL.

### 6.3.1 BEWERTUNG DES GEWÄSSERZUSTANDES NACH EU-WASSERRAHMENRICHTLINIE

Die LUBW ist als Teil des gewässerkundlichen Dienstes mit dem Betrieb des ‚Landesüberwachungsnetzes Fließgewässer‘ beauftragt. Es dient dazu, einen umfassenden und repräsentativen Überblick über den ökologischen und chemischen Zustand der Fließgewässer zu geben, bereits erreichte Verbesserungen zu dokumentieren und Defizite aufzuzeigen.

Die WRRL hat einige Anpassungen gegenüber den bisherigen Überwachungs- und Bewertungsgrundsätzen erforderlich gemacht. Es galt insbesondere, neben den im Lande bereits langjährig überwachten physikalisch-chemischen Komponenten und der mittels der Organismengruppe des Makrozoobenthos (wirbellose Tiere des Gewässerbodens) bestimmten „klassischen“ biologischen Gewässergüte neue biologische Komponenten wie Wasserpflanzen und Fische zu integrieren. Die Bewertung des ökologischen Gewässerzustandes erfolgt jetzt nach neuen Verfahren, die durch die ‚Länderarbeitsgemeinschaft Wasser‘ (LAWA) entwickelt wurden und die auf dem Vergleich mit dem natürlichen Zustand beruhen. Sie wird gewässertypbezogen durchgeführt und berücksichtigt damit die unterschiedliche Ausprägung und Empfindlichkeit gegenüber Belastungen. Weitere wesentliche Güteaspekte wie beispielsweise die Auswirkungen einer übermäßig degradierten Gewässermorphologie oder die negativen Folgen hoher Nährstoffgehalte gehen ebenfalls in die Bewertung ein.

Mit der Veröffentlichung der Tochterrichtlinie zur WRRL über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik erfolgt auch die Bewertung des chemischen Zustandes nach europaweit einheitlichen Umweltqualitätsnormen (2008/105/EG).

In der Reihe der Umweltdaten wird der Zustand der Gewässer erstmals 2009 nach dieser neuen Systematik bewertet. Hierbei wird für ausgewählte Messstellen soweit möglich auch auf langjährige Entwicklungen eingegangen.



Die Darstellung des Gewässerzustandes beruht im Wesentlichen auf den bis Anfang 2009 verfügbaren Auswertungen.

Räumliche Bezugseinheit für die Bewertung ist der Wasserkörper, wovon landesweit 159 ausgewiesen wurden. Auf die wasserkörperbezogene Darstellung des ökologischen und des chemischen Zustand wurde verzichtet, da für die integrierende Gesamtbewertung der Wasserkörper bei Redaktionsschluss noch nicht alle Daten zur Verfügung standen.

### 6.3.2 ÖKOLOGISCHER ZUSTAND

Die Bewertung des ökologischen Zustandes erfolgt in erster Linie anhand des biologischen Besiedlungsbildes für die vier Organismengruppen

- Makrozoobenthos,
- Phytoplankton (freischwimmende Algen),
- Makrophyten und Phytobenthos (Gefäßpflanzen und am Gewässerboden festsitzende Pflanzen) sowie
- Fische.

Darüber hinaus sind rechtlich festgelegte, nationale Umweltqualitätsnormen für die sogenannten flussgebietspezifischen Schadstoffe einzuhalten. Die hydromorphologischen Qualitätskomponenten und die physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten gehen unterstützend in die ökologische Zustandsbewertung ein, d. h. sie sind für sich allein noch nicht ausschlaggebend für die Einstufung des ökologischen Zustandes. Sie dienen der Plausibilisierung der biologischen Befunde, geben wichtige Hinweise auf mögliche Defizite und zeigen hierdurch geeignete Ansatzpunkte für die derzeit in Bearbeitung befindliche Maßnahmenplanung an.

#### 6.3.2.1 MAKROZOOBENTHOS

Zu dieser heterogenen Organismengruppe gehören alle benthischen, d. h. am Boden lebenden, mit bloßem Auge sichtbaren, wirbellosen Gewässertiere wie Krebse, Insekten, Schnecken, Muscheln, Würmer, Egel, Strudelwürmer und Schwämme. Aufgrund seiner relativen Langlebigkeit und weiten Verbreitung weist das Makrozoobenthos besonders gute Indikatoreigenschaften auf. Es zeigt anthropogen bedingte Störungen durch veränderte strukturelle und funktionale Zusammensetzung der Biozönose an und ermöglicht damit eine Bewertung des ökologischen Zustandes von Fließgewässern. Der Erfassung der Makrozoo-

benthos-Biozönose nach den neuen Methoden liegen eine standardisierte Aufsammlungsmethode und ein modular aufgebautes Auswertungsverfahren zugrunde. Damit werden Erkenntnisse über die Sauerstoffverhältnisse (Modul Saprobie), den strukturellen Zustand (Modul Allgemeine Degradation) und versauerungsbedingte Belastungen (Modul Versauerung) gewonnen. Die Ergebnisse dieser drei Einzelmodule gehen in die Gesamtbewertung der ökologischen Zustandsklasse Makrozoobenthos nach dem „worst case“-Prinzip ein, d. h. das schlechteste Einzelergebnis bestimmt die Endbewertung.

#### MODUL SAPROBIE

Seit vier Jahrzehnten werden in baden-württembergischen Bächen und Flüssen biologische Gewässergüteuntersuchungen durchgeführt. Dabei werden die Auswirkungen von Belastungen der Fließgewässer mit leicht abbaubaren, organischen Stoffen und die Sauerstoffverhältnisse im Gewässer erfasst. Anhand der mengen- und artenmäßigen Zusammensetzung des Makrozoobenthos wurde dabei bisher für jeden Untersuchungspunkt nach dem Saprobienystem ein Saprobienindex berechnet und einer der sieben Gewässergüteklassen zugeordnet.

Das Modul Saprobie berechnet den Saprobienindex nach dem neuen DIN-Verfahren, welches u. a. eine wesentlich erweiterte Artenliste nutzt und die Ergebnisse jetzt in ein 5-stufiges Bewertungssystem einteilt. Von grundlegender Bedeutung ist dabei die gewässertypspezifische Bewertung, die sich am leitbildorientierten Referenzzustand des jeweiligen Gewässertyps misst.

In jedem der 159 Wasserkörper wurden durchschnittlich fünf bis sieben Untersuchungspunkte festgelegt, landesweit ergaben sich damit 855 Untersuchungspunkte. Die in den Jahren 2006 und 2007 durchgeführten Untersuchungen führten zu folgenden Bewertungen (Abb. 6.3-1):

- 16,1 % Zustandsklasse sehr gut  
(138 Untersuchungspunkte)
- 73,7 % Zustandsklasse gut  
(630 Untersuchungspunkte)
- 10,0 % Zustandsklasse mäßig  
(85 Untersuchungspunkte)
- 0,2 % Zustandsklasse unbefriedigend  
(2 Untersuchungspunkte)
- 0 % Zustandsklasse schlecht

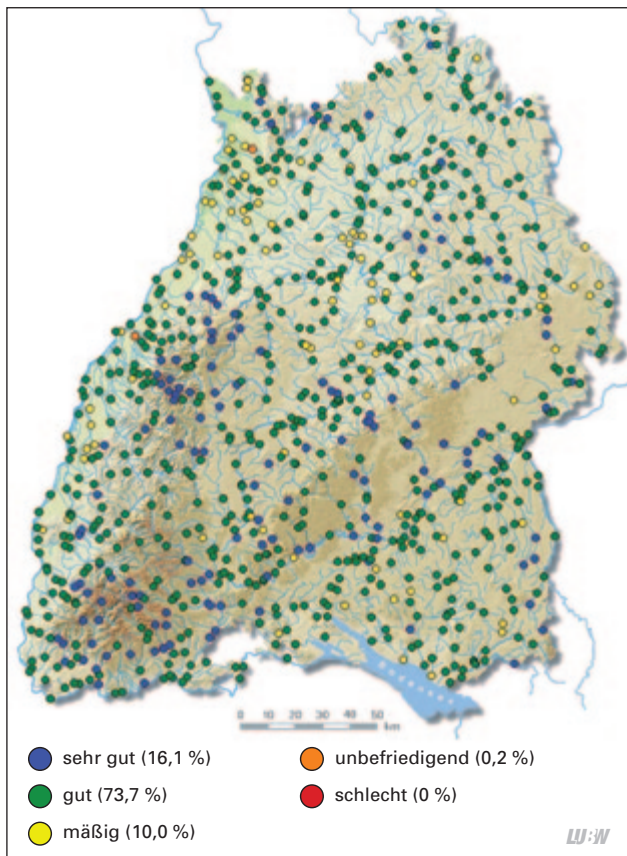


Abb. 6.3-1: Saprobieller Zustand der Fließgewässer. Stand: 2008

Belastungsschwerpunkte stellen nach wie vor die nördliche Oberrheinebene, Teile des Neckareinzugsgebietes bzw. der schiffbare Neckar und die obere Donau dar. Hauptgrund ist hier das ungünstige Mischungsverhältnis von Frischwasser zu gereinigtem Abwasser. Ein weiterer Faktor ist die meist geringe physikalische Wiederbelüftungsrate und das damit in Zusammenhang stehende niedrigere Selbstreinigungspotenzial dieser von Natur aus gefällearmen und langsam strömenden Gewässer, in denen das durch die hohen Nährstoffgehalte begünstigte übermäßige Pflanzenwachstum zu einer erheblichen Sekundärbelastung führen kann.

In der langjährigen Entwicklung hat sich der Gütezustand der Fließgewässer stetig verbessert. Im Vergleich zur Gütekartierung Stand 1968 sank die Zahl der defizitären Gewässer von 59 % auf heute 10 % (Abb. 6.3-2). Ursächlich dafür sind insbesondere die stetig abnehmenden Belastungen mit leicht abbaubaren organischen Stoffen. 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.

Trotz weitreichender methodischer Änderungen der Erfassung und Bewertung der Saprobie liefern die Ergebnisse

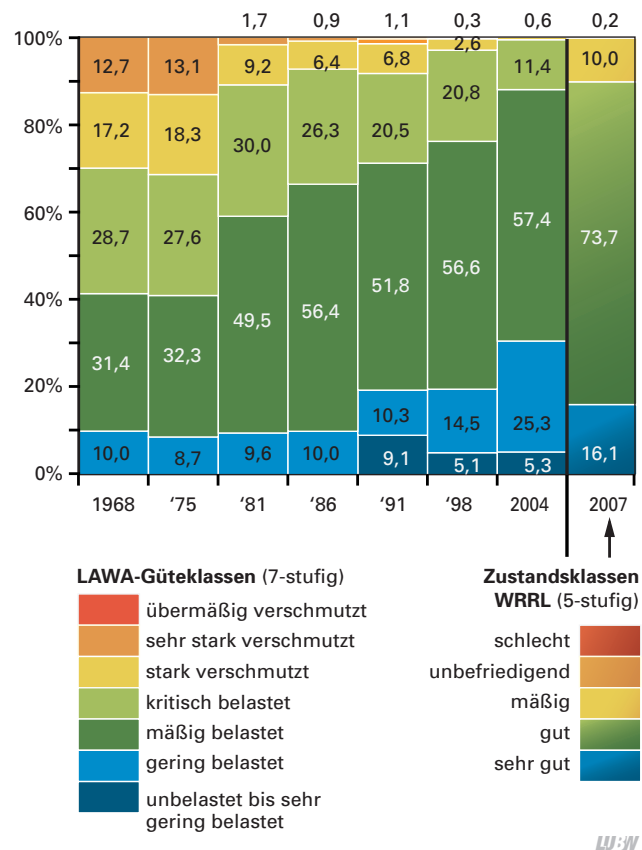


Abb. 6.3-2: Entwicklung der biologischen Gewässergüte, ab 2006 als „Modul Saprobie“ 5-stufig weiter geführt. Stand: 2008

der alten und neuen Erhebungen ein gut vergleichbares Bild.

#### MODUL ALLGEMEINE DEGRADATION

Aufgrund der laufenden Auswertungs- und Plausibilisierungsphase lagen bis zum Redaktionsschluss der Umweltdaten noch keine Ergebnisse vor.

#### MODUL VERSAUERUNG

Die Ergebnisse des Moduls Versauerung werden in Gesamtschau mit den anderen Umweltkompartimenten in Kapitel 8.4.4 dargestellt.

#### 6.3.2.2 MAKROPHYTEN UND PHYTOBENTHOS

Die biologische Qualitätskomponente Makrophyten und Phytobenthos umfasst mehrere pflanzliche Organismengruppen: Gefäßpflanzen, untergetaucht lebende Moose, Armleuchteralgen sowie am Gewässerboden festsetzende Algen. Die verschiedenen Pflanzengruppen ergänzen sich als Zeigerorganismen und dienen im Wesentlichen zur Bewertung der Nährstoffsituation, der strukturellen Defizite sowie der Versauerung.

Im Rahmen der Überwachung der Fließgewässer Baden-

Württembergs wird regelmäßig an etwa 260 Untersuchungsstellen der Pflanzenbestand erfasst. Der erste Kartierungsdurchgang erfolgte im Zeitraum 2006 bis 2008. Die Auswertungs- und Plausibilisierungsarbeiten sind noch nicht abgeschlossen.

### 6.3.2.3 PHYTOPLANKTON

Die biologische Qualitätskomponente Phytoplankton dient als Belastungsanzeiger für die Eutrophierung, die durch ein übermäßiges Angebot an Nährstoffen verursacht wird. Das Phytoplankton besteht aus im Freiwasser schwebenden Mikroalgen verschiedener Algenklassen, u. a. Kieselalgen, Grünalgen und Goldalgen. Deren Entwicklung in Fließgewässern ist hauptsächlich abhängig von der Nährstoffverfügbarkeit, der Wasseraufenthaltszeit, den Lichtverhältnissen sowie der Beeinträchtigung durch Fraßverluste. Eine Fließgewässerbewertung auf der Grundlage von Phytoplankton ist nur in großen, langsam fließenden und deshalb Plankton führenden Flüssen sinnvoll. In Baden-Württemberg sind dies im Wesentlichen Rhein, Donau und der schiffbare Teil des Neckars. An diesen Flüssen werden seit 2005 an repräsentativen Messstellen monatlich Phytoplanktonerhebungen durchgeführt.

Die nachfolgenden ersten Einschätzungen basieren auf einem bundeseinheitlichen Bewertungsverfahren und haben einen vorläufigen Charakter, da für belastbare Interpretationen wegen der unterschiedlichen jährlichen Planktonausprägungen Gesamtmessreihen von drei bis fünf Jahren erforderlich sind.

Die bisher vorliegenden Phytoplanktonauswertungen aus den Jahren 2005 und 2006 zeigen für den Rhein einen sehr guten ökologischen Zustand. Die vergleichsweise geringe Belastung des Hoch- und Oberrheins mit Nährstoffen und Salzen lassen keine negativen Beeinflussungen auf die Phytoplanktongesellschaften erkennen. Der schiffbare Neckar hingegen wird nach Experteneinschätzung als stark eutrophiert mit einem nur mäßigen ökologischen Zustand eingestuft, so dass Maßnahmen zur nachhaltigen Nährstoffreduktion erforderlich werden. Diese Einschätzung wird angesichts der bekannten Probleme durch zeitweise auftretende, massive Algenblüten und der daraus resultierenden Sekundärbelastung, die zu sommerlichen Niedrigwasserzeiten zu starken Sauerstoffdefiziten bis hin zu fischkritischen Werten führen kann, gestützt. Für die Bewertung der Donau liegen noch keine ausreichend langen Messreihen vor.

### 6.3.2.4 FISCHÉ

Die Fischfauna ist aufgrund ihrer Lebensweise sehr gut in der Lage, die ökologischen Auswirkungen insbesondere der hydromorphologischen Beeinträchtigungen von Fließgewässern über größere Strecken hinweg zu integrieren und abzubilden. Deswegen wurde von der Fischereiforschungsstelle des Landwirtschaftlichen Zentrums für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW) in Abstimmung mit der LUBW entsprechend den Vorgaben der WRRL ein Überwachungsnetz für die Fische eingerichtet. Es berücksichtigt zusätzlich die Anforderungen der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie. Belastbare Ergebnisse liegen noch nicht vor.

### 6.3.2.5 HYDROMORPHOLOGISCHE KOMPONENTEN

Zu den hydromorphologischen Qualitätskomponenten bei Fließgewässern zählen ‚Durchgängigkeit‘, ‚Morphologie‘ und ‚Wasserhaushalt‘. Sie beschreiben insgesamt den ‚Zustand‘ der Gewässerstruktur. Der Parameter Gewässerstruktur bildet mit ihren Teilkomponenten und Einzelparametern die Formenvielfalt durch den Fließprozess ab und ist ein bedeutender Indikator für die ökologische Funktionsfähigkeit der Gewässer. Jede Komponente muss ausreichende naturnahe Bedingungen aufweisen, damit sich der gute ökologische Zustand einstellen kann.

Die Durchgängigkeit hat herausragende Bedeutung für die Erhaltung und Herstellung von naturnahen Verhältnissen mit typischen Lebensgemeinschaften. Die morphologischen Bedingungen wie z. B. Laufentwicklung, Breiten- und Tiefenvarianz, Strömung, Sohlsubstrat, Uferbereiche spielen für Erhalt und Entwicklung natürlicher Lebensgemeinschaften eine wesentliche Rolle. Es handelt sich hier um charakteristische, streckenbezogene Strukturmerkmale, die auch das individuelle Gewässerumfeld berücksichtigen. Ein intakter, naturverträglicher Wasserhaushalt ist für die Lebensgemeinschaften in Fließgewässern entscheidend. Schädliche Eingriffe in den natürlichen Wasserhaushalt sind vor allem bei der Mindestabflusssituation und den Entnahmemengen festzustellen.

Die hydromorphologischen Qualitätskomponenten sind integraler Bestandteil der berichtspflichtigen Überwachungsprogramme und unterliegen im Regelfall dem sechsjährigen Überwachungszyklus.

Die Teilkomponenten und Einzelparameter der Gewässerstruktur ermöglichen konkrete Aussagen zur Belastungs-



Tab. 6.3-1: Hydromorphologische Belastungen der Fließgewässer. Stand: 2009

Komponente	Belastungsform (Signifikanz)	Grundlage
Durchgängigkeit	fehlende Durchgängigkeit bei anthropogenen Wanderungshindernissen	Anlagenkataster Wasserbau (AKWB)
Morphologie	- sehr stark bis vollständig veränderte Strukturabschnitte (Klasse 6 und 7); - stark veränderte Abschnitte (Klasse 5), wenn ausgewählte Strukturparameter sehr schlecht bewertet sind	Übersichtsverfahren (7 - stufige Klasseneinteilung) der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)
Wasserhaushalt	- kein ausreichender Mindestabfluss in Ausleitungsstrecken; - Brauchwasserentnahmen von mehr als 1/3 des mittleren Niedrigwasserabflusses und keine sofortige Wiedereinleitung	Pegelnetz LUBW, Anlagenkataster Wasserbau (AKWB)

situation der Fließgewässer. Auf Grundlage vorhandener Defizite wird die Beurteilung der hydromorphologischen Auswirkungen auf das Fließgewässersystem bzw. den Wasserkörper vorgenommen sowie notwendige strukturverbessernde Maßnahmen entwickelt. Die Überwachungsergebnisse der hydromorphologischen Komponenten müssen bei der Einstufung des ökologischen Zustands unterstützend berücksichtigt werden.

Da sich die Auswirkungen auf die biologischen Qualitätskomponenten erst verzögert zeigen, zeigt sich der Erfolg gewässerökologischer Maßnahmen zunächst meist über die hydromorphologischen Komponenten.

Die Kriterien für hydromorphologische Belastungen sind in der Tabelle 6.3-1 angeführt.

Von ca. 10 400 km – auf der Grundlage des LAWA-Übersichtsverfahrens – kartierten Fließgewässern des für die WRRL relevanten Gewässernetzes (ca. 14 000 km), wurden rund 41 % als signifikant morphologisch beeinträchtigt bewertet.

Die Abbildungen 6.3-3, 6.3-4 und 6.3-5 zeigen die Überwachungsergebnisse für den Zustand Durchgängigkeit, Morphologie und Wasserhaushalt.

Das Beurteilungsergebnis ‚Ziel verfehlt‘ bedeutet, dass Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstruktur zu

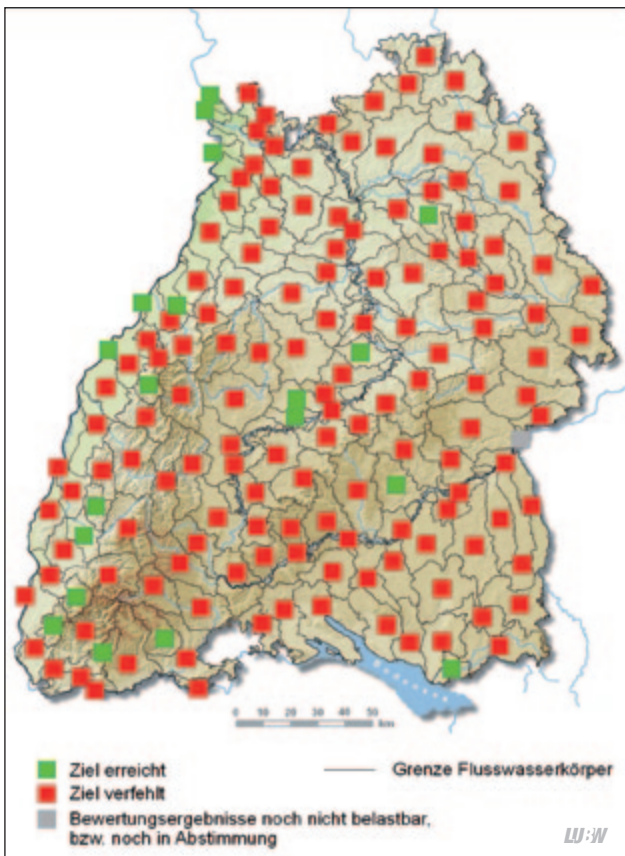


Abb. 6.3-3: Überwachungsergebnis – Zustand Durchgängigkeit. Stand: 2009

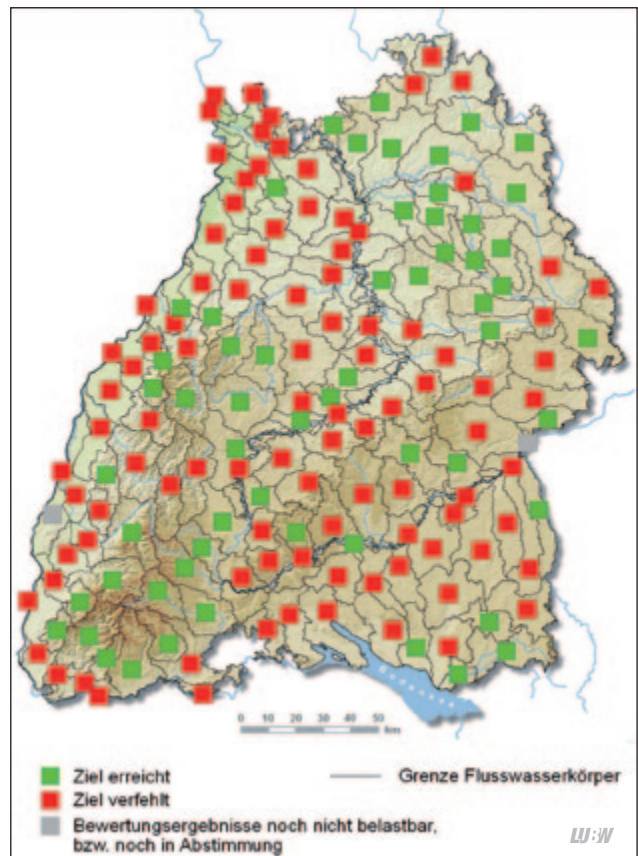


Abb. 6.3-4: Überwachungsergebnis – Zustand Morphologie. Stand: 2009

Tab. 6.3-2: Hydromorphologischer Zustand der Flusswasserkörper. Stand: 2009

Komponente	Beurteilung	Grundlage
Durchgängigkeit	Expertenurteil 2009	- Referenz-Fischzönosen - Fischzönotische Grundaprägungen (Fischtypen) - Karte „Migrationsbedarf der Fischfauna in Fließgewässern“ einschließlich Zielvorgaben für Lachs und Seeforelle - Anlagenkataster Wasserbau
Morphologie	Anteil signifikanter morphologischer Strecken in der Summe > 70 % im Wasserkörper bedeutet Ziel verfehlt. Validierung durch Expertenurteil 2009	- morphologisch veränderte Gewässerabschnitte - rückgestaute Gewässerabschnitte
Wasserhaushalt	Expertenurteil 2009	- signifikante Brauchwasserentnahmestrecken - signifikante Ausleitungsstrecken

LW:W

ergreifen sind. Hydromorphologische Einzelmaßnahmen werden als Bestandteil des Maßnahmenprogramms des Bewirtschaftungsplans in „Programmstrecken“ zusammengefasst.

Bei der Komponente Durchgängigkeit werden in 139 der insgesamt 159 Wasserkörper, entsprechend ca. 87 %, Maßnahmen zur Herstellung der Durchgängigkeit erforderlich.

Mit „Ziel verfehlt“ werden bei der Komponente Morphologie etwa 62 % der Wasserkörper bewertet, bei der Kompo-

nente Wasserhaushalt besteht in ca. 55 % der Wasserkörper Handlungsbedarf.

Die Bewertung der Hydromorphologie erfolgt komponentenspezifisch auf Ebene der Wasserkörper. Die Kriterien für die wasserkörperbezogene Bewertung der hydromorphologischen Komponenten sind in der Tab. 6.3-2 angeführt.

#### 6.3.2.6 PHYSIKALISCH-CHEMISCHE KOMPONENTEN

Wie die hydromorphologischen Komponenten prägen auch die physikalisch-chemischen Komponenten die Lebensbedingungen in den Fließgewässern und fließen daher unterstützend in die ökologische Zustandsbewertung ein. Die LAWA hat für aussagekräftige Kenngrößen nach Gewässertypen differenzierte Orientierungswerte [LAWA-AO 2007] festgelegt. Überschreitungen dieser Werte weisen auf mögliche Defizite des Gewässerzustandes hin und können Ansatzpunkte für gegebenenfalls notwendige Sanierungsmaßnahmen aufzeigen. Im Folgenden werden für die maßgeblichen Güteaspekte Temperaturverhältnisse, Sauerstoffhaushalt, Nährstoffverhältnisse, Salzgehalt und Säurezustand der aktuelle Zustand sowie – soweit möglich – die langjährige Entwicklung detailliert dargestellt.

#### TEMPERATURVERHÄLTNISSE

Die jährlichen Schwankungen der Wassertemperatur werden primär von der Wasserführung und der meteorologischen Situation der einzelnen Jahre bestimmt. An Rhein und Neckar wird die Wassertemperatur zusätzlich vom Wärmeeintrag der Kraftwerke beeinflusst. In Rhein und Neckar sind im Beobachtungszeitraum ausgeprägte Zunahmen der gemessenen Maximaltemperaturen feststellbar, wohingegen im baden-württembergischen Abschnitt der Donau die Maximaltemperaturen nur vergleichsweise ge-

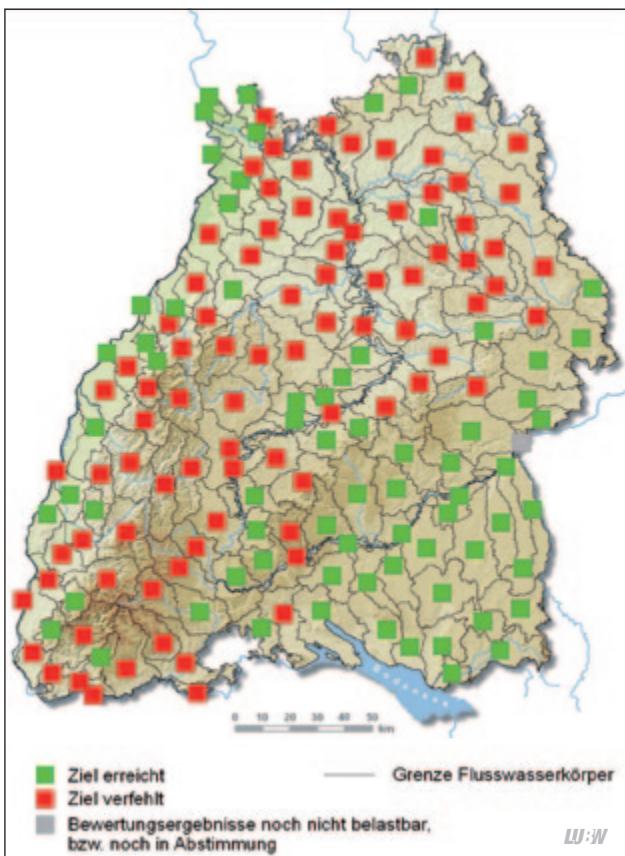


Abb. 6.3-5: Überwachungsergebnis – Zustand Wasserhaushalt. Stand: 2009



ring ansteigen (Abb. 6.3-6). Während in der Donau die Maximaltemperaturen durchweg deutlich unter 25 °C liegen, wurden in Abschnitten des Oberrheins und im gestauten Neckar in den ausgesprochen heißen Jahren 2003 und 2006 Maximaltemperaturen bis in den Bereich von 28 °C gemessen, der für die dort lebenden Fauna allgemein als kritisch angesehen wird. Die Auswirkungen wurden daher sorgfältig beobachtet und untersucht. Eine gravierende Verschlechterung der biologischen Gewässergüte wurde anhand des Makrozoobenthos nicht festgestellt. Allerdings wurden Fischsterben von Aalen im Bodensee-Untersee und von Äschen im Hochrhein beobachtet. Im Neckar trat ein Muschelsterben der seit Anfang der 1990er Jahre neu eingewanderten Körbchenmuschel auf [LFU 2004c]. Da hohe Wassertemperaturen hierzu zumindest teilweise beitrugen, wurde die anthropogene Aufwärmung in diesem Zeitraum auf den durch die Wärmekraftwerke zur Aufrechterhaltung der Stromversorgung unvermeidbaren Eintrag weitestgehend begrenzt.

Seit Mitte der 1970er Jahre wurden alle Kraftwerksneubauten am Neckar mit einem Kühlturm ausgerüstet, so dass die Zunahme des Wärmeeintrags seit 1973 trotz erheblicher Steigerung der installierten elektrischen Leistung vergleichsweise gering ist. Nach Stilllegung des Kernkraftwerkes Obrigheim im Jahr 2005 hat sich die Aufwärmung im unteren Neckarabschnitt deutlich entspannt.

#### SAUERSTOFFHAUSHALT

Der Sauerstoffhaushalt der Fließgewässer wird einerseits durch die Belastung mit biologisch leicht abbaubaren Stoffen und den Abbauprozessen im Gewässer sowie andererseits durch die stattfindende Wiederbelüftung bestimmt. Die im Hinblick auf den Sauerstoffhaushalt aussagefähigsten und flächenhaft dichtesten Ergebnisse liegen durch die Untersuchung der Organismengruppe des Makrozoobenthos vor (siehe Modul Saprobie). Mittels chemischer Messungen der Parameter ‚biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen‘ (BSB<sub>5</sub>), Ammonium und Sauerstoffgehalt wird das Ausmaß der Belastung mit sauerstoffzehrenden Stoffen quantifiziert sowie die Auswirkungen auf den Sauerstoffgehalt erfasst. Hierbei ergibt sich folgendes Bild:

Der BSB<sub>5</sub> charakterisiert die Belastung des Gewässers mit sauerstoffzehrenden Substanzen. Höhere BSB<sub>5</sub>-Belastungen weisen vorwiegend Gewässer auf, die einen hohen

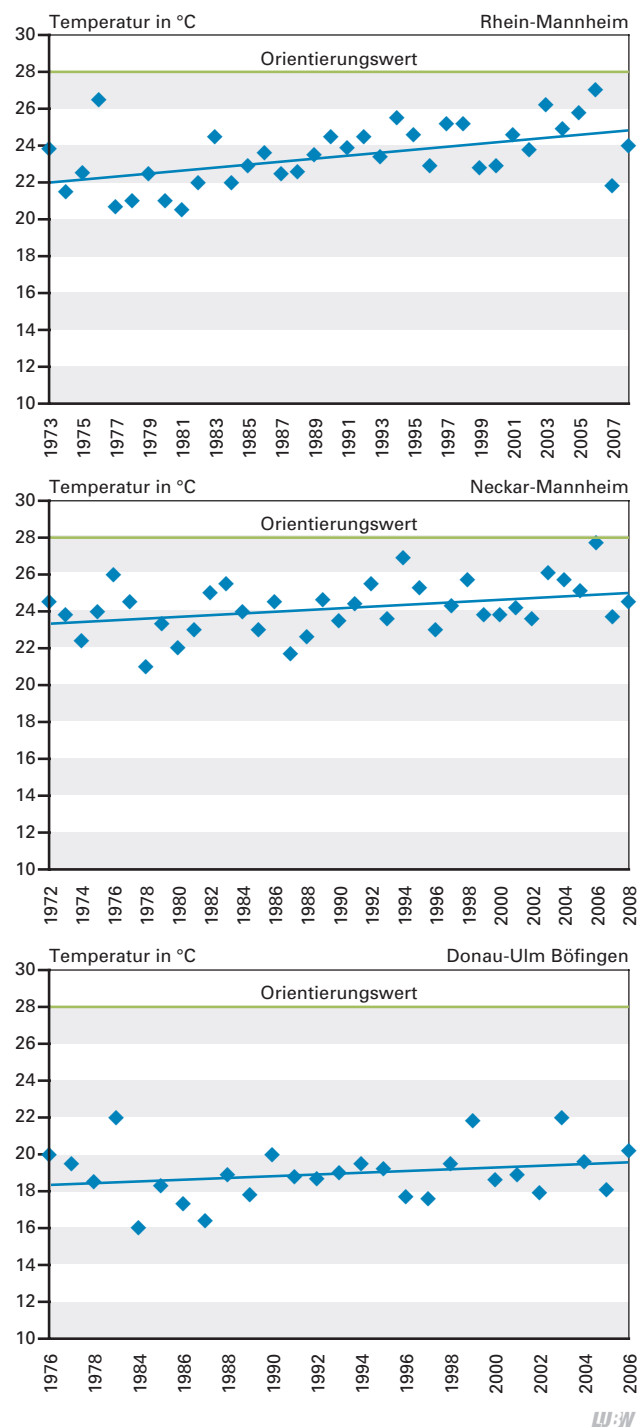


Abb. 6.3-6: Entwicklung der Jahreshöchstwerte der Wassertemperatur von Rhein, Neckar und Donau. Stand: 2008

Abwasseranteil oder unzureichend gereinigte Abwässer aufnehmen. Insbesondere bei ungenügender Regenwasserbehandlung und bei Überlastung von Kläranlagen oder bei Störungen im Klärbetrieb können größere Mengen sauerstoffzehrender Stoffe in die Gewässer eingetragen werden. In Baden-Württemberg wird der gewässertypspezifische Orientierungswert der LAWA an 2 % der Messstellen überschritten (Abb. 6.3-7). Betroffen sind die nördlich von Karlsruhe dem Rhein aus dem Kraichgau zufließenden

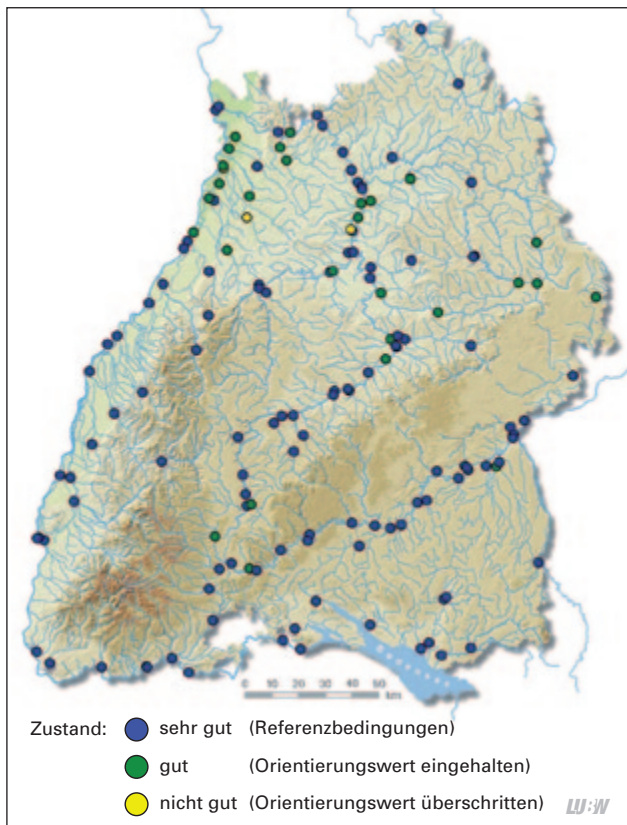


Abb. 6.3-7: Belastung der Fließgewässer mit sauerstoffzehrenden Stoffen (gemessen als BSB<sub>5</sub>, Mittelwerte 2006-2008). Stand: 2008

Gewässer Wagbach und Saalbach sowie der Neckarzufluss Zaber.

Durch den in den vergangenen Jahrzehnten erfolgten konsequenten Bau und Ausbau von Kläranlagen und Regenwasserbehandlung wurde die Belastung der Fließgewässer mit biologisch leicht abbaubaren Stoffen sehr stark verringert: im Rhein im Mittel um 75 %, im Neckar gar um mehr als 80 % und in der Donau bei allerdings kürzerer Beobachtungszeit noch etwas über 60 % (Abb. 6.3-8).

In den letzten rund zehn Jahren gingen die Konzentrationen des BSB<sub>5</sub> in vielen Zuflüssen weiter deutlich zurück, besonders ausgeprägt in Acher, Kraichbach, Leimbach, Prim Starzel, Fils, Körsch, Brigach, Kanzach und Brenz (Abb. 6.3-9).

**Ammonium** gelangt überwiegend über Abwasser in die Gewässer. Aus Ammonium kann das stark fischtoxische Ammoniak entstehen. Zudem belastet es in höheren Gehalten den Sauerstoffhaushalt und ist deshalb ein problematischer Gewässerinhaltsstoff.

Aktuell weisen rund 8 % der Messstellen des Landes Ammoniumgehalte über dem Orientierungswert der LAWA von 0,3 mg/l Ammonium-Stickstoff auf (Abb. 6.3-10). Besonders hohe Überschreitungen werden in den Gewässern aus dem Kraichgau wie Saalbach und Wagbach, dem Neckarzufluss

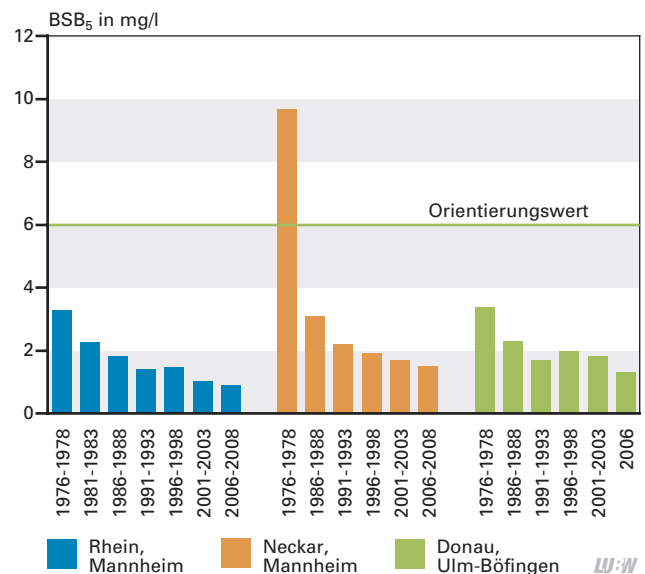


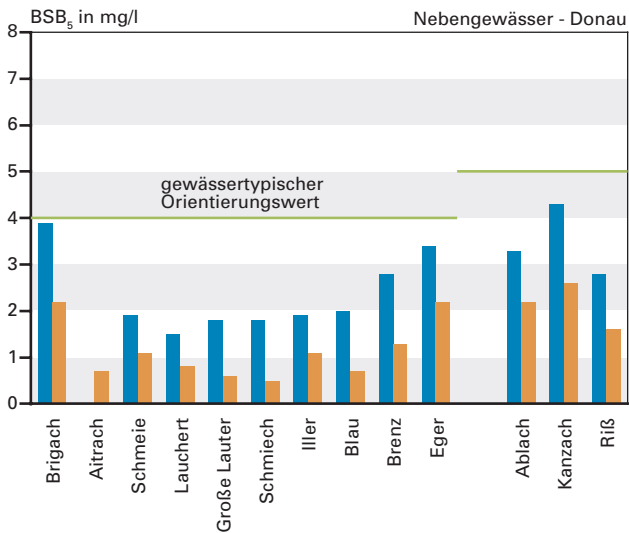
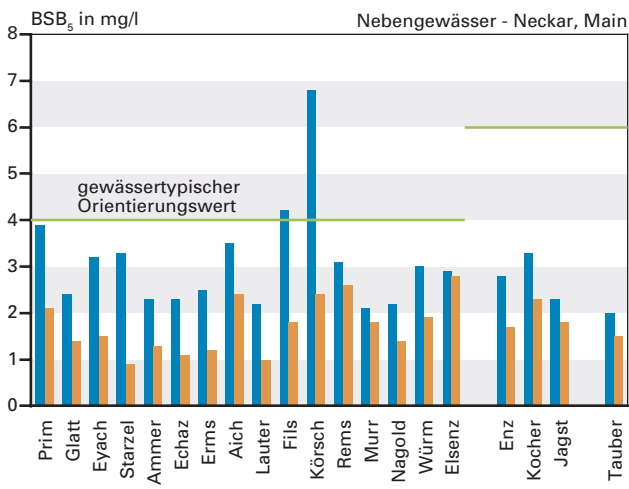
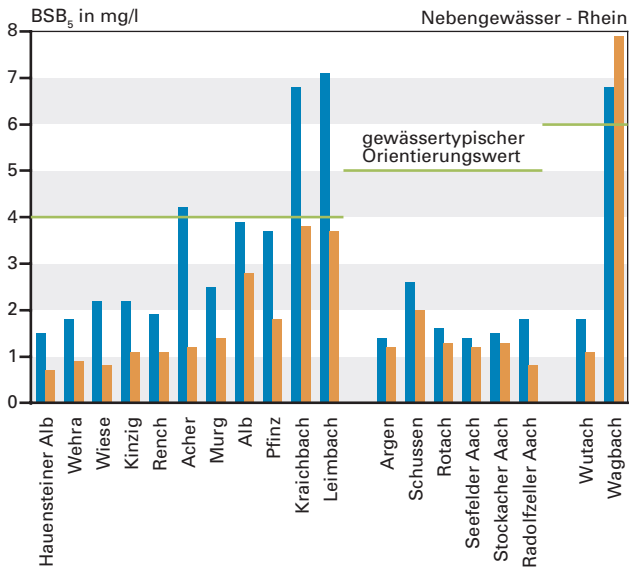
Abb. 6.3-8: Langjährige Entwicklung der Belastung mit sauerstoffzehrenden Stoffen in Rhein, Neckar und Donau (gemessen als BSB<sub>5</sub>, Mittelwerte). Stand: 2008

Zaber sowie dem Donauzufluss Rottum vorgefunden.

Insgesamt ist die Ammoniumbelastung der Gewässer durch die ergriffenen Sanierungsmaßnahmen bei der Abwasser- und Regenwasserbehandlung in den letzten Jahrzehnten stark reduziert worden: im Rhein um 80 %, in der Donau um 85 % und im Neckar um über 95 % (Abb. 6.3-11).

Deutliche Verbesserungen werden auch in den kleineren Gewässern verzeichnet, besonders ausgeprägt in Acher, Leimbach, Starzel, Fils und Körsch. Dagegen werden entgegen dem landesweit positiven Trend im Wagbach deutlich zunehmende Ammoniumgehalte gemessen (Abb. 6.3-12).

Der **Sauerstoffgehalt** der Fließgewässer ist heute als Folge der konsequenten Verbesserungen in der Abwasserbehandlung und der hierdurch erzielten Verringerung des Eintrags sauerstoffzehrender Stoffe meist gut bis zufriedenstellend. Allerdings werden in empfindlichen Gewässerabschnitten, wie z. B. in dem durch Aufstau schiffbar gemachten Neckar, bei sommerlichem Niedrigwasser und hohen Wassertemperaturen weiterhin zeitweise zu niedrige Sauerstoffgehalte vorgefunden. Im schiffbaren Neckar treten vorwiegend in Folge massiver Algenblüten als problematisch zu wertende deutliche Sauerstoffübersättigungen sowie nachfolgend deutliche Sauerstoffdefizite in rascher Folge auf, die durch den bakteriellen Abbau des übermäßig gebildeten organischen Materials verursacht werden. Der Neckar muss daher bei Sauerstoffwerten unterhalb 4 mg/l durch Belüftungsmaßnahmen gestützt werden, um ein Absinken der Sauerstoffkonzentration auf fischkritische Werte zu verhindern. Das hierfür eingerichtete „Sauerstoffreglement Neckar“ hat sich bewährt.



■ 1994-1996 (Mittel) ■ 2006-2008 (Mittel) LW:W

Abb. 6.3-9: BSB<sub>5</sub>-Konzentrationen der Zuflüsse von Rhein, Neckar und Donau in 1994-1996 sowie 2004-2006 (Mittelwerte). Stand: 2008

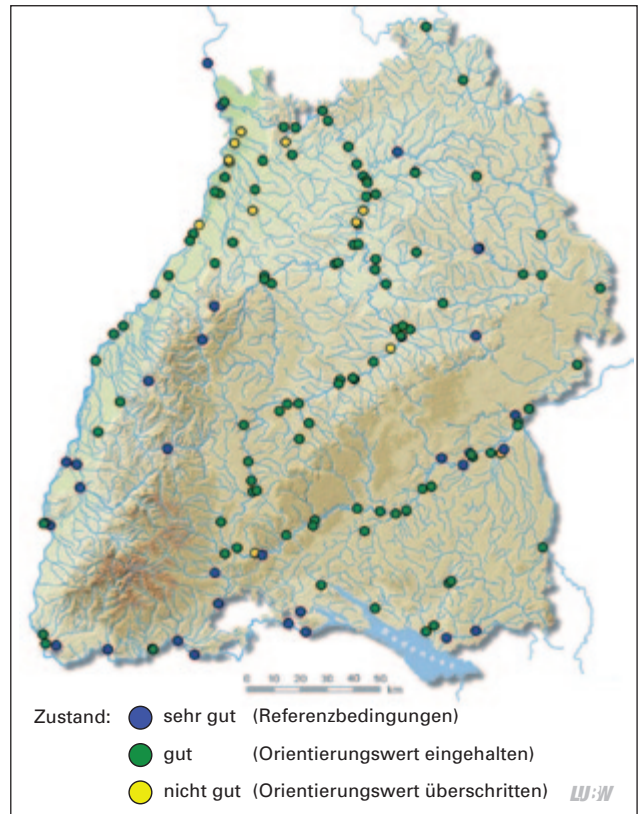


Abb. 6.3-10: Belastung der Fließgewässer mit Ammonium (Mittelwerte 2006-2008). Stand: 2008

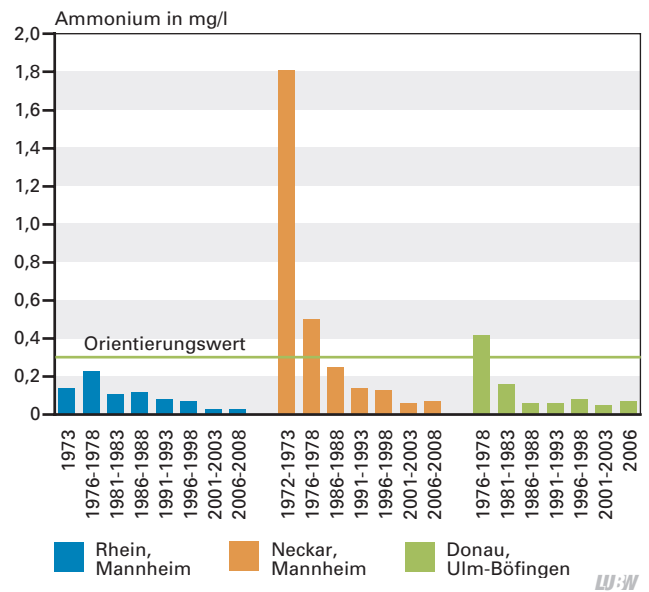


Abb. 6.3-11: Ammonium-Stickstoff-Konzentrationen in Rhein, Neckar und Donau (Mittelwerte). Stand: 2008

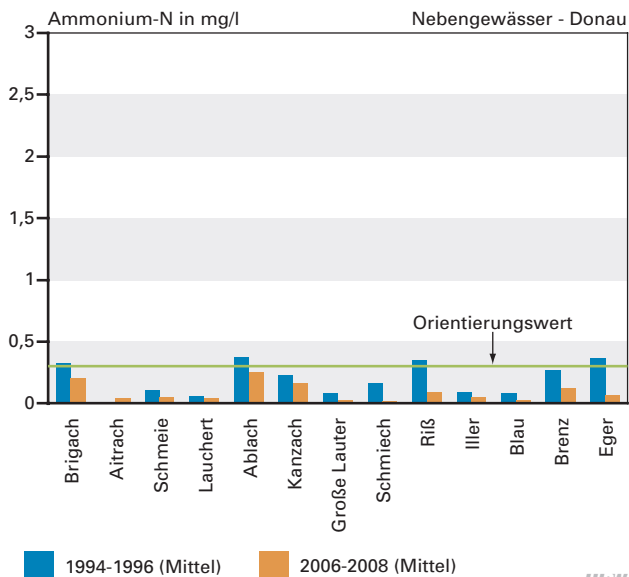
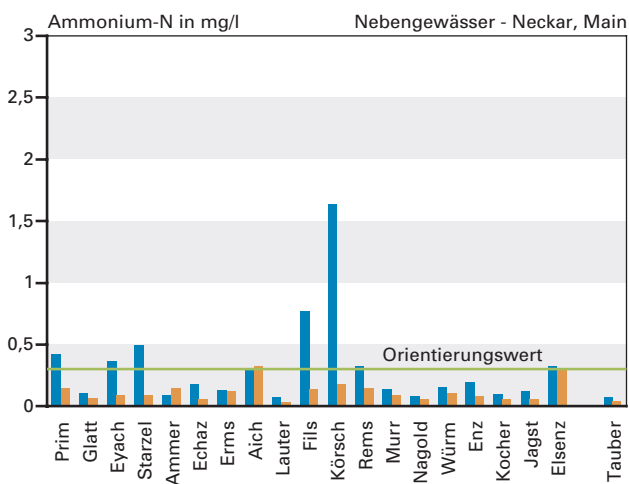
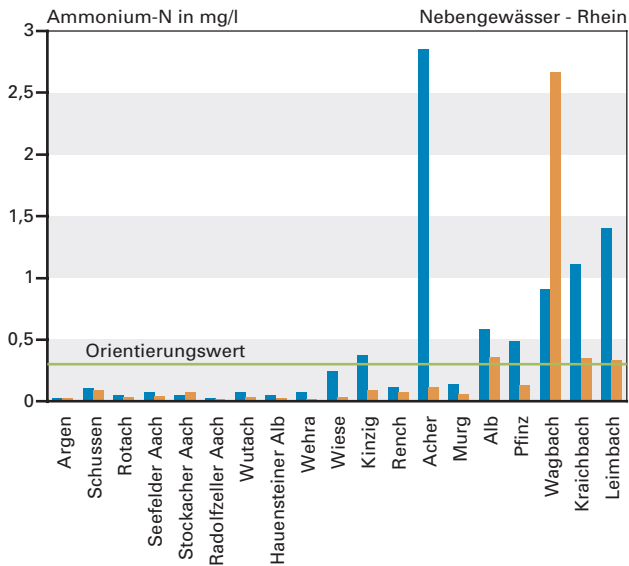


Abb. 6.3-12: Ammonium-Stickstoff-Konzentrationen der Zuflüsse von Rhein, Neckar und Donau 1994-1996 sowie 2006-2008 (Mittelwerte). Stand: 2008

### NÄHRSTOFFVERHÄLTNISSE

Erhöhte Gehalte an dem Pflanzennährstoff **Phosphat** können in Fließgewässern ein unnatürlich starkes Pflanzenwachstum (Verkrautung, Veralgung) hervorrufen und durch die Zersetzung des abgestorbenen Pflanzenmaterials indirekt eine erhebliche Belastung des Sauerstoffhaushaltes bewirken. Besonders gefährdet sind langsam fließende Gewässerabschnitte, wie z. B. die gestauten Bereiche von Neckar und Donau. Aufgrund der Schlüsselstellung des Phosphats wurde in Baden-Württemberg zur Begrenzung der Eutrophierung der Gewässer im Hinblick auf die jetzt anstehende Maßnahmenplanung ein Sanierungszielwert von 0,2 mg/l bezogen auf den leicht pflanzenverfügbaren ortho-Phosphat-Phosphor festgelegt. Für den gestauten Neckarabschnitt gilt der Sanierungszielwert von 0,1 mg/l ortho-Phosphat-Phosphor [LUBW 2008c]. Phosphat wird überwiegend aus kommunalen Kläranlagen sowie diffus aus landwirtschaftlich genutzten Flächen durch Abschwemmung eingetragen. Der jeweilige Sanierungszielwert wird an 12 % der Messstellen überschritten. Betroffen ist insbesondere der schiffbare Neckar, für den eine Reduktion der Phos-

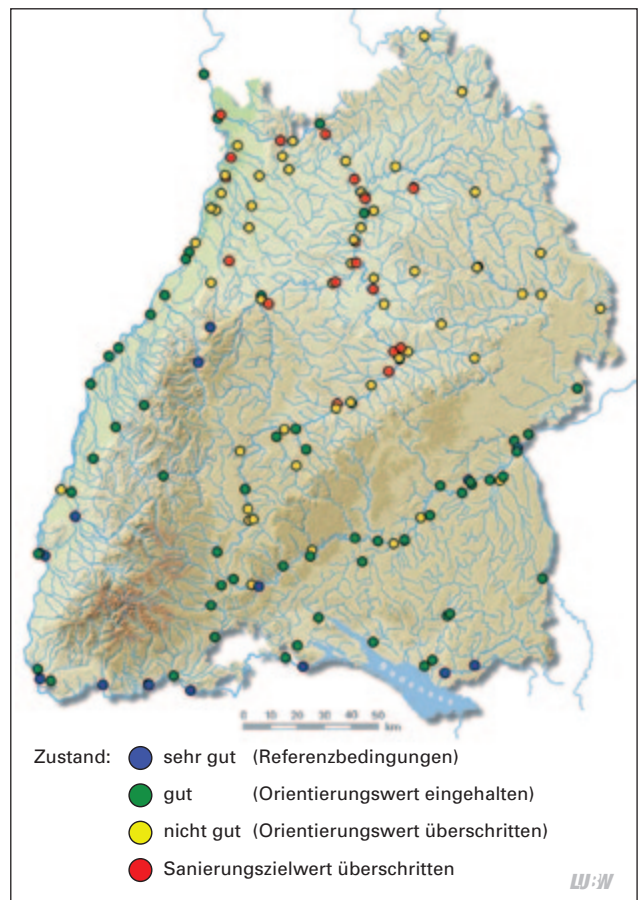


Abb. 6.3-13: Belastung der Fließgewässer mit Phosphat (Mittelwerte 2006-2008). Stand: 2008



phateinträge um 40 % im gesamten Neckar-Einzugsgebiet erforderlich ist. Darüber hinaus weisen die Gewässer der nördlichen Oberrheinebene Pfingz, Wagbach und Kraichbach, die Neckarzuflüsse Ammer, Aich, Körsch, Würm, Gloms und Ohrn deutlich zu hohe Phosphatgehalte auf. Die im Vergleich zu den genannten Sanierungszielwerten noch niedrigeren, nach Gewässertyp differenzierten Orientierungswerte der LAWA werden an weiteren 39 % der Messstellen und somit in weiten Landesteilen überschritten (Abb. 6.3-13).

Inwieweit diese auch zu einer Verfehlung des guten ökologischen Zustandes führen, ist erst zukünftig anhand der Untersuchungsergebnisse für die pflanzlichen Komponenten zu beurteilen. Eine vergleichsweise geringe Phosphatbelastung weisen bereits heute die Gewässer im Bodensee-Einzugsgebiet auf. Grund hierfür sind die zum Schutz des Bodensees gültigen, hohen Anforderungen zur Phosphor-Elimination. Auch Gewässer mit geringen Abwasseranteilen, wie z. B. Gewässer des Schwarzwaldes und viele Donauzuflüsse haben eine geringe Phosphatbelastung. Betrachtet man die langjährige Entwicklung, zeigt sich seit Anfang der 1990er Jahre eine deutliche Abnahme der Phosphatbelastung. Bewirkt wurde dies durch den Ersatz von Phosphaten in Waschmitteln sowie die Nachrüstung der Kläranlagen mit Verfahrensstufen zur Phosphoreliminierung. Der Rückgang an ortho-Phosphat-Phosphor beträgt für die Donau ca. 60 %, für den Rhein ca. 80 % und den Neckar ca. 85 % (jeweils gegenüber Beginn der Beobachtung, Abb. 6.3-14).

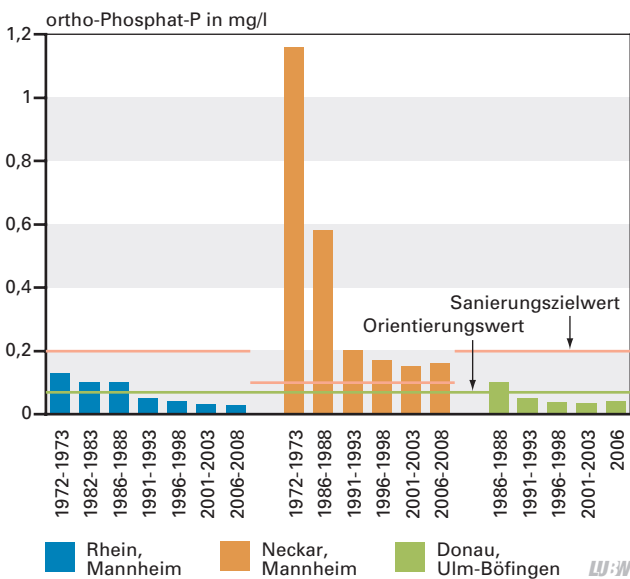


Abb. 6.3-14: Phosphatkonzentrationen (Ortho-Phosphat, Mittelwerte) in Rhein, Neckar und Donau (Mittelwerte). Stand: 2008

In vielen Nebengewässern werden heute ebenfalls deutlich niedrigere Phosphatgehalte als noch Mitte der 1990er Jahre vorgefunden. Besonders ausgeprägte Verbesserungen

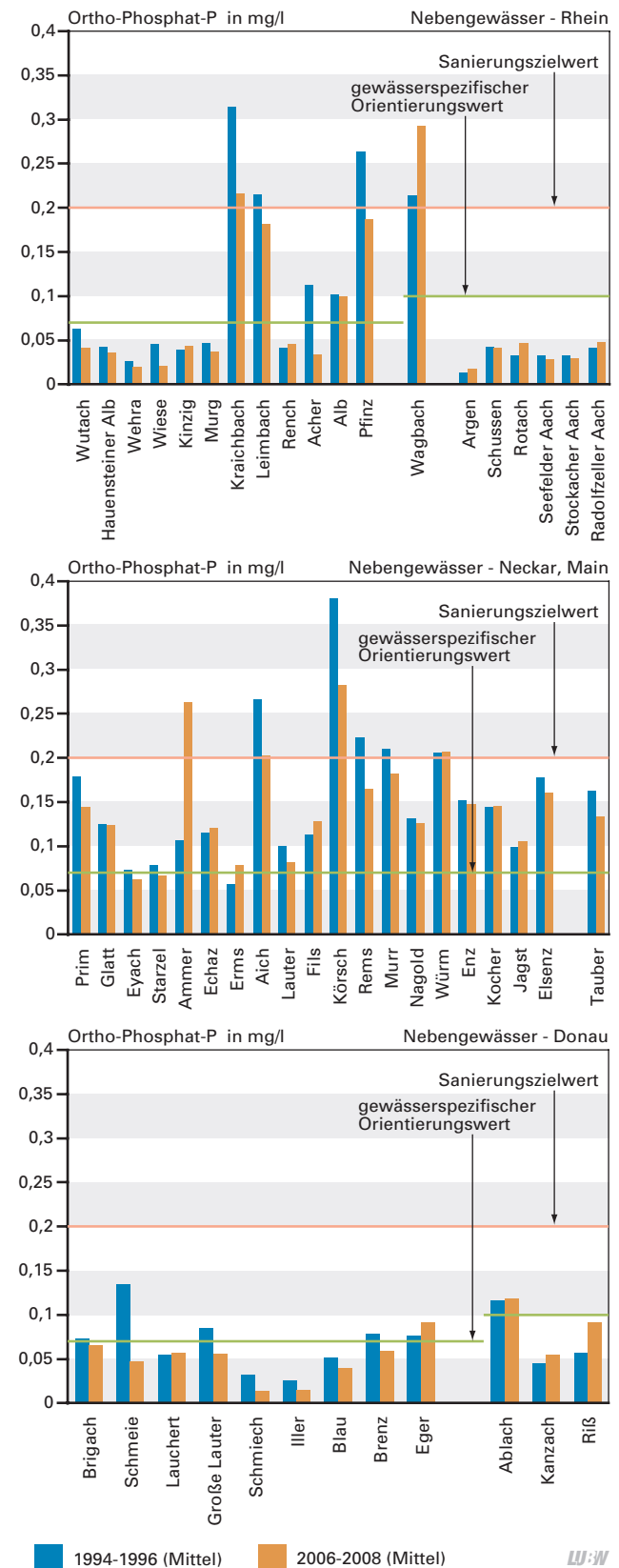


Abb. 6.3-15: Phosphatkonzentrationen (ortho-Phosphat) der Zuflüsse von Rhein, Neckar und Donau in 1994-1996 sowie 2006-2008 (Mittelwerte). Stand: 2008



weisen Acher, Pfinz, Rems, Schmie und große Lauter auf. Auch in Kraichbach, Körsch, und Glems wird ein positiver Trend beobachtet (Abb. 6.3-15), wobei der Sanierungswert von 0,2 mg/l Phosphat-Phosphor noch nicht erreicht ist.

Nitrat, die mengenmäßig bedeutendste Stickstoffverbindung, trägt zwar in den hiesigen Fließgewässern als Pflanzennährstoff nicht maßgeblich zur Eutrophierung bei, wird aber in den aufnehmenden Küstengewässern und Meeren für die dort beobachtbaren Eutrophierungserscheinungen verantwortlich gemacht. Im Hinblick auf die Fließgewässerbeschaffenheit hat die LAWA vorerst keinen Orientierungswert abgeleitet. Unabhängig hiervon sieht die Gewässerbeurteilungsverordnung des Landes eine Umweltqualitätsnorm von 50 mg/l Nitrat (entsprechend 11,3 mg/l Nitrat-Stickstoff) vor. Weitergehende Anforderungen zur Reduktion der Stickstoffeinträge zum Schutz der Meere werden derzeit international konkretisiert. Nitrat wird aus kommunalen Kläranlagen und zu einem erheblichen Anteil auch diffus vorwiegend über das Grundwasser in die Fließgewässer eingetragen.

Die Umweltqualitätsnorm für Nitrat wird landesweit in allen Wasserkörpern eingehalten. Generell werden in Gewässern in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten und in den Gewässern mit hohem Abwasseranteil deutlich erhöhte bis hohe Nitratgehalte vorgefunden, wie z. B. in Lein, Tauber, Ammer, Körsch, Zaber, Elsenz und Kriegbach. Dagegen sind die Nitratgehalte der wasserreichen Zuflüsse aus dem Schwarzwald, deren Einzugsgebiete überwiegend forstwirtschaftlich genutzt werden, vergleichsweise gering.

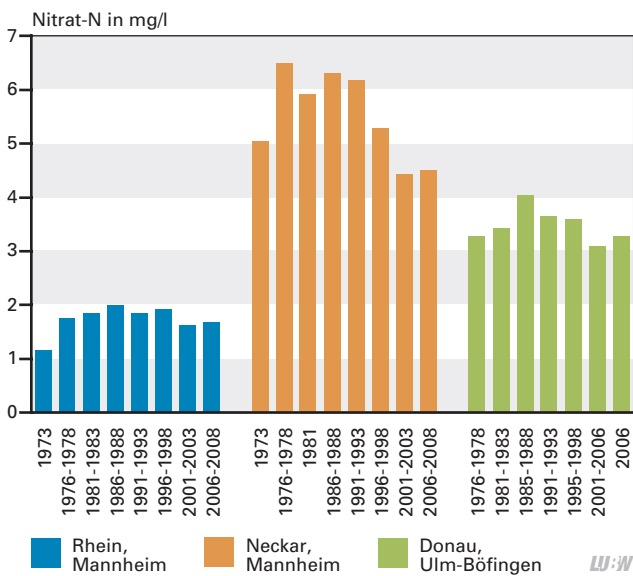


Abb. 6.3-16: Nitrat-Stickstoff-Konzentrationen in Rhein, Neckar und Donau (Mittelwerte). Stand: 2008

Die Nitratgehalte in den Flüssen haben bis Ende der 1980er Jahre stetig zugenommen. Danach konnte eine Trendumkehr zu wieder abnehmenden Gehalten erreicht

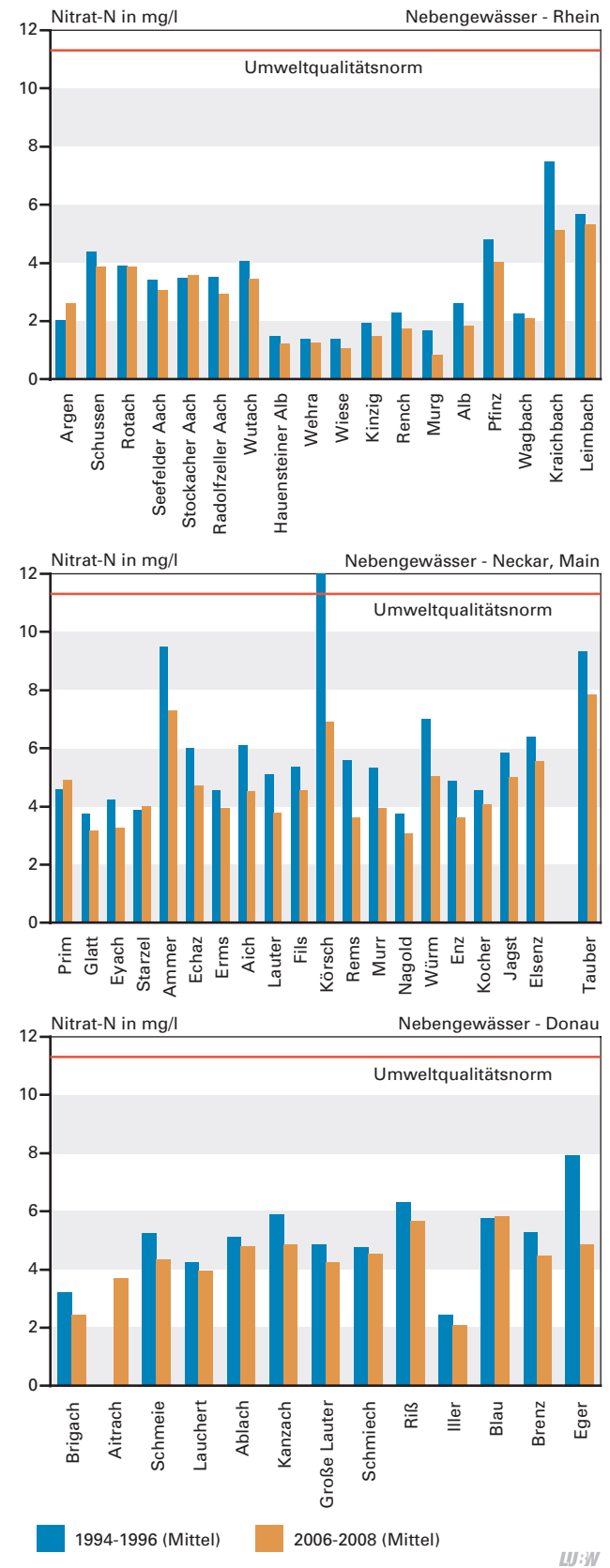


Abb. 6.3-17: Nitratkonzentrationen der Zuflüsse von Rhein, Neckar und Donau in 1994-1996 sowie 2006-2008 (Mittelwerte). Stand: 2008

werden (Abb. 6.3-16). Besonders deutlich ausgeprägt ist diese Trendumkehr im Neckar. Diese positive Entwicklung ist in erster Linie eine Folge der Nachrüstung von Kläranlagen mit Verfahrensstufen zur Stickstoffeliminierung. Ähnlich positive Entwicklungen zeichnen sich auch in vielen kleineren Fließgewässern ab. Besonders ausgeprägt ist dies in Kraichbach, Ammer, Körsch, Würm und Eger, die deutlich niedrigere Konzentrationen als Mitte der 1990er Jahre aufweisen (Abb. 6.3-17).

### SALZGEHALT

Hohe Salzgehalte können zur Beeinträchtigung der aquatischen Organismen und zu Korrosionsproblemen bei der Trinkwasserversorgung führen. Die Chlorideinträge in die kleinen Gewässer stammen im Wesentlichen aus Abwässern, die über die kommunalen Kläranlagen eingetragen werden und aus von winterlichen Straßen abgespültem Tausalz. An den Messstellen des Landes wird der Orientierungswert der LAWA von 200 mg/l Chlorid sicher eingehalten.

Die Chloridgehalte des Oberrheins resultieren heute zu einem erheblichen Anteil aus dem Abtrag der durch den Kalibergbau entstandenen Abraumhalden bei Mulhouse (Elsass). Gegenüber Mitte der 1980er Jahre ist die Salzbelastung des Oberrheins allerdings um rund 80 % zurückgegangen, im Wesentlichen als Ergebnis des Chloridübereinkommens zwischen den Rheinanliegerstaaten sowie der letztendlich 2003 erfolgten Produktionseinstellung in den elsässischen Kaliminen (Abb. 6.3-18).

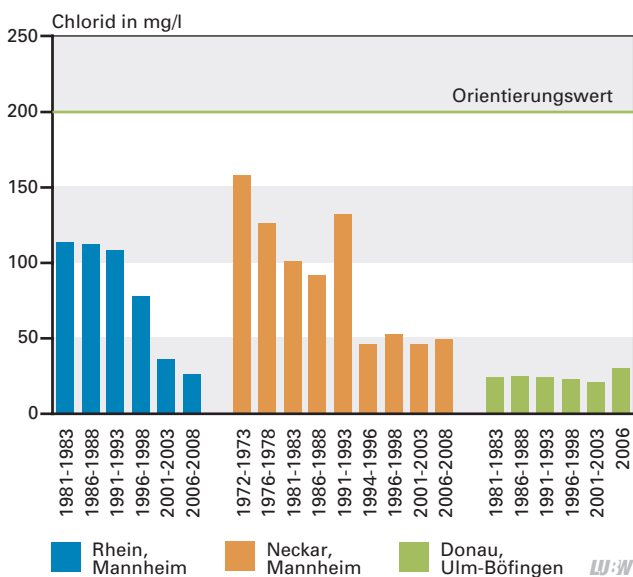


Abb. 6.3-18: Chloridkonzentrationen (Mittelwerte) in Rhein, Neckar und Donau (Mittelwerte). Stand: 2008

Im Neckar unterhalb von Heilbronn waren die Chloridkonzentrationen bis 1992 ebenfalls stark erhöht. Nach der Einstellung der Sodaproduktion in einem Betrieb im Raum

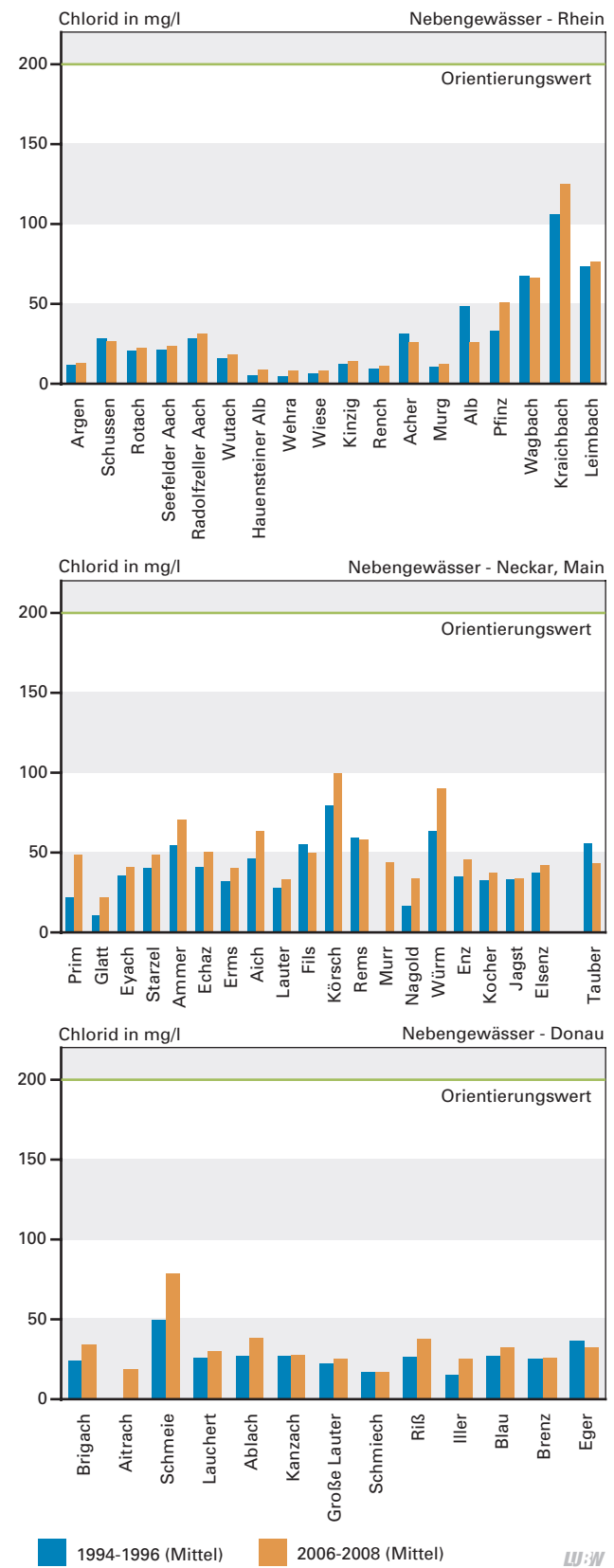


Abb. 6.3-19: Chloridkonzentrationen der Zuflüsse von Rhein, Neckar und Donau (Mittelwerte). Stand: 2008

Heilbronn im Jahre 1993 ist die Chloridbelastung des Neckars sprunghaft um nahezu 70 % zurückgegangen. Die Salzbelastung der Donau ist seit Beginn der Messungen weitgehend konstant und vergleichsweise gering (Abb. 6.3-18). Dagegen wird in vielen kleineren Gewässern gegenüber Mitte der 1990er Jahre ein Anstieg der Salzgehalte festgestellt (Abb. 6.3-19).

#### SÄUREVERHÄLTNISSE

Die Versauerung der Fließgewässer wird in Gesamtschau in Kap. 8.4.4 dargestellt.

#### 6.3.2.7 SPEZIFISCHE SCHADSTOFFE

Für eine Vielzahl toxikologisch bedeutender Stoffe, die nach WRRL als ‚spezifische Schadstoffe‘ bezeichnet werden, sind rechtsverbindliche, nationale Umweltqualitätsnormen festgelegt. Die Überschreitung bereits einer dieser Umweltqualitätsnormen führt dazu, dass der ökologische Zustand höchstens ‚mäßig‘ ist und somit der ‚gute Zustand‘ verfehlt wird. Zu diesen Schadstoffen zählen unter anderem bestimmte Wirkstoffe von Pflanzenschutzmitteln sowie eine Vielzahl von in Industrie, Gewerbe und auch Haushalten eingesetzten Stoffen, wie organische Lösungsmittel, Vor- und Zwischenprodukte der chemischen Industrie und einzelne Schwermetalle. Weitere Pflanzenschutzmittel und Schwermetalle werden nach der Systematik der WRRL zur Beurteilung des chemischen Zustands herangezogen und deswegen in Abschnitt 6.3.3 behandelt.

Die Belastung der Gewässer mit diesen Schadstoffen ist heute gemessen an den Umweltqualitätsnormen überwiegend gering. Hierzu haben die in den letzten Jahrzehnten vielfältig ergriffenen Maßnahmen wie Stoffverbote und Zulassungsbeschränkungen, der Ersatz durch toxikologisch weniger kritische Stoffe, weiter gehende Abwasserreinigungsmaßnahmen und Umstellungen im Produktionsprozess in Industrie und Gewerbe, maßgeblich beigetragen. Im Folgenden werden nur diejenigen Schadstoffgruppen und Kenngrößen herausgegriffen, die auch heute noch die Umweltqualitätsnormen für den guten ökologischen Zustand verfehlen.

#### PFLANZENSCHUTZMITTEL

In den Wasserkörpern des Landes stellen im Hinblick auf die Belastung mit spezifischen Schadstoffen insbesondere Pflanzenschutzmittelwirkstoffe das Hauptproblem dar. So werden in 9 % der Messstellen die einschlägigen Umweltqua-

litätsnormen im Bewertungszeitraum 2003 bis 2008 - zumindest in Einzeljahren - nicht eingehalten (Abb. 6.3-20). Ursache hierfür sind die zeitweise auftretenden, hohen Gehalte der Herbizide Mecoprop (in Wagbach, Kriegbach, Kraichbach, Glems, Enz), MCPA (in Leimbach, Elsenz, Sulm, Stehenbach), Chloridazon (in Lein, Schozach) und Dichlorprop (in Saalbach) sowie in der Ammer zu hohe Gehalte des Insektizides Parathion-ethyl. Pflanzenschutzmittel werden zu einem Großteil durch landwirtschaftliche Anwendung diffus oder auch durch unsachgemäße Entsorgung der Spritzmittelreste über die Hofabläufe in die Gewässer eingetragen. Ein Teil dieser Wirkstoffe wird auch im nichtlandwirtschaftlichen Bereich wie in Kleingärten bzw. auf Rasenflächen eingesetzt.

Eine umfassende Darstellung der langfristigen Entwicklung der Pflanzenschutzmittelgehalte in Gewässern ist schon allein aufgrund der Vielzahl zugelassener Wirkstoffe schwierig.

Exemplarisch ist die Entwicklung für das Herbizid Mecoprop anhand der im Neckar gemessenen Konzentrationen dargestellt (Abb. 6.3-21). Hierbei zeigen sich in den letzten

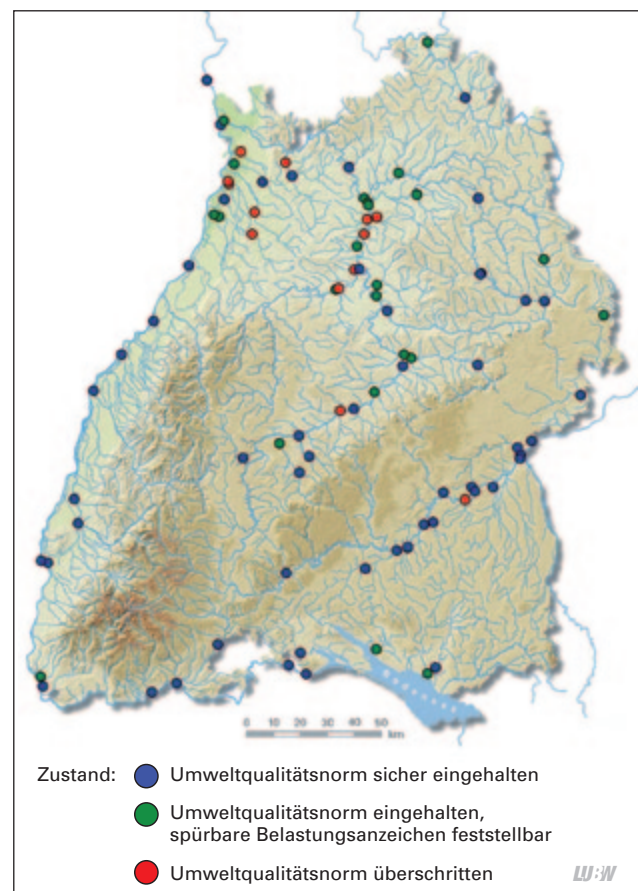


Abb. 6.3-20: Belastung der Fließgewässer mit Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen, die den spezifischen Schadstoffen zugeordnet sind (Mittelwerte aus 2003 bis 2008). Stand: 2008

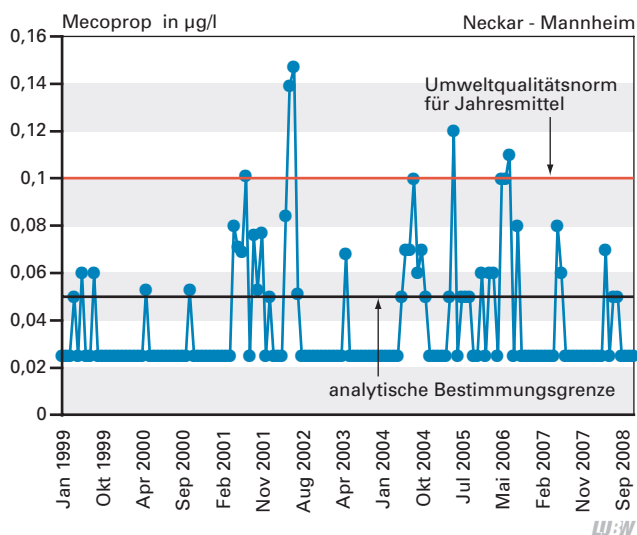


Abb. 6.3-21: Belastung des Neckars mit dem Herbizid Mecoprop.  
Stand: 2008

zehn Jahren deutlich messbare Konzentrationsanstiege zur Anwendungszeit im Frühjahr bis Sommer, die allerdings in den einzelnen Jahren unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Einen eindeutigen Trend gibt es nicht.

#### SCHWERMETALLE

Unter den zu den ‚spezifischen Schadstoffen‘ zählenden Schwermetallen sind lediglich Kupfer und Zink bedeutsam. Sie werden lokal in Sedimenten in erhöhten Konzentrationen vorgefunden. Kupfer und Zink werden außer in gewerblichen und industriellen Anwendungen in großem Maße auch in Hausinstallationen eingesetzt und gelangen so durch korrosiven Abtrag in die Gewässer. In Kläranlagen bzw. Regenüberläufen können sie nicht vollständig zurückgehalten werden. Heute weisen die in den Strömen Rhein, Neckar und Donau transportierten und regelmäßig überwachten Schwebstoffe Konzentrationen deutlich unterhalb der Umweltqualitätsnormen (Gewässerbeurteilungsverordnung) auf. Aus älteren Sedimentuntersuchungen in den Jahren 2000/2001 ist bekannt, dass die Sedimente in insgesamt zwei Wasserkörpern, in der Weschnitz sowie im Federbach, auf größeren Abschnitten Gehalte an Kupfer und Zink über den Umweltqualitätsnormen aufwiesen. In diesen wird im Rahmen der Maßnahmenplanung derzeit überprüft, in wie weit auch aktuelle Einträge noch maßgeblich zur Belastungssituation beitragen.

#### BISHER NICHT DURCH DIE WRRL ERFASSTE

##### SCHADSTOFFE

Außer den in der Gewässerbeurteilungsverordnung geregelten Stoffen werden weitere Schadstoffe in zum Teil

deutlich messbaren Konzentrationen vorgefunden. Neben weiteren Wirkstoffen von Pflanzenschutzmitteln und deren Abbauprodukten handelt es sich vielfach um Stoffe, die in großen Mengen in Haushalten oder in Industrie und Gewerbe eingesetzt werden, die aber aufgrund ihrer Wasserlöslichkeit und geringen Abbaubarkeit in Kläranlagen nur teilweise zurückgehalten werden können. Auch wenn einige dieser Stoffe für die Organismen der Gewässer in den vorgefundenen Konzentrationen nur eine geringe toxikologische Relevanz aufweisen, sind sie oftmals problematisch bei der Trinkwasseraufbereitung. Derartige Stoffe werden daher ergänzend im Rahmen orientierender Sonderuntersuchungen an wenigen ausgewählten Messstellen erfasst. Für eine aktuelle Auswahl von neu untersuchten Stoffen werden wichtige Ergebnisse kurz dargestellt.

Glyphosat ist ein Totalherbizid, das mit einem jährlichen Inlandsabsatz von mehr als 1000 t zu den in Deutschland mengenmäßig bedeutsamsten synthetischen Pflanzenschutzmittelwirkstoffen zählt [BVL 2007]. Es wird im Ackerbau, Wein- und Obstbau, beim Anbau von Zierpflanzen, auf Wiesen und Weiden, Rasenflächen und im Forst eingesetzt. Glyphosat wird im Neckar regelmäßig wiederkehrend und auch über längere Zeiträume in Konzentrationen über 0,1 µg/l vorgefunden und weist dort mit einem Jahresmittelwert von 0,12 µg/l die höchste Konzentration aller untersuchten Wirkstoffe auf. Demgegenüber ist das Konzentrationsniveau in Rhein und Donau deutlich geringer (Tab. 6.3-3).

AMPA, eine organische Phosphonsäure, die ein Abbauprodukt von Glyphosat ist, aber auch als organischer Komplexbildner eingesetzt wird, weist im Neckar ein weitgehend zum Glyphosatgehalt parallel verlaufenden Konzentrationsverlauf auf, wenn auch auf deutlich höherem Niveau. Das Konzentrationsniveau in Rhein und Donau ist auch hier deutlich geringer (Tab. 6.3-3). Auf Grundlage der zur Toxikologie verfügbaren Daten werden bei den in den großen Strömen vorgefundenen Gehalten an Glyphosat und AMPA keine negativen Auswirkungen auf die aquatische Lebensgemeinschaft erwartet.

Bessere Analyseverfahren rückten jüngst weitere Abbauprodukte von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen in den Blickpunkt des Interesses. Auffällige Befunde im Grundwasser gaben Anlass, im Jahr 2008 auch an ausgewählten Messstellen in Fließgewässern zehn Verbindungen zu untersuchen, um das Konzentrationsniveau sowohl in den großen Strömen als auch in bekanntermaßen höher belas-

Tab. 6.3-3: Konzentrationen neu untersuchter, anthropogener Stoffe in Fließgewässern, Untersuchungsjahr 2008.

Stoffgruppe	Stoff	Jahresmittelwerte (µg/l)		
		Karlsruhe / Rhein	Mannheim / Neckar	Donau / Ulm-Wiblingen
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe	Glyphosat	< 0,05	0,12	0,06
	Tolyfluanid	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	Chloridazon	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	Metazachlor	< 0,002	0,008	0,004
Pflanzenschutzmittel-Metabolite	AMPA	0,11	0,54	0,13
	Chloridazon-Desphenyl	< 0,05	0,15	0,13
	N,N-Dimethylsulfamid	0,06	0,09	0,03
	Metazachlor-S-Metabolit	0,01	0,06	0,04
	Metazachlor-C-Metabolit	< 0,01	0,05	0,01
Perfluorierte Tenside	Perfluoroctanoat (PFOA)	0,002	0,004	< 0,001
	Perfluoroctansulfonat (PFOS)	0,01	0,01	0,005
	Perfluorbutansulfonat (PFBS)	0,007	0,002	< 0,001

LUBW

teten Gebieten zu erfassen. Während die Ausgangssubstanzen, also die Wirkstoffe selbst nur sehr niedrige Konzentrationen aufweisen oder gar nicht vorgefunden wurden, weisen neun der zehn Abbauprodukte an zumindest einer der Fließgewässer-Messstellen zeitweise Konzentrationen größer der analytischen Bestimmungsgrenze auf. Die höchsten Konzentrationen werden bei den Abbauprodukten N,N-Dimethylsulfamid des bis in 2006 beispielsweise in Gemüseanbau, Wein- und Obstbau eingesetzten Fungizides Tolyfluanid und Chloridazon-Desphenyl des im Zuckerrübenanbau bedeutsamen Herbizides Chloridazon vorgefunden (Tab. 6.3-3). Dagegen haben die Abbauprodukte von S-Metolachlor, Metazachlor, Dimethachlor und Chlortalonil eine geringe mengenmäßige Bedeutung. Zu möglichen Auswirkungen der Abbauprodukte auf die aquatische Lebensgemeinschaft liegen derzeit noch keine ökotoxikologisch abgeleiteten Bewertungsgrundlagen vor.

Im Sommer 2006 sorgten erhöhte Gehalte an **perfluorierten Tensiden** (PFT) in nordrhein-westfälischen Gewässern und im dortigen Trinkwasser bundesweit für Schlagzeilen. PFT werden als oberflächenaktive Substanzen in vielen Anwendungsbereichen, wie z. B. zur öl- und wasserabweisenden Ausrüstung von Textilien, Teppichen und Papieren, in der Metallverarbeitung beim Verchromen und Verzinken, in der Fotoindustrie sowie auch in Schaummitteln für Feuerlöschmittel eingesetzt. Dies war Anlass, auch in Baden-Württemberg ein ausgedehntes Monitoring zu diesen Verbindungen durchzuführen. Neben vielen Kläranlagen

als Haupteintragsquelle wurden ergänzend Rhein, Neckar und Donau untersucht. Von den in den Fließgewässern bestimmten 18 Verbindungen dieser großen Stoffgruppe werden insbesondere Perfluoroctanoat und Perfluorocetyl-sulfonat, die als stabile Endprodukte eines Abbaus angesehen werden, an allen Messstellen in messbaren Konzentrationen vorgefunden (siehe Tab. 6.3-3). Die bisher in diesen Strömen vorgefundenen Gehalte liegen hierbei sämtlich unterhalb des von der Trinkwasserkommission des Bundes angegebenen ‚Zielwertes‘ von 0,1 µg/l (jeweils bezogen auf die Summe der beiden Stoffe im Trinkwasser).

### 6.3.3 CHEMISCHER ZUSTAND

Der chemische Zustand wird anhand von Umweltqualitätsnormen für die 38 Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen bewertet, die seit Ende 2008 europaweit einheitlich in der Richtlinie des europäischen Parlaments über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik geregelt sind (2008/105/EG). Die Richtlinie enthält erstmals auch auf Biota wie z. B. Fische bezogene Umweltqualitätsnormen, die ergänzend zu den Normen für die Wasserphase für Hexachlorbenzol, Hexachlorbutadien und Quecksilber festgelegt sind. In Baden-Württemberg wurden bislang zur Gewässerüberwachung nach WRRL keine Untersuchungen in Biota durchgeführt, da zuvor viele methodische Fragen auf europäischer und nationaler Ebene zu regeln sind. Eine abschließende Bewertung kann für diese drei Stoffe daher derzeit nicht erfolgen.



Der ‚gute chemische Zustand‘ wird auf Grundlage der verfügbaren Daten bei einem Anteil von 15 % der Wasserkörper nicht erreicht. Maßgeblich hierfür sind:

- bei den als prioritär eingestuften Pflanzenschutzmitteln insbesondere zu hohe Gehalte an dem Herbizid Isoproturon. Darüber hinaus wurde die Umweltqualitätsnorm im Leimbach in 2004 durch das zwischenzeitlich nicht mehr zugelassene Totalherbizid Diuron überschritten. Ein sehr ungewöhnlicher, einmaliger Befund an Pentachlorphenol, das als Biozid beispielsweise in Holzschutzmitteln eingesetzt wird, führte in der Zaber in 2005 zu einer Überschreitung der Umweltqualitätsnorm (Abb. 6.3-22).
- die im Vergleich zu den neuen, sehr strengen Umweltqualitätsnormen zu hohen Gehalte der an Schwebstoffen gebundenen polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) Benzo(g,h,i)perylen und Indeno(1,2,3-cd)pyren. Derzeit liegen allerdings nur für Rhein, Neckar und Donau ausreichend empfindliche Analyseergebnisse vor, da dort zu den Wasseranalysen ergänzend auch sehr aufwändige Schwebstoffuntersuchungen durchge-

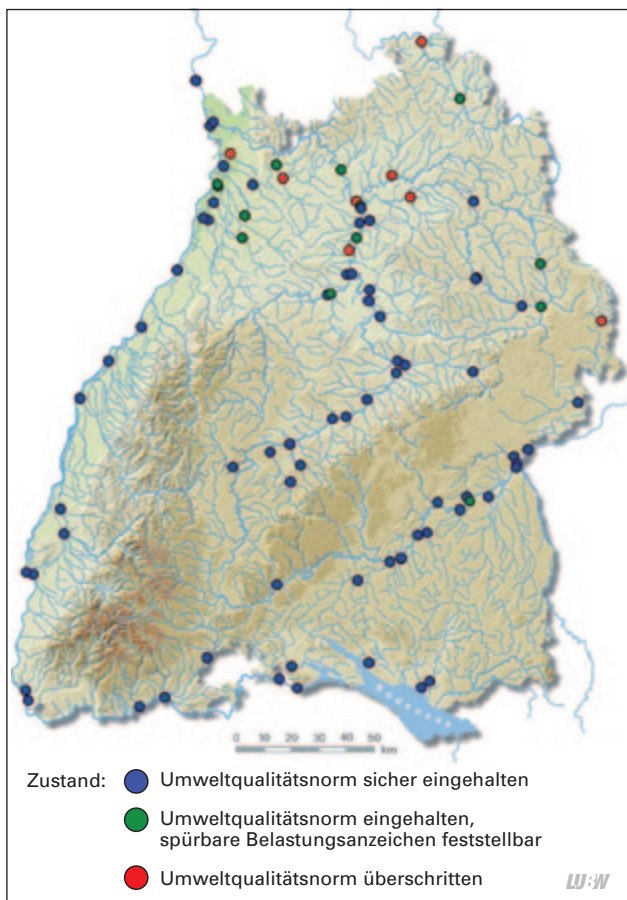


Abb. 6.3-22: Belastung der Wasserkörper mit den prioritär eingestuften Pflanzenschutzmitteln. Stand 2009

führt werden. Lediglich im Kraichbach und in der Enz wurden aufgrund des deutlich höheren Konzentrationsniveaus auch mittels Wasseruntersuchungen Überschreitungen gemessen.

- zu hohe Cadmiumgehalte im Kriegbach.

Darüber hinaus weisen die Sedimente in den Stauhaltungen des Oberrheins eine deutliche Belastung mit Hexachlorbenzol auf, die nach derzeitigem Kenntnisstand weitestgehend auf historische Einträge zurückzuführen sind. In der Wasserphase wird die Umweltqualitätsnorm dagegen sicher eingehalten. Auf Grundlage bereits älterer, umfangreicher Fischuntersuchungen [IKSR 2002] ist zu erwarten, dass auch heute noch im Oberrhein die für Hexachlorbenzol auf Biota bezogene Umweltqualitätsnorm wahrscheinlich nicht eingehalten wird.

#### PFLANZENSCHUTZMITTEL

Isoproturon gehört bundesweit mit einem jährlichen Inlandsabsatz von mehr als 1 000 t zu den mengenmäßig in Deutschland bedeutsamen Herbiziden [BVL 2007]. Es wird vorzugsweise beim Anbau von Winter- und Sommergetreide eingesetzt. An sechs Messstellen werden zumindest in Einzeljahren zur landwirtschaftlichen Anwendungszeit stark erhöhte Konzentrationsspitzen gemessen, welche die auf das Maximum bezogene Umweltqualitätsnorm von 1 µg/l überschreiten. Hiervon ist insbesondere das Neckareinzugsgebiet mit den Zuflüssen Kocher, Jagst, Zaber und Elsenz sowie die dem Main zufließende Tauber und der Donauzufluss Eger betroffen. Die längerfristige Entwick-

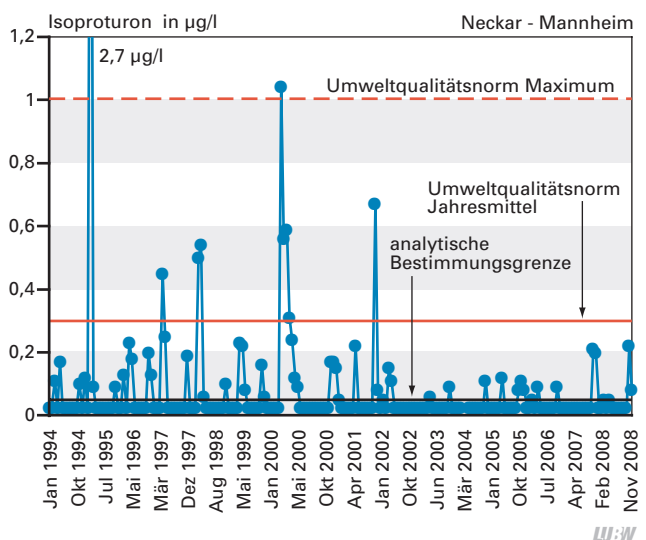


Abb. 6.3-23: Belastung des Neckars bei Mannheim mit Isoproturon. Stand: 2008

lung der Isoproturon-Konzentrationen ist exemplarisch für den Neckar in Abbildung 6.3-23 dargestellt. Hierbei zeichnet sich insgesamt ein positiver Trend ab, da trotz großer jährlicher Schwankungen die Maximalgehalte abnehmen.

#### PAK

PAK entstehen insbesondere bei der unvollständigen Verbrennung. Sie sind in Abgasen von Haushalten, Verkehr und Großfeuerungsanlagen enthalten und werden über den Luftpfad großräumig verbreitet. Sie finden sich zudem in Mineralölen, Bitumen, Pech, Teer, Ruß und daraus hergestellten Produkten. Die in den großen Strömen vorgefundenen, aus den Schwebstoffuntersuchungen abgeleiteten Zielwertüberschreitungen und die flächendeckende Verbreitung der Schadstoffquellen lassen vermuten, dass weitere Gewässer des Landes die strenge Umweltqualitätsnorm nicht einhalten. Mit Hilfe der derzeit verfügbaren Analyseverfahren für Wasserproben ist dies nur im Kraichbach und in der Enz aufgrund der dort deutlichen Überschreitungen nachweisbar. Ein ausgeprägter Trend kann mittels der bis Anfang der 1990er Jahre zurückreichenden Schwebstoffuntersuchungen nicht beobachtet werden.

#### SCHWERMETALLE

Hinsichtlich der vier Schwermetalle Blei, Cadmium, Nickel und Quecksilber zeigt die gezielte Untersuchung der als belastungsmäßig bedeutend eingestuften Wasserkörper, dass die nunmehr auf die gelösten Gehalte bezogenen Umweltqualitätsnormen mit Ausnahme von Cadmium im Kriegbach sämtlich eingehalten werden. Das Regierungspräsidium Karlsruhe geht der Cadmiumproblematik weiter nach. Unklar ist aufgrund fehlender Vorgaben derzeit noch, inwieweit auch die für Quecksilber in Biota festgelegte Umweltqualitätsnorm in den Fließgewässern des Landes eingehalten wird. Die Entwicklung der Schwermetallgehalte kann am besten anhand von Sedimentuntersuchungen dokumentiert werden, da diese bereits seit Anfang der 1970er Jahre durchgeführt werden. Hierbei ist gerade bei den als prioritär und als toxikologisch besonders bedenklich eingestuften Schwermetallen eine besonders positive Entwicklung festzustellen. So konnten beispielsweise die Cadmium-Gehalte des Neckars durch Sanierungsmaßnahmen um über 95 % reduziert werden.

#### HEXACHLORBENZOL

Hexachlorbenzol (HCB) gelangte bis Ende der 1980er Jahre vorwiegend mit den Abwassereinleitungen eines Chemie-

betriebes im Raum Rheinfelden in den Rhein. Auch heute noch ist HCB aufgrund seiner Langlebigkeit in tiefer liegenden Altsedimenten der Stauhaltungen am Oberrhein in hohen Konzentrationen angereichert. 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 mit HCB sehr heterogen verteilt, stellenweise werden noch immer Gehalte über 100 µg/kg vorgefunden. Auch die seit Anfang der 1990er Jahre durchgeführten Untersuchungen der aktuell im Rhein transportierten Schwebstoffe zeigen die langsam zurückgehende Belastung (Abb. 6.3-24). Markant sticht hierbei jedoch das Untersuchungsjahr 1999 heraus, bei dem im Zuge von zwei kurz aufeinander folgenden, außerordentlichen Hochwasserereignissen stark erhöhte HCB-Gehalte mit bis zu 340 µg/kg gemessen wurden. Die Internationale Kommission zum Schutz des Rheins erarbeitet derzeit einen Sedimentmanagementplan zur Minimierung der HCB-Austräge aus belasteten Bereichen.

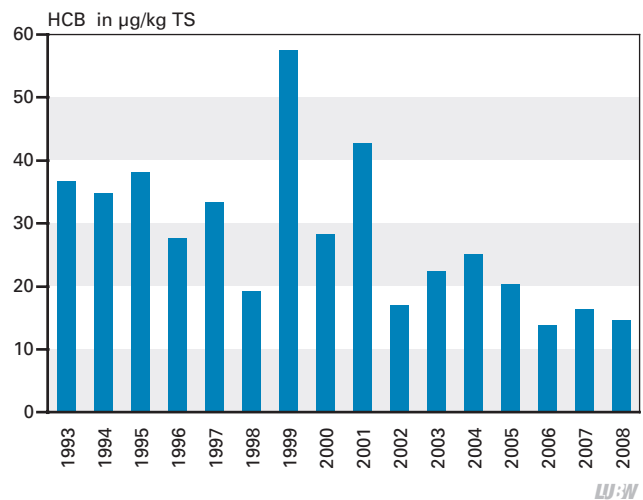


Abb. 6.3-24: Gehalte an Hexachlorbenzol (HCB) im Schwebstoff des Rheins bei Iffezheim (Jahresmittel). Stand: 2008

## 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 Untersuchun-

gen des Freiwassers fanden erstmals von 1933 bis 1935 statt. 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.

#### 6.4.1.1 ENTWICKLUNG DER WASSERQUALITÄT

Auf Anregung der 1959 gegründeten ‚Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee, – IGKB wurden seit 1961 regelmäßige, überwiegend monatliche Messungen von physikalischen, chemischen und biologischen Parametern an ausgesuchten Messstellen im Bodensee-Obersee und im Bodensee-Untersee aufgenommen. Das wesentliche Anliegen war, den in den Jahren davor erstmals beobachteten und für den 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. 6.4-1). Hierbei wurde der so genannte Zirkulationswert, der Mittelwert der volumengewichteten Tiefenprofile der Monate Februar, März und April betrachtet. Der Zirkulationswert erreichte im Jahr 1979 seinen Maximalwert mit 87 µg/l Phosphor, der Jahresmittelwert hingegen hatte sein Maximum schon im Jahr 1977 mit 84 µg/l. Anfang der 1980er bis Mitte der 1990er Jahre war der Zirkulationswert stets um mehrere µg/l größer als der jeweilige Jahresmittelwert.

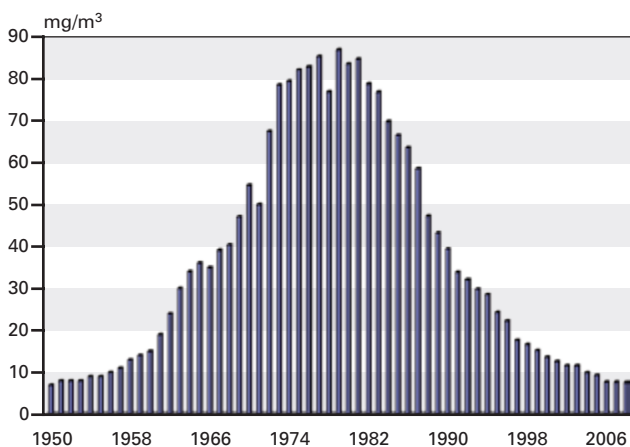


Abb. 6.4-1: Gesamtphosphor im Bodensee-Obersee während der Durchmischungsphase, 1951 bis 2008. Quelle: Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee 2008

Dies ist bei abnehmenden Konzentrationen plausibel, da der Zirkulationswert am Jahresanfang erhoben wird.

Ab Ende der 1990er Jahre betragen die Differenzen nur noch etwa 1 µg/l, seit 2006 weniger als 0,1 µg/l. Seit 2006 haben sich Zirkulations- und Jahresmittelwert zwischen 7 µg/l und 8 µg/l eingependelt. Ob die Abnahme damit auch langfristig zum Stillstand gekommen ist, hängt von der weiteren Entwicklung der Nährstoffeinträge über die Bodenseezuflüsse ab.

#### 6.4.1.2 SALZ IM BODENSEE

Seit Beginn der regelmäßigen Messungen im Bodensee-Obersee Anfang der 1960er Jahre haben die mittleren Chloridkonzentration an der Station ‚Seemitte Fischbach-Uttwil‘ von 2 mg/l bis 3 mg/l auf inzwischen über 6 mg/l zugenommen. Von dieser Zunahme sind alle Seeteile betroffen, wenn auch die Konzentrationen in verschiedenen Seeteilen wegen des Einflusses chloridhaltiger Zuflüsse auf verschiedenen Niveaus liegen. Erhöhte Chloridgehalte zeigen anthropogene Einflüsse.

Um einen Zusammenhang zwischen der Zunahme der Chloridkonzentration und der winterlichen Straßensalzung zu prüfen, wurden exemplarisch für die Wetterstation Konstanz die Tage pro Winter ausgewertet, die sowohl kalt als auch niederschlagsreich waren. Es zeigt sich, dass insbesondere in den Jahren 1978 bis 1987 viele Winter eine hohe Zahl an nassen und kalten Tagen hatten und in dieser Zeit ein Anstieg der Chloridgehalte von 4 mg/l auf etwa 6 mg/l erfolgte. Von 1988 bis 2003 war die Anzahl der kalten und nassen Tage pro Winter deutlich geringer und der Chloridgehalt hat sich auf 5 mg/l stabilisiert. Die Winter 2004 bis 2006 wiesen erneut einen wetterbedingt erhöhten Bedarf an Straßensalzung auf. Die Chloridkonzentrationen sind in dieser Zeit im Obersee auf über 6 mg/l gestiegen und haben sich vorläufig (Stand April 2008) auf diesem Niveau stabilisiert (Abb. 6.4-2).

Insgesamt deuten die Untersuchungen einen Zusammenhang zwischen der Zunahme der Chloridkonzentration und einem witterungsbedingten Bedarf an erhöhter Straßensalzung an. Da auch durch eine lange Abfolge schneearmer Winter die Chloridgehalte nicht mehr wesentlich zurückgehen, muss die langfristige „Aufsalzung“ des Bodensees noch weitere Ursachen haben, wie z. B. der Einsatz von Chlorid als Regeneriersalz in der Wasserenthärtung.

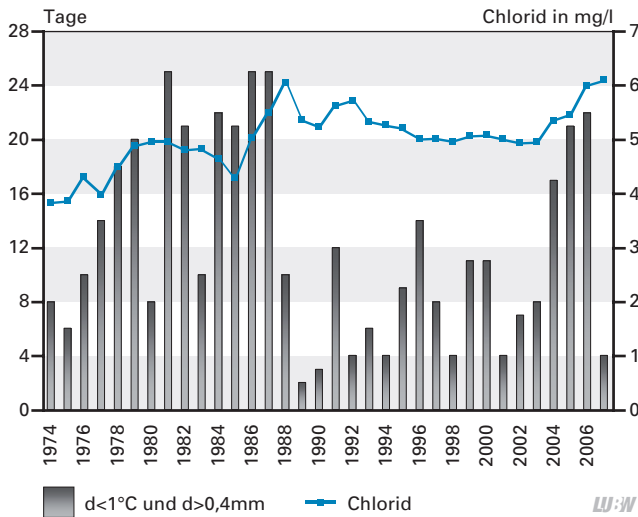


Abb. 6.4-2: Chloridmittelwerte im Bodensee-Obersee (Station Fischbach-Uttwil) im Vergleich mit der Zahl der Tage mit mittlerer Tages-temperatur unter 1 °C und gleichzeitigem Niederschlag über 0,4 mm (Bezug Station Konstanz des DWD). Stand: 2008

### 6.4.1.3 EINGEWANDERTE TIERARTEN

Seit 2002 wurden bereits vier neue Tierarten im Bodensee entdeckt. Neben dem Großen Höckerflohkrebs (*Dikerogammarus villosus*) waren dies im Jahr 2003 die Grobgerippte Körbchenmuschel (*Corbicula fluminea*), 2006 die Donau-Schwebegarnele

(*Limnomysis benedeni*) und im November 2007 der amerikanische Flohkrebs (*Crangonyx pseudogracilis*) (Abb. 6.4-3).

Das erste Auffinden des Großen Höckerflohkrebses und der Körbchenmuschel im Bodensee war Anlass für Untersuchungen zur Einwanderung und Ansiedelung gebietsfremder aquatischer Tierarten im Bodensee. Diese Arten waren aus dem schiffbaren Rhein bekannt, wo sie in hohen Biomassen auftraten und für die Verdrängung anderer Arten verantwortlich waren. In einer ersten Phase wurde der Status der Besiedlung des Ufer- und Flachwasserbereichs des Bodensees festgehalten. Hierbei wurde – neben der Ausbreitung der genannten Arten – die Besiedlung von Referenzstellen (Stellen noch ohne neu eingewanderte Arten) ausführlich dokumentiert.

Ab 2005 wurden die Entwicklung der ufernahen Lebensgemeinschaften und die Einwanderung weiterer Arten im Rahmen des Interreg III-Projekts 'Aquatische Neozoen im Bodensee und seinem Einzugsgebiet' untersucht.

Der Große Höckerflohkrebs zeigte im Herbst 2007 eine vergleichbare Ausbreitung wie im Herbst 2006: Die Uferbereiche des gesamten Obersees und des größten Teil des Un-

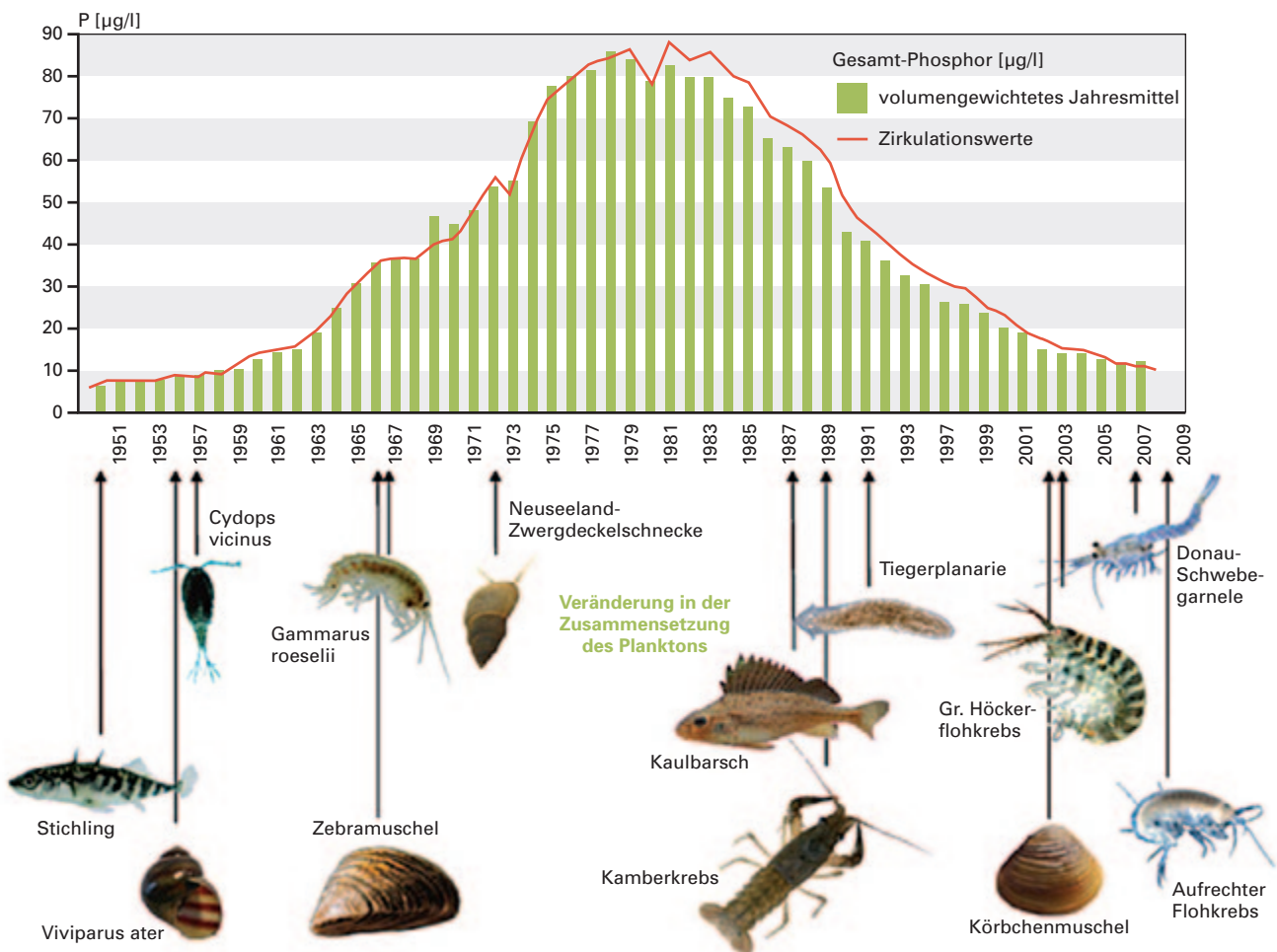


Abb.: 6.4-3: Geschichte der Bodensee-Neozoen seit den 1950er-Jahren. Quelle: P.Rey, Büro Hydra 2009



tersees sind – je nach Untergrund – unterschiedlich dicht besiedelt. Die Art scheint auch weiterhin im Gnadensee zu fehlen. Wahrscheinlich liegt dies an den für sie ungünstigen Substratbedingungen. An einigen Probestellen, an denen im Vorjahr nur noch der Große Höckerflohkrebs nachgewiesen wurde, finden sich wieder ein größerer Anteil anderer, einheimischer Flohkrebsarten – vor allem des Flussflohkrebses (*Gammarus roeselii*).

In ufernahen Bereichen bleibt die Körbchenmuschel vorerst selten. In tieferen Bereichen scheinen sich die Bestände der Art gut zu halten. Hinweise darauf, ob sich die Art im See inzwischen weiter ausbreiten konnte, wird die Suche nach Muschelschalen an trocken gefallenem Uferbereichen beim winterlichen Niederwasser liefern.

Nachdem die kleine, fast durchsichtige Donau-Schwebegarnele im August 2006 erstmals im Bodensee entdeckt wurde, fand man sie bis Ende 2006 an zahlreichen weiteren Stellen der Bregenzer Bucht zum Teil in Massen. In den Untersuchungen Ende September 2007 war die Art dann in nahezu allen Häfen zwischen Kreuzlingen und Fischbach zu finden. Die Garnele besiedelt strömungsberuhigte Bereiche mit algenbewachsenen Grobsubstraten in verschiedenen Wassertiefen. Möglicherweise ist sie entlang des uferparallelen Bewuchses mit Armleuchteralgen in größerer Tiefe noch weiter verbreitet. Ab Ende 2007 wurde sie von Tauchern bis in über 20 m Wassertiefe in dichten Schwärmen angetroffen. Dieses bisher unbekanntes Phänomen wird aktuell von Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen des Limnologischen Instituts der Universität Konstanz und des Instituts für Seenforschung der LUBW näher untersucht. Inzwischen ist der gesamte Obersee und Überlinger See besiedelt. Auswirkungen auf die Bodenseefauna sind noch nicht beschrieben.

Die bisherigen Arbeiten über gebietsfremde Tierarten legen den Schluss nahe, dass sie vornehmlich aus dem Oberrheingebiet stammen. Durch den Ausbau der Schifffahrtswege und besonders seit der Eröffnung des Rhein-Main-Donau-Kanals 1992 wurde dieser Bereich schnell von Neozoen besiedelt. Trotz der Ausbreitungsschranke des Rheinfalls konnten sie indirekt über verschiedene Wege wie z. B. Wassersport oder Aquaristik in den Hochrhein und Bodensee gelangen und sich hier ansiedeln. Die bisher festgestellten Neozoen hatten keine schwerwiegenden Auswirkungen auf den Bodensee. Ein größeres Problem könnte allerdings von einer Tierart ausgehen, die Wissen-

schaftler der Pädagogischen Hochschule Karlsruhe kürzlich im Oberrhein festgestellt haben.

Die Quagga-Muschel (*Dreissena rostriformis bugensis*) ist eine von sieben Dreissena-Arten, die aus dem Schwarzmeerraum stammt und sich derzeit in Europa ausbreitet. Sie wurde zum ersten Mal in Westeuropa 2006 in Holland und zum ersten Mal in Deutschland 2007 am Main entdeckt. Im Oktober 2007 war die Art bereits im Rhein bei Karlsruhe anzutreffen. In Nordamerika wurde die Quagga-Muschel etwa gleichzeitig mit oder kurz nach der Dreikantmuschel in die dortigen Seen eingeschleppt. Während die Dreikantmuschel bis in etwa 30 bis 40 m Wassertiefe siedelt, so auch im Bodensee, zeigte sich in Nordamerika, dass die Quagga-Muschel erheblich tiefer in bis zu 120 m Wassertiefe anzutreffen ist. Damit stellt diese neue Art eine mögliche Beeinträchtigung für die Trinkwasserentnahme aus dem Bodensee dar. Die Wasserwerke entnehmen das Rohwasser zur Trinkwassergewinnung meist aus 50 – 60 m Wassertiefe und hatten bei dieser Entnahmetiefe bislang kein Problem mit Dreikantmuscheln. Da die neue Art aber erheblich tiefer siedelt, kann sie zur Verstopfung der Ansaugrohre führen.

Die neuen Tierarten werden bewusst oder unbewusst mit Hilfe des Menschen in den Bodensee eingeschleppt. Denn der Rheinfall ist eine natürliche Barriere, die die Wanderung von Arten flussaufwärts verhindert und den Bodensee vor Zuwanderern aus dem Rhein schützt. Da die Ansiedlung neuer gebietsfremder Arten ein ökologisches Risiko darstellen kann, wurden bereits verschiedene Maßnahmen zur Verhinderung der Ansiedlung und weiteren Verbreitung der Invasoren getroffen.

#### 6.4.1.4 KLIMAWANDEL AM BODENSEE

Der Gewässerschutz am Bodensee wie auch die Ökosystemforschung führten zur langjährigen Untersuchung einer Vielzahl an biologischen, chemischen wie auch hydrophysikalischen Messparametern. Hydrologische Daten zu den Zuflüssen wie auch meteorologische Parameter werden ebenfalls seit vielen Jahrzehnten erfasst. Diese Datenbestände sind heute eine wertvolle Grundlage für die Untersuchung der Folgen klimatischer Veränderungen. Da viele der Prozesse im Bodensee erheblich von den Witterungsverhältnissen abhängen, sind Auswirkungen der sich abzeichnenden Klimaentwicklung auf den See zu erwarten. Einfache direkte Einflüsse, wie etwa die Erwärmung des Sees, können sich in komplexer Weise im Wirkungs- und Prozessgefüge des Sees fortpflanzen.



Die global ansteigende Temperaturentwicklung ist auch am und im Bodensee deutlich erkennbar (Abb. 6.4-4).

Direkt von der Temperaturentwicklung beeinflusst sind die thermischen Schichtungs- und Durchmischungsvorgänge im Bodensee. In jüngerer Zeit findet man beispielsweise vermehrt Jahre mit ausgesprochen schlechter vertikaler Durchmischung. Zudem gibt es Hinweise, dass im Frühjahr die thermische Schichtung inzwischen merklich früher einsetzt. Diese sich abzeichnenden Änderungen im vertikalen Stofftransport beeinflussen sowohl die Sauerstoffverhältnisse in der Tiefe des Sees, als auch die Verfügbarkeit von Nähr- und Mineralstoffen für das Plankton im Frühjahr.

Ein anderes Beispiel des Temperatureinflusses wurde hinsichtlich der Laichzeit der Blaufelchen im Bodensee beobachtet: Wärmere Temperaturen im November führen zu einem späteren Laichen.

Die Entwicklung des Wasserstands im Bodensee steht oftmals im Blickpunkt des öffentlichen Interesses, insbesondere bei Extremereignissen, wie etwa dem Hochwasser von 1999 oder den extrem niedrigen Wasserständen im Sommer 2003 oder im Winter 2005/2006. Die Analyseergebnisse lieferten zwar keinen Hinweis auf klimabedingte Veränderungen im langjährigen Verlauf der mittleren jährlichen Wasserstände, jedoch dürften deutliche Veränderungen im Jahresgang (Abb. 6.4-5) mit der Klimaentwicklung zusammenhängen: Die Pegelwerte im Sommer sind seit den 1990er Jahren merklich zurückgegangen, wohingegen sie von etwa November bis in den Januar hinein tendenziell höher liegen. Zur Erklärung dieser Veränderung kommen verschiedene Einflussfaktoren in Frage. Die wärmeren Tem-

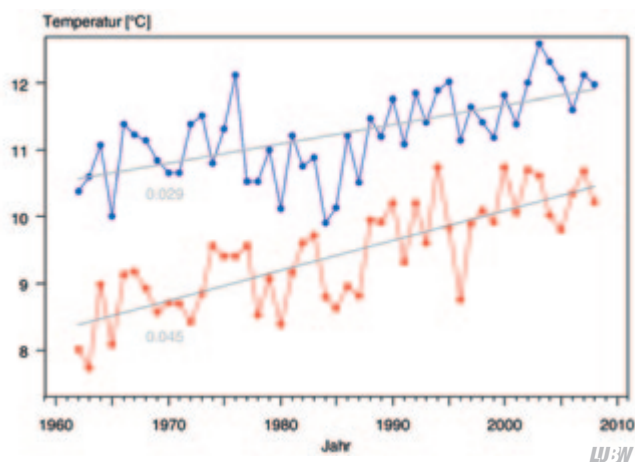


Abb. 6.4-4: Verlauf der Jahresmittel der Oberflächen-Wassertemperatur (blau, Seemitte) und der Lufttemperatur (rot, DWD-Station Konstanz) von 1962 – 2008. Die Steigungen der linearen Trendgeraden (grau) sind als Zahlenwert in der Grafik angegeben (°C/Jahr). Stand: 2008

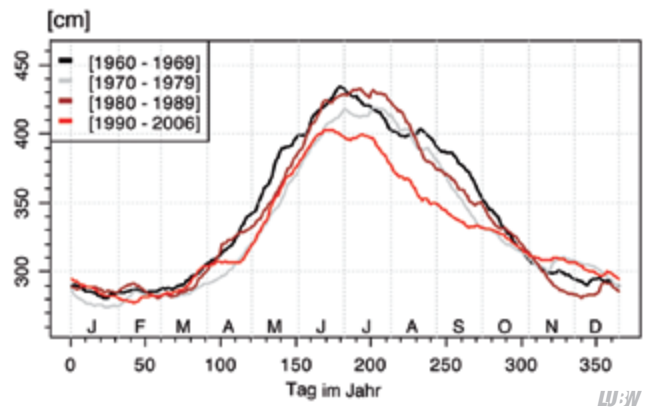


Abb. 6.4-5: Mittlere Jahressgänge des Bodensee-Pegels für verschiedene Zeiträume ab 1960. Stand: 2008

peraturen im Winter wirken sich auf die Schneeretention im alpinen Einzugsgebiet aus. Veränderungen bei den sommerlichen Verdunstungsmengen wie auch der saisonalen Niederschlagsverteilung sind weitere denkbare Ursachen. Folgen veränderter Wasserstandsverläufe sind im nahen Uferbereich oder angrenzenden Gebieten zu erwarten: Erosions- und Sedimentationsprozesse wie auch die Lebensbedingungen für Flora und Fauna sind hiervon betroffen. Angrenzende Naturschutz-Feuchtgebiete könnten vermehrt trocken fallen, wodurch Ziele des Artenschutzes gefährdet wären.

Nur in den dynamischen Durchmischungsphasen im Februar/März erfolgen im Bodensee-Obersee die großräumigen vertikalen Stoffverteilungen, durch die das im Sommer entstandene Sauerstoffdefizit des Tiefenwassers rasch und effektiv ausgeglichen wird. Die Untersuchungsergebnisse von 1961 bis 2006 zeigen, abhängig von der Witterung, deutliche Unterschiede der Intensität des vertikalen Wasser- und Stoffaustauschs. Maßgebend für die Durchmischung waren vielmehr die vertikalen Temperaturverteilungen und mithin die Dichteverhältnisse in den oberen und unteren Wasserschichten. Nur die genügende Ausbildung kalter, schwerer Oberflächenwässer, kombiniert mit wärmeren Tiefenwässern, führte zu abwärtsgerichteten, kalten Dichteströmen und letztlich zu einem wirkungsvollen Austausch des Tiefenwassers. Mögliche Klimaänderungen im Bodenseeraum könnten deshalb durch eine Häufung von wärmeren als auch von sehr kalten Wintern eine nachhaltige Durchmischung bis zum Seegrund behindern.

Unter diesen Umständen kommt der künftigen Entwicklung der Trophie im Bodensee eine besondere Bedeutung zu. Vor dem Hintergrund der erfolgreichen Sanierungsmaßnahmen aller Staaten im Einzugsgebiet des Bodensees

zeichnet sich hier in den letzten Jahren eine deutliche Entspannung ab. Es kommt nun darauf an, das hohe Gewässerschutzniveau zu halten und die anthropogenen Belastungen zu minimieren. Wie sich in den vergangenen warmen Wintern zeigte, kann mittlerweile eine gute Sauerstoffversorgung des Sees auch dann gesichert werden, wenn in einzelnen Jahren gründliche, vertikale Austauschraten bis in die tiefsten Seebereiche ausbleiben.

#### **6.4.2 KLEINERE SEEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG**

In Baden-Württemberg gibt es über 4 000 Seen und Weiher mit einer Größe von mindestens 2 000 m<sup>2</sup>. Diese Gewässer mit einer Gesamtfläche von etwa 6 500 ha prägen 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 Einflüsse sind die meisten dieser Seen erheblichen Belastungen ausgesetzt.

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 sauerstoffarm und liefern dann die Voraussetzungen zur Bildung unterschiedlicher Schadstoffe wie beispielsweise Schwefelwasserstoff oder Ammoniak.

##### **6.4.2.1 ÜBERWACHUNGSERGEBNISSE**

In Baden-Württemberg müssen der Bodensee und acht natürliche Seen und Stauseen sowie 16 Baggerseen im Rahmen der WRRL überwacht werden. Wie bei allen Oberflächengewässern wird der ökologische Zustand von Seen anhand unterschiedlicher Qualitätskomponenten bewertet. Dies sind, wie bereits zu Beginn des Kapitels 6 beschrieben, vier biologische (Makrozoobenthos, Phytoplankton, Makrophyten und Phytobenthos, Fische) und die

chemischen Komponenten, sowie unterstützend physikalisch-chemische und hydromorphologische Komponenten. Auch wenn noch nicht für alle biologischen Qualitätskomponenten einsatzfähige Bewertungsverfahren vorliegen, ist dennoch eine erste Bewertung für die natürlichen Seen und Talsperren möglich. Danach wird für die meisten Seenwasserkörper in Baden-Württemberg der gute ökologische und gute chemische Zustand voraussichtlich erreicht.

Hydromorphologische Defizite bestehen allerdings im Bereich der Ufer- und Flachwasserzone des Bodensee-Obersees und trophische Belastungen bei der Schwarzenbach-Talsperre.

Die Flachwasserzone im Bodensee-Obersee wurde in Baden-Württemberg wie auch in Bayern als eigener „Uferwasserkörper“ ausgewiesen, da hier bei der Gefährdungsabschätzung hydromorphologische Defizite erkennbar waren. Im Rahmen des „Aktionsprogramms 2004-2009, Schwerpunkt Ufer- und Flachwasserzone“ der IGKB wurde 2006 eine umfassende Bewertung der Ufer- und Flachwasserzone in 50 m-Abschnitten vorgenommen [IGKB 2009]. Am gesamten Oberseeufer sind danach nur mehr 34 % der Fläche als natürlich oder naturnah einzustufen. Etwas günstiger ist der baden-württembergische Teil des Obersees zu beurteilen, bei dem 41 % in diese Kategorie fallen.

Die Schwarzenbach-Talsperre weist regelmäßig Blaualgenblüten auf. Eine Klärung der Ursachen ist derzeit noch in Arbeit.

##### **6.4.2.2 FEDERSEE**

Der Federsee ist der größte süddeutsche Flachsee und eines der bedeutendsten Naturschutzgebiete Baden-Württembergs. Durch mehrere Absenkungen des Seespiegels, Einleitung häuslicher Abwässer und intensive landwirtschaftliche Nutzung seines Einzugsgebietes wurden die natürlichen Verlandungsprozesse in den letzten 200 Jahren erheblich beschleunigt.

Der See besitzt heute eine Fläche von 1,4 km<sup>2</sup>. Mit einer Maximaltiefe von knapp 3 m und einer durchschnittlichen Tiefe von nur 1 m zählt der Federsee zu den ungeschichteten Flachseen. Das Einzugsgebiet umfasst eine Fläche von 35,4 km<sup>2</sup>. Die rechnerische Wasseraustauschzeit ist mit rund zwei Monaten vergleichsweise kurz.

Bis in die 1980er-Jahre wurden die Abwässer der umliegenden Ortschaften direkt eingeleitet. Als Folge nahmen Eutrophierungserscheinungen deutlich zu. Das Gewässer

wechselte zu einem anderen ökologischen Gleichgewicht und wurde vom Makrophyten- zum Blaualgensee.

1982 wurden eine 24 km lange Ringleitung und eine Kläranlage zur Aufnahme der Abwässer der angrenzenden Gemeinden fertig gestellt. In der Folgezeit kam es zu einer anfänglich raschen Abnahme des Phosphorgehaltes des Sees, der danach auf vergleichsweise hohem Niveau zum Stillstand kam, so dass der See nach wie vor im hypertrophen Zustand war (Abb. 6.4-6).

Der Grund dafür war vor allem, dass in den Sedimenten leicht remobilisierbare Phosphorreserven vorhanden waren, deren regelmäßige Freisetzung im Sommer eine erhebliche interne Düngung des Wasserkörpers und als Folge anhaltendes übermässiges Algenwachstum bewirkte. Diese interne Nährstoffzufuhr überwog bei weitem die zwar auch noch vorhandenen, jedoch seit der Maßnahme zur Fernhaltung von Abwasser zumindest bei Phosphor stark verminderten externen Nährstoffeinträge.

Auch der Stickstoffhaushalt des Sees war maßgeblich von dem so intensivierten Produktions- und Abbaugeschehen gesteuert. Der vergleichsweise hohe Stickstoffnachschub in Form von Nitrat aus den Zuflüssen wird einerseits in der Biomasse gebunden, andererseits geht aber auch ein nennenswerter Anteil über Denitrifikation dem See verloren. Da somit ab Juli die anorganischen Stickstoffreserven weitgehend aufgebraucht waren, gleichzeitig aber durch Freisetzung aus Sedimenten genügend Phosphor zur Verfügung stand, konnte Stickstoff im Sommer sekundär zum limitierenden Faktor für alle Algen außer den Stickstoff fixierenden Blaualgen werden, die dann einen Konkurrenzvorteil hatten. Blaualgen waren langjährig die dominante Algengruppe im Sommer und Herbst.

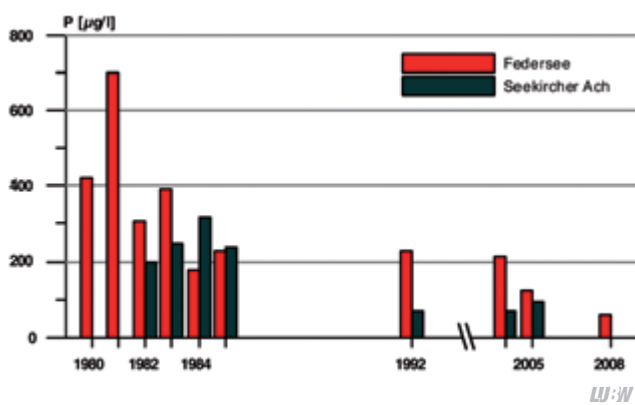


Abb. 6.4-6: Gesamtposphorgehalte im Federsee und in seinem Hauptzufluss Seekircher Ach in verschiedenen Untersuchungsjahren. Stand: 2008

Dieser Zustand hielt im Wesentlichen bis 2004 an, obwohl schon zuvor graduelle Verbesserungen feststellbar waren (Abb. 6.4-7). Ab 2005 beschleunigte sich der Besserungsprozess erheblich und wurde von einem Umschwung vom Algen- zum Makrophytensee begleitet. Gleichzeitig nahm die Phosphorfreisetzung aus dem Sediment ab und war 2008 kaum noch feststellbar. Ebenso wurde auch die sommerliche Entwicklung von Blaualgenblüten durch eine Algengemeinschaft mit stark verringerter Biomasse aber erheblich größerer Artenvielfalt abgelöst [LUBW 2009a].

Die Belastungsgeschichte des Federsees liefert ein eindrucksvolles Fallbeispiel dafür, wie lange ein See unter ungünstigen Randbedingungen auch nach Beseitigung der Belastungsquelle noch in einem unbefriedigenden Zustand verharren kann. Sie belegt gleichzeitig aber auch die grundsätzliche Richtigkeit der Priorität externer vor interner Maßnahmen. Trotz dieser langen Reaktionszeit reagierte der See in den letzten Jahren auf die Reinhaltemaßnahmen deutlich. Sollte sich der 2008 erreichte Zustand als nachhaltig erweisen, würde der See somit bezüglich der Trophie wieder seinem Referenzzustand entsprechen.

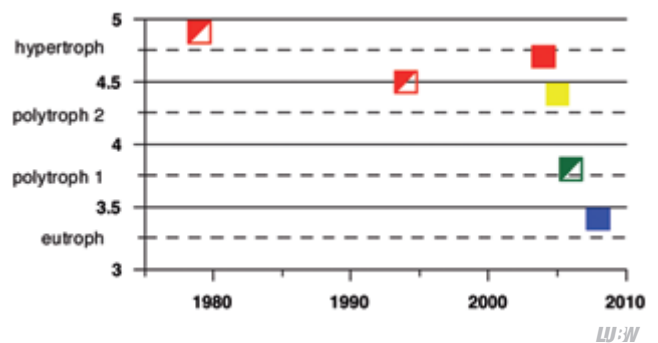


Abb. 6.4-7: Entwicklung des Trophiezustands des Federsees seit den 1980er-Jahren auf der Grundlage der Klassifizierung nach Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Gefüllte Quadrate: alle drei Teilkomponenten erfasst; halb gefüllte Quadrate: nur Chlorophyll oder P-Gehalt und Sichttiefe erfasst. Stand: 2008

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

mehr Informationen zu stehenden Gewässern im Internet-Themenportal ‚Wasser‘ der LUBW:  
[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee:  
[www.igkb.de](http://www.igkb.de)

## 6.5 ABWASSER

### 6.5.1 KOMMUNALE KLÄRANLAGEN

Die Anforderungen an die Abbauleistung von kommunalen Kläranlagen ergeben sich in erster Linie aus der Richtlinie der Europäischen Union über die Behandlung von kommunalem Abwasser vom 21. Mai 1991 (91/271/EWG). Diese Richtlinie wurde durch die ‚Reinhalteordnung kommunales Abwasser – ROkA‘ – vom 10. Dezember 1993 in Landesrecht umgesetzt. Die Überwachung der Kläranlagen richtet sich nach der Bundes-Abwasserverordnung vom 17. Juni 2004 (AbwV). Die ROkA enthält auch zusätzliche weitergehende Anforderungen mit eigenen Überwachungsvorschriften. Daneben müssen die Wasserbehörden bei der Erteilung einer Einleitungserlaubnis auch die Bodensee-Richtlinien vom 30. September 2005 [IGKB 2005] berücksichtigen. Darüber hinausgehende Anforderungen werden im Einzelfall dann gestellt, wenn dies zum Schutz des betroffenen Gewässers erforderlich ist.

Die Leistungsdaten der kommunalen Kläranlagen werden durch die amtliche Überwachung und die Eigenkontrolle der Anlagenbetreiber ermittelt.

In Baden-Württemberg wurden danach im Jahr 2008 (Stand 31.12.2008) 1 023 kommunale Kläranlagen 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 absehbaren Veränderungen berücksichtigen. Daher enthalten die genannten Zahlen zu einem geringen Teil auch Kapazitätsreserven.

Die Ausbaugröße der baden-württembergischen Abwasser-

behandlungsanlagen und der aktuelle Stand bei der Entfernung der organischen Belastung, der Stickstoffelimination mit den Teilprozessen Nitrifikation und Denitrifikation sowie der Phosphorelimination sind in Tabelle 6.5-1 nach Kläranlagen-Größenklassen dargestellt. Maßgeblich sind die Anforderungen der AbwV und gegebenenfalls weitergehende regionale oder lokale Anforderungen.

Im Hinblick auf die Nährstoffentnahme wurden große Anstrengungen vor allem bei den großen Klärwerken unternommen. Die gesamte, den Kläranlagen in Baden-Württemberg zugeleitete Stickstofffracht wird um ca. 76 %, die Phosphorfracht um rund 89 % reduziert. Aus allen Kläranlagen zusammen werden in Baden-Württemberg täglich rund 42,5 t Stickstoff und rund 3,2 t Phosphor in die Gewässer geleitet.

Beim CSB zeigen sich keine signifikanten Unterschiede der Kläranlagen-Größenklassen (Abb. 6.5-1). Bei der Stickstoffentfernung schneiden nur die Kläranlagen der kleinsten Größenklasse (< 2 000 EW) schlechter ab. Bei der Phosphorentfernung ist eine höhere Leistungsfähigkeit größerer Anlagen deutlich festzustellen.

Nach wie vor gibt es Anlagen, bei denen die Abbauleistung insbesondere bei Stickstoff nicht befriedigend ist. 92 Anlagen der Größenklasse 10 001 bis 100 000 EW und fünf der Anlagen mit über 100 000 EW hatten im Jahr 2007 eine Stickstoffabbauleistung unter 70 %.

Häufig sind dies Kläranlagen, deren Kanalsystem eine zu hohe Belastung mit Fremdwasser aufweist. Fremdwasser entsteht, wenn Grundwasser in undichte Kanäle eindringt oder wenn Quellwasser oder das Wasser von Hausdrainagen über die Kanalisation abgeleitet wird. Fremdwasseranteile von über 50 % führen dazu, dass eine größere Schadstofffracht in ein Gewässer eingeleitet wird als dies nach

Tab. 6.5-1: Abwasserbehandlungsanlagen nach Größenklassen und Stand der Anforderungen an CSB- und Nährstoffelimination. Stand: 31.12.2007. EW = Einwohnerwert, CSB = Chemischer Sauerstoffbedarf;  $N_{ges}$  = Gesamt-Stickstoff;  $P_{ges}$  = Gesamt-Phosphor. Quelle: Informationssystem Wasser, Immissionsschutz, Boden, Abfall, Arbeitsschutz (WIBAS)

Größenklasse EW	Anzahl der Kläranlagen	Summe Ausbaugröße EW	Anzahl der Kläranlagen, die nicht die Anforderungen einhalten (AbwV / weitergehende Anforderungen)		
			CSB	$N_{ges}$	$P_{ges}$
< 2 000	348	255 843	- / 4	- / 4	- / 8
2 000 – 10 000	343	1 751 355	- / 1	- / 3	- / 5
10 001 – 100 000	296	9 326 495	- / 1	2 / 6	- / 3
> 100 000	36	9 371 213	- / -	1 / -	- / -
Summen	1 023	20 704 9065	- / 6	3 / 13	- / 16

U:W



dem Stand der Technik möglich wäre. Daher ist vor einem weiteren Ausbau einer Kläranlage zur Verbesserung der Abbauleistung zunächst die Fremdwasserproblematik zu untersuchen.

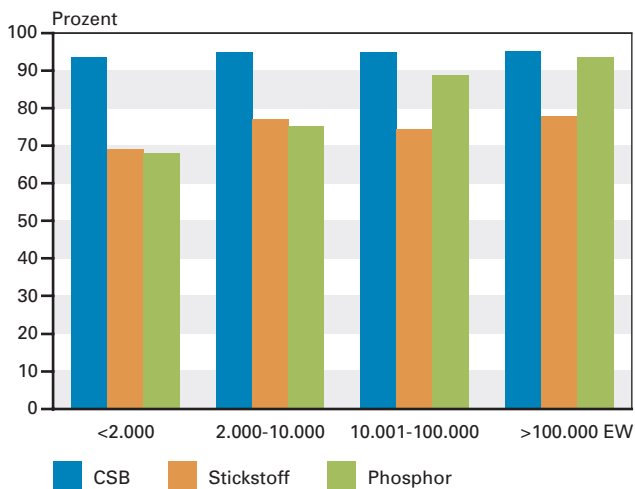


Abb. 6.5-1: Abbau der CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf), Stickstoff- und Phosphorfracht unterschiedlich großer Kläranlagen (EW = Einwohnerwert). Stand: 31.12.2008. Quelle: Informationssystem Wasser, Immissionsschutz, Boden, Abfall, Arbeitsschutz (WIBAS)

### 6.5.2 KANALISATION UND REGENWASSERBEHANDLUNG

In Baden-Württemberg sind etwa 70 000 km öffentliche Kanäle verlegt. Rund 71 % davon sind Mischsysteme, in denen Schmutz- und Niederschlagswasser gemeinsam abgeleitet werden. Mischsysteme haben den Vorteil, dass auch das Regenwasser, das von Siedlungsflächen abgeleitet werden muss, der Kläranlage zugeleitet wird. Bei Starkregen ist das wegen der großen Abflüsse jedoch nicht möglich. Daher muss bei Starkregen ein Teil des mit Abwasser vermischten Regenwassers in Regenüberlaufbecken zwischengespeichert werden. Wenn die Speicherkapazität dieser Becken erschöpft ist, muss direkt in die Gewässer entlastet werden. Daneben kommen mit regionalen Schwerpunkten auch Trennsysteme, bei denen Schmutz- und Niederschlagswasser in separaten Kanalleitungen abgeführt werden, zum Einsatz. Bei einer regelgerechten Auslegung sind beide Systeme dem Grunde nach gleichwertig. Schwermetalle werden von Mischsystemen etwas besser vom Gewässer ferngehalten, ein erhöhter Fremdwasseranfall lässt sich mit Trennsystemen besser beherrschen.

Beide Systeme folgen historisch bedingt der Maxime einer schnellstmöglichen Ableitung des auf versiegelten Flächen angefallenen Niederschlagswassers. Dies kann zu einer erhöhten stofflichen Gewässerbelastung und zu einer hydro-

lischen Überlastung von kleinen Gewässern führen. Das Land Baden-Württemberg wirkt dieser Entwicklung mit Elementen von modifizierten Entwässerungsverfahren wie Minimierung der Versiegelung, dezentrale Versickerung, Gründächer, Regenwassernutzung sowie getrennte Ableitung und Retention von nicht behandlungsbedürftigem Niederschlagswasser entgegen. Insbesondere bei Planung und Erschließung von Neubaugebieten, aber auch bei Entsiegelungsmaßnahmen in bestehenden Baugebieten sollen diese neuen Ansätze auf breiter Basis realisiert werden. Das Auftreten von Hochwasserereignissen in größeren Gewässern kann allerdings durch diese nur lokal wirksamen Maßnahmen in den Siedlungsgebieten nicht in relevantem Umfang beeinflusst werden. Soweit abgeleitetes Regenwasser versickert werden soll, muss sorgfältig darauf geachtet werden, dass keine Schadstoffe in das Grundwasser verlagert werden. Insbesondere bei Dacheindeckungen und Fassadenverkleidungen aus Zink und Kupfer können vorgeschaltete Filter erforderlich sein.

Der Ausbau der Regenwasserbehandlung stellt eine wichtige Teilkomponente des Gewässerschutzkonzeptes der Landesregierung dar. Von zentraler Bedeutung sind dabei die Regenüberlaufbecken im Mischsystem. Mit dem Bau von Regenbecken wurde bereits in den 1970er Jahren begonnen. Der Ausbaugrad ist auch in den vergangenen Jahren stetig angestiegen (Abb. 6.5-2). Das insgesamt in Baden-Württemberg erforderliche Volumen von Regenüberlaufbecken beträgt ca. 3,79 Mio m<sup>3</sup>. Ende des Jahres 2008 waren etwa 3,46 Mio. m<sup>3</sup> realisiert, was einem landesdurchschnittlichen Ausbaugrad von ca. 93 % entspricht. Die deutliche Verbesserung seit 2004 ist allerdings teilweise da-

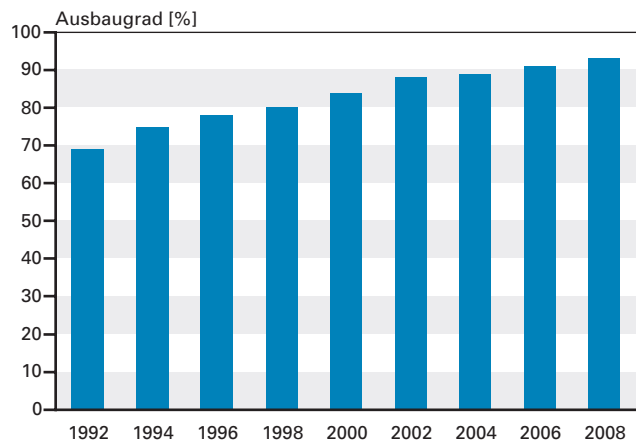


Abb. 6.5-2: Entwicklung der Regenwasserbehandlung in Baden-Württemberg – Ausbaugrad. Stand 2009. Quelle: Informationssystem Wasser, Immissionsschutz, Boden, Abfall, Arbeitsschutz (WIBAS)



rauf zurückzuführen, dass die bestehenden Volumina durch verbesserte Planungsmethoden (Langzeitsimulationsmodelle, synthetische Niederschlagsreihen) effektiver genutzt werden können.

### 6.5.3 DEZENTRALE ENTWÄSSERUNG

Der zielgerichtete und zügige Ausbau der Abwasseranlagen hat mit ca. 99 % zu einem hohen Anschlussgrad an die Kanalisation und an kommunale mechanisch-biologische Abwasserbehandlungsanlagen geführt. Rund 110 000 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 Abwasserreiche und technische Verfahren wie Belebungsanlagen oder Tropfkörper entsorgt. Rund 45 000 Einwohner sollen in den nächsten Jahren noch an die zentrale Kanalisation angeschlossen werden, z. B. über kostengünstige Druckentwässerungsleitungen „Pumpe und Schlauch“. Das Abwasser von 50 000 Einwohnern Baden-Württembergs wird nach derzeitiger Einschätzung dauerhaft dezentral entsorgt werden.

### 6.5.4 ABWASSER VON INDUSTRIE UND GEWERBE

In Baden-Württemberg zählt besonders die Chemie-, Textil-, Papier- und die Lebensmittelindustrie zu den abwasserrelevanten Branchen. Dort kommt das eingesetzte Wasser mit unterschiedlichsten Stoffen in Kontakt und muss in der Regel vor der Einleitung in ein Gewässer bzw. in das örtliche Kanalnetz vorbehandelt werden, um die strengen Kriterien der Abwasserverordnung bzw. der örtlichen Abwassersatzung erfüllen zu können.

Seit 2001 sind große Betriebe europaweit verpflichtet, neben Emissionen in die Luft auch ihre Emissionen in Gewässer und in externe Kläranlagen über die zuständigen Landesbehörden an den Bund und die EU zu berichten. Die von den Betreibern gemeldeten Daten sind in das Europäische Schadstoffemissionsregister EPER eingeflossen und stehen im Internet freizugänglich zur Verfügung. Die Öffentlichkeit hat damit die Möglichkeit, systematisch Daten zu industriellen Abwasserfrachten zu recherchieren. Mit der Einführung des gegenüber EPER erweiterten Schadstofffreisetzung- und verbringungsregisters PRTR sind seit 2007 zusätzlich weitere Industriebereiche und auch kom-

munale Kläranlagen über 100 000 Einwohnergleichwerten von dieser Berichtspflicht erfasst. Betriebe müssen nun jährlich Informationen über Schadstofffreisetzungen in Luft, Wasser und Boden sowie über die Verbringung des Abfalls und des Abwassers außerhalb des Standortes berichten, sofern festgelegte Kapazitäts- und Schadstoffschwellenwerte überschritten sind. In Baden-Württemberg unterliegen potenziell ca. 900 Betriebseinrichtungen der europäischen PRTR-Verordnung. Die Betreiber dieser Anlagen wurden aufgefordert, für das Berichtsjahr 2007 bis spätestens 31.07.2008 ihre Daten den Behörden zu übermitteln. Nach Vorprüfung der eingegangenen Berichte durch die LUBW und einer abschließenden Plausibilisierung durch die zuständigen Landesbehörden kann sich seit dem 30.06.2009 jeder Interessierte im Internet über die Emissionssituation einzelner Betriebseinrichtungen, Regionen oder Branchen umfassend informieren. In Baden-Württemberg haben für das erste Berichtsjahr 2007 knapp 100 Betriebseinrichtungen Angaben zu Schadstofffrachten im Abwasser, die über den in der PRTR-Verordnung genannten Schwellenwerten liegen, übermittelt. Die am häufigsten berichteten Parameter sind Chloride, Gesamtstickstoff und TOC (Total Organic Carbon = gesamter organisch gebundener Kohlenstoff), ein Summenparameter, der für die Belastung eines Abwassers mit organischen Substanzen eine wichtige Kenngröße darstellt.

Die Abbildungen 6.5-3 und 6.5-4 zeigen die über die Anzahl der Betriebseinrichtungen (Wert über der jeweiligen

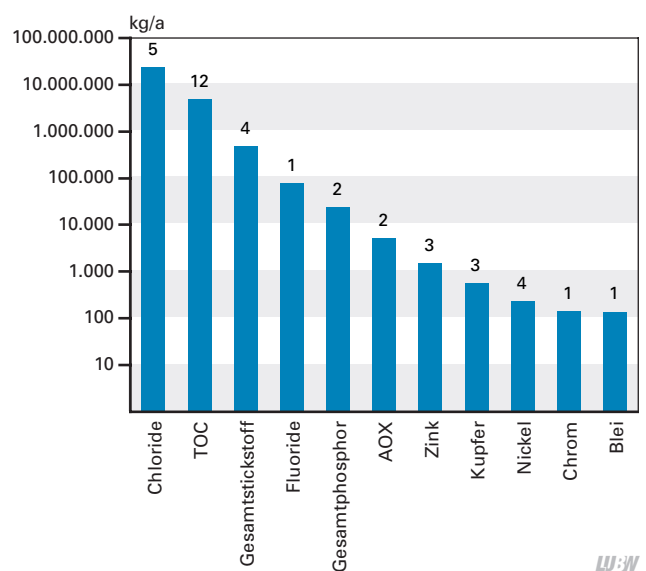


Abb. 6.5-3: Ins Gewässer freigesetzte Schadstofffrachten PRTR-pflichtiger Betriebe und jeweilige Anzahl der Betriebe im Jahr 2007 in Baden-Württemberg. Stand: 2008

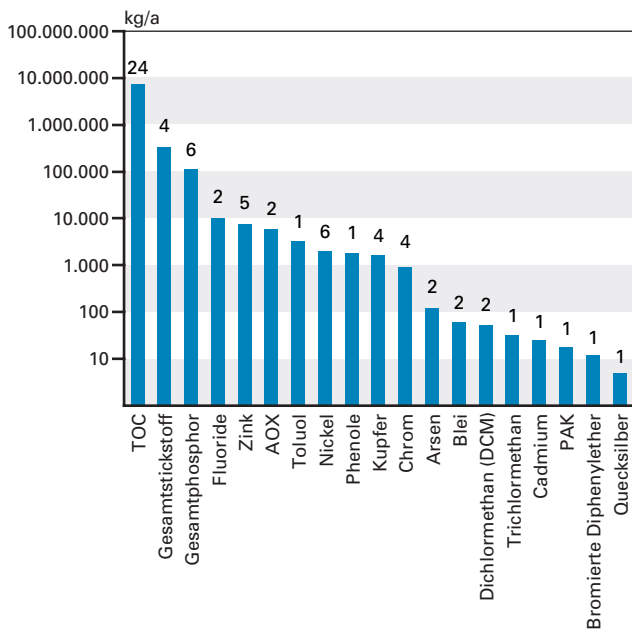


Abb. 6.5-4: Ins Abwasser verbrauchte Schadstofffrachten PRTR-pflichtiger Betriebe und jeweilige Anzahl der Betriebe im Jahr 2007 in Baden-Württemberg. Stand: 2008

Säule) aufsummierten höchsten Schadstofffrachten, die direkt in ein Gewässer freigesetzt (Abb. 6.5-3), bzw. die ins Abwasser verbraucht wurden (Abb. 6.5-4).

Abbildung 6.5-5 zeigt die über die Anzahl der Betriebseinrichtungen (Wert über der jeweiligen Säule) aufsummierten höchsten Schadstofffrachten, die von den berichtspflichtigen kommunalen Kläranlagen emittiert wurden.

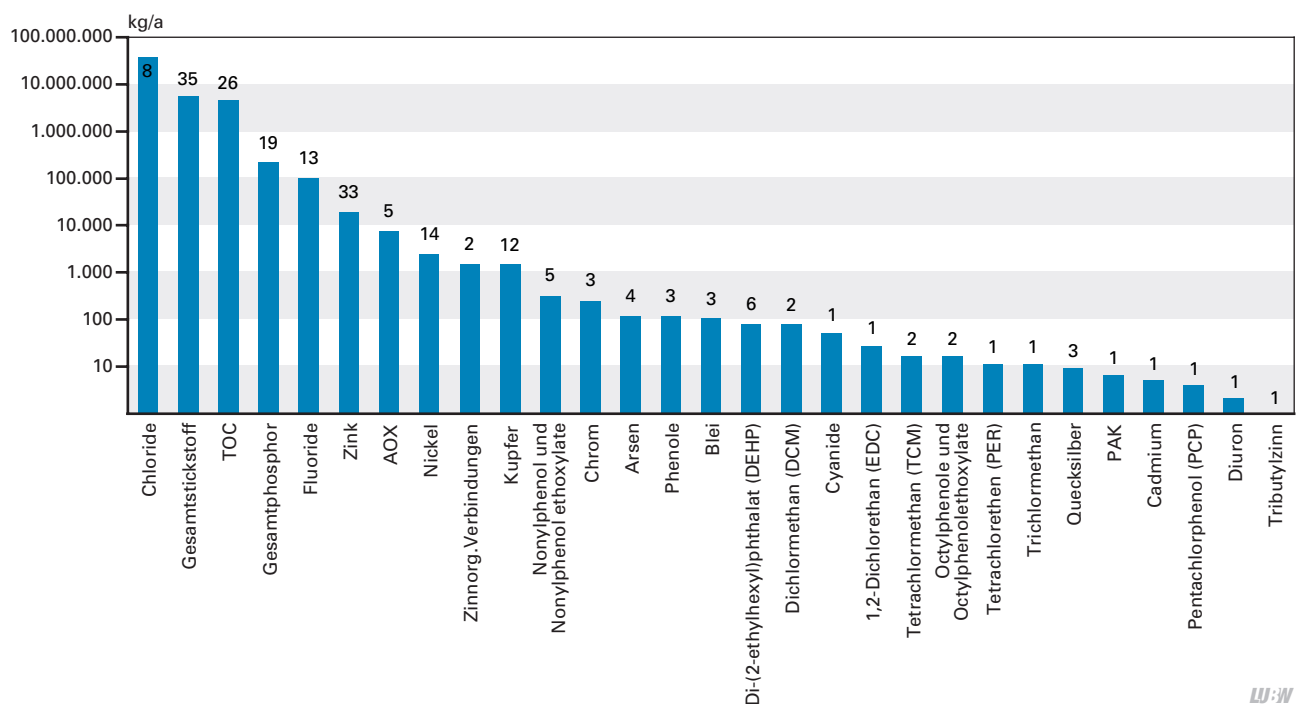


Abb. 6.5-5: Frachten kommunaler Kläranlagen > 100 000 Einwohnerequivalenten und Anzahl der Betriebseinrichtungen im Jahr 2007 in Baden-Württemberg. Stand: 2008

### PERFLUORIERTEN TENSIDE IM INDUSTRIEABWASSER

Seit 2006 in Gewässern und Trinkwasserreservoirs in Nordrhein-Westfalen perfluorierte Tenside nachgewiesen wurden, hat diese Stoffgruppe besondere Beachtung gefunden. Sie werden synthetisch hergestellt und sind in der Umwelt schwer abbaubar. Eingesetzt werden sie in den unterschiedlichsten Bereichen z. B. zur Beschichtung in der Textil- und Papierindustrie, in der Fotoindustrie, in Feuerlöschmitteln und als oberflächenaktive Substanzen in der Galvanikbranche. Obwohl es derzeit in den gesetzlichen Regelwerken keine Grenzwerte für perfluorierte Tenside im Abwasser gibt, ist es ein erklärtes Ziel Baden-Württembergs, die Einträge in die Umwelt im Sinne einer vorsorgeorientierten Handlungsweise zu minimieren. Hierzu gehört u.a. die Förderung eines betrieblichen Projekts eines Galvanikunternehmens mit dem Ziel, verschiedene Verfahren zur Elimination dieser Stoffgruppe aus dem Abwasser zu testen. Eine abschließende Bewertung der von perfluorierten Tensiden ausgehenden gesundheitlichen Gefahren ist derzeit noch nicht möglich.

Eine häufig vorkommende Verbindung, Perfluorooctylsulfonat, gilt inzwischen als bioakkumulativ und toxisch. Verwendung und das Inverkehrbringen von Perfluorooctansulfonsäure und ihrer Derivate ist nach deutschem und EU-Recht bis auf wenige Ausnahmen mittlerweile verboten (GefStoffV 2007, ChemG 2007).

Die Verbreitung von perfluorierten Tensiden in der Umwelt wird in Baden-Württemberg seit dem Jahr 2006 untersucht. Die Untersuchung von Klärschlämmen gezielt ausgewählter Kläranlagen mit relevanten Indirekteinleitern zeigen Belastungsschwerpunkte, Maßnahmen zur Minimierung des Stoffeintrags bei den einleitenden Betrieben wurden veranlasst. Die bodenbezogene Verwertung von Klärschlämmen mit einem Gehalt von mehr als 100 µg/kg Klärschlamm-Trockensubstanz wurde bereits im Mai 2007 untersagt. Klärschlämme, die bodenbezogen verwertet werden sollen, müssen seitdem einmal jährlich auf perfluorierte Tenside untersucht werden. Bei diesen Untersuchungen wurde in ca. 11 % der Klärschlämme ein erhöhter Gehalt festgestellt. Um weitere Veränderungen feststellen und gegebenenfalls frühzeitig reagieren zu können, werden die Messprogramme fortgeführt.

#### **INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN**

Europäisches Schadstoffemissionsregister EPER:  
[www.home.eper.de](http://www.home.eper.de)

Zur Emissionssituation einzelner Betriebe, Regionen oder Branchen:  
[www.prtr.bund.de](http://www.prtr.bund.de)

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg  
[www.statistik.baden-wuerttemberg.de](http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de)

# 7 Boden

## 7.1 BODENMONITORING IN BADEN-WÜRTTEMBERG

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. Sind Bodenschädigungen einmal eingetreten, lassen sie sich kaum mehr oder nur unter sehr großem Aufwand wieder rückgängig machen. Deshalb ist die Vorsorge wesentlicher Bestandteil des Bodenschutzes.

Mit dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG 1998) und der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV 1999) liegen bundeseinheitliche Regelungen vor, mit dem Ziel, Böden und ihre Funktionen nachhaltig zu sichern und, falls erforderlich, wiederherzustellen. Schädliche Bodenveränderungen sind abzuwehren. Altlasten und dadurch verursachte Gewässerverunreinigungen sind zu sanieren, Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden ist zu treffen.

Unverzichtbare Informationsgrundlage für den Bodenschutz ist das Bodenmonitoring und der darauf aufbauende Betrieb von Bodeninformationssystemen in der Zuständigkeit der Länder. In Baden-Württemberg ist das Bodenmonitoring seit 1991 durch ein Landesbodenschutzgesetz (BodSchG) geregelt und unverändert seit 2004 durch das Gesetz zur Ausführung des Bundesbodenschutzgesetzes (LBodSchAG). Die regelmäßige Erfassung und Überwachung des Bodenzustands und seiner Veränderungen ist dort als Aufgabe der LUBW benannt. Das Bodenmonitoring gliedert sich in Baden-Württemberg in ein Langzeitprogramm, die Bodendauerbeobachtung, in regionales Bodenmonitoring, die Bodenzustandsberichte sowie in zahlreiche weitere thematische Untersuchungsprogramme zur Bodenzustandserfassung.

## 7.2 BODENDAUERBEOBACHTUNG

### 7.2.1 KONZEPTION, STANDORTE UND METHODEN

Die Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg ist gegliedert in ein Grundmessnetz, ein Basismessnetz und ein Intensivmessnetz. Abbildung 7.2-1 zeigt die Lage der Messstellen. Im Grundmessnetz mit 155 Standorten wurden ab 1986 Werte für den ubiquitären Schadstoffhintergrund d. h. für nicht spezifisch belastete Böden im ländlichen Raum ermittelt [LFU 1994, LABO 2003]. 33 Messstellen des Grundmessnetzes wurden seit 1997 zum Nachweis von Bodenveränderungen im Hintergrundbereich ausgebaut und bilden heute das Basismessnetz. Hierzu wurden Bodenbeprobungsflächen präzise wieder auffindbar eingemessen. Die Nutzung der Flächen wird als wesentlicher Einflussfaktor detailliert dokumentiert. Aufgrund der sehr langsamen Prozesse im Boden sind Wiederholungsuntersuchungen in Zeitabständen von mehr als zehn Jahren vorgesehen. Seit 1991 wurden



Abb. 7.2-1: Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg. Stand: 2008

Tab. 7.2-1: Intensivmessstellen und wichtige Kenndaten. Stand: 2006

Intensivmessstelle	Betriebsbeginn	Höhe ü. N.N.	Bodentyp	Ausgangsgestein	Nutzung	Einwirkung
Bruchsal/Forst (Landkreis Karlsruhe)	1993	107 m	Braunerde	Pleistozäner Sand	Forst	Straßenverkehrsemission an der BAB 5 (Frankfurt - Basel)
Baltmannsweiler (Landkreis Esslingen)	1996	510 m	Pseudogley-Parabraunerde	Stubensandstein	Forst	Diffuse Immissionen aus dem Ballungsraum Stuttgart/Esslingen
Wilhelmsfeld (Rhein-Neckar-Kreis)	1996	350 m	Podsol-Braunerde	Buntsandstein (mittlerer)	Forst	Diffuse Immissionen aus dem Ballungsraum Mannheim/Heidelberg
Kehl (Ortenaukreis)	1998	135 m	Auenbraunerde	Auenlehm	Grünland extensiv	Diffuse Immissionen aus dem Ballungsraum Kehl/ Straßburg
Trochtelfingen (Landkreis Reutlingen)	2002	730 m	Kolluvium über Terrafusca	Kalkstein Oberer Jura	Acker	Landwirtschaftliche Klärschlamm- und Bioabfallverwertung

LUBW

Intensivmessstellen eingerichtet, an denen zusätzlich zu den klassischen Bodenuntersuchungen auch medienübergreifende Stoffflüsse untersucht werden. Durch Bilanzierung von Stoffvorräten und Stoffflüssen sind Bodenveränderungen auch kurzfristig erkennbar und darüber hinaus Ursachenaufgaben und Prognosen künftiger Entwicklungen möglich. Intensivmessstellen sind dabei jeweils speziellen Umweltthemen gewidmet und weisen diesen angepasste, spezifische Untersuchungsprogramme auf (Tab. 7.2-1).

## 7.2.2 ERGEBNISSE DER BODENDAUERBEOBACHTUNG

### 7.2.2.1 HETEROGENITÄT DER SCHADSTOFFGEHALTE IN BÖDEN

Flächenhafte Bodenveränderungen vollziehen sich sehr langsam. Sie nachzuweisen stellt deshalb besondere methodische Anforderungen. Insbesondere die Heterogenität von Schadstoffgehalten in Böden erschwert eine Trendanalyse. Die Ergebnisse zeigen, dass die Heterogenitäten bei einer forstlichen Nutzung am größten sind und über Grünland zu Acker abnehmen. Diese Verteilung ist hauptsächlich auf den homogenisierenden Effekt des Pflügens zurückzuführen. Denn viele heutige Grünlandstandorte sind ehemalige Äcker. Stoffliche Veränderungen in messbaren Größenordnungen werden sich selbst innerhalb von Jahrzehnten auf Einzelfälle beschränken. Der detaillierten Nutzungsdokumentation kommt also eine große Bedeutung zu, um künftige Ergebnisse verallgemeinern zu können. Ebenso notwendig ist eine noch weiter gehende analytische Qualitätssicherung, um die Genauigkeit bei künftigen Beprobungen zu

steigern. Hierbei werden die in der Bodenprobenbank des Landes eingelagerten Rückstellproben eine zentrale Rolle als interne Standards spielen.

### 7.2.2.2 SCHADSTOFFEINTRÄGE IN BÖDEN

Schadstoffe können über die atmosphärische Deposition und durch Bewirtschaftung (Düngung, Pflanzenschutz usw.) in Böden gelangen. Aber auch Pflanzen bewirken Stoffeinträge, oberirdisch durch Abwerfen von Blättern, Ästen und Rinde, unterirdisch durch Wurzelstreu und -sekretion. Diese Stoffflüsse werden an Intensivmessstellen soweit möglich gemessen, andernfalls – wie z. B. wurzelinduzierte Flüsse – indirekt quantifiziert.

Die atmosphärischen Schwermetalleinträge werden seit 2003 mit bestimmt und sind in Tab. 7.2-2 dargestellt.

Ein Trend ist während des kurzen Betrachtungszeitraums von fünf Jahren nicht auszumachen. Die Einträge an der verkehrsbeeinflussten Intensivmessstelle ‚Bruchsal/Forst‘ im Vergleich mit den anderen Messstellen zeigen, dass bei Blei mittlerweile kein vorrangiger Verkehrseinfluss mehr besteht, bei Antimon aus Bremsbelägen dagegen schon. Thallium im Waldbestand ‚Wilhelmsfeld‘ ist auffällig hoch und muss weitergehend untersucht werden.

Schwermetalleinträge über die Staubdeposition sind anteilig mittlerweile stärker durch Verwehung beeinflusst, als durch anthropogene Emissionen. Dies ergibt sich aus dem typischen jahreszeitlichen Verlauf mit Maxima des Eintrags im Sommer und Minima im Winter, wie er exemplarisch für die Intensivmessstelle ‚Baltmannsweiler‘ in Abbildung 7.2-2 dargestellt ist.



Tab. 7.2-2: Bergerhoff-Depositionen an Intensivmessstellen Baden-Württembergs: Mittelwerte der Jahresfrachten 2003 bis 2007. Stand: 2008

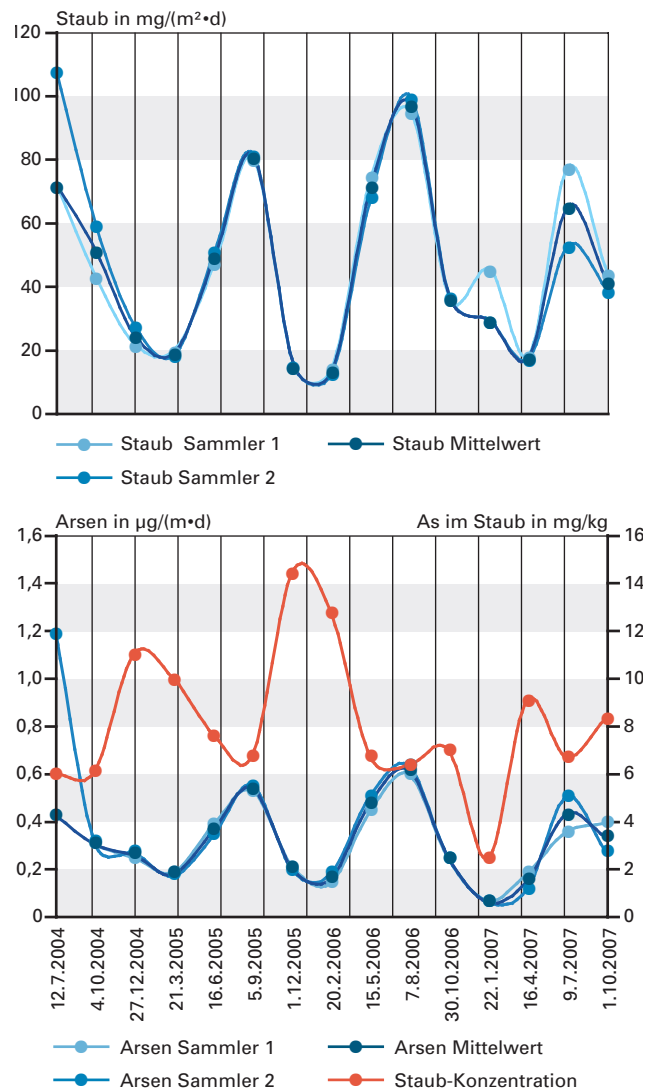
	Arsen As	Cadmium Cd	Kobalt Co	Chrom Cr	Kupfer Cu	Mangan Mn	Nickel Ni	Blei Pb	Antimon Sb	Zinn Sn	Thallium Tl	Vanadium V	Zink Zn	Staub kg/ha/a
Angaben in g/ha/a														
Baltmannsweiler	1,1	0,5	0,8	7,1	30	171	5,3	21,3	2,5	1,9	0,07	5,3	324	161
Bruchsal/Forst	2,4	0,6	2,2	32,6	124	122	13,5	31,1	13,7	10,2	0,10	14,7	397	262
Kehl	4,0	0,8	2,1	60,5	80	348	11,8	44,3	4,6	5,6	0,10	21,0	370	216
Trochtelfingen	1,1	0,5	1,0	5,9	25	71	5,7	12,8	1,6	1,4	0,06	5,5	184	169
Wilhelmsfeld Freifläche	2,3	1,0	1,7	10,9	29	531	10,8	26,1	3,4	2,7	0,16	10,3	289	459
Wilhelmsfeld Waldbestand	2,9	0,9	1,7	13,5	33	807	13,5	26,2	4,9	3,9	1,07	10,9	294	644

LUBW

Da anthropogene Emissionen von Schwermetallen im Sommer nicht zunehmen, ist ein bedeutender Anteil des Eintrags durch Verwehung aus ungeschützten Flächen wie Wegen, Äckern während trockener Phasen zu erklären. Die im Sommer abnehmenden Schwermetallkonzentrationen in der Staubdeposition sind durch Beimischung biologischer Stäube wie z. B. Pollen oder Sporen zu erklären. Dies ist bei Schadstoffbilanzierungen zu berücksichtigen.

Die Depositionen von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) werden an Intensivmessstellen seit 2002 gemessen. Seit 2004 werden zusätzliche Messungen an Ergänzungsmessstellen durchgeführt. Seit 2007 stehen auch Jahresfrachten aus dem Depositionsmessnetz Baden-Württembergs zur Verfügung. Die Ergebnisse sind für die Summe der 16 PAK nach EPA (Environmental Protection Agency – Umweltorganisation der US-Regierung) in Tabelle 7.2-3 dargestellt.

Deutlich ist 2007 ein Rückgang der PAK-Einträge bei allen Messstellen zu beobachten. Dieser ist sehr wahrscheinlich verursacht durch den warmen Winter 2006/2007 und dem damit verbundenen geringen Heizbedarf. An den relativ hohen Einträgen der Messstelle ‚Bruchsal/Forst‘ unmittelbar neben der BAB 5 lässt sich insgesamt ein gewisser Verkehrseinfluss erkennen. Der Maximalwert der Messstelle ‚Edelmannshof‘ deutet hingegen auf einen dominierenden Einfluss des Hausbrands hin. Die Messstelle ‚Edelmannshof‘ befindet sich in unmittelbarer Nähe zu holzbeheizten Gehöften, liegt in Bezug auf den Großraum Stuttgart jedoch in vergleichbarer Entfernung wie die Messstelle ‚Baltmannsweiler‘, die nur geringe Einträge zeigt. Zur Ab-



LUBW

Abb. 7.2-2: Arsen- und Staubeinträge an der-Intensivmessstelle ‚Baltmannsweiler/Freiland‘ für 12-wöchige Messintervalle. (Darstellung der Intervallmittelwerte als zeitliches Kontinuum). Stand: 2008

Tab. 7.2-3: Jahressummen der 16 PAK nach EPA an Intensivmessstellen sowie Ergänzungsmessstellen und Messstellen des Depositionsmessnetzes Baden-Württemberg. Stand: 2008

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Angaben in g/ha/a						
Bruchsal/Forst Freifläche	2,84	2,65	2,71	3,13	2,73	1,27
Bruchsal/Forst Waldbestand	3,15	3,21	2,74	2,50	2,79	1,26
Wilhelmsfeld Freifläche	2,16	1,89	2,17	1,64	1,45	0,92
Wilhelmsfeld-Waldbestand	1,92	1,44	1,40	1,59	1,48	0,59
Kehl	2,95	3,09	3,08	2,49	2,24	1,24
Baltmannsweiler	2,09	2,08	2,04	1,24	1,23	0,56
Trochtelfingen	0,87	1,02	1,06	1,03	0,76	0,41
Aulendorf	-	-	-	0,63	0,81	0,62
Kälbelescheuer	-	-	-	0,71	0,62	0,42
Karlsruhe-Hertzstr.	-	-	-	1,67	1,51	1,01
Nagold	-	-	-	1,35	1,18	0,76
Weil am Rhein	-	-	-	-	-	1,70
Edelmannshof	-	-	-	-	-	2,31

LW:W

sicherung dieser Interpretation müssen längere Zeitreihen vorliegen.

Die Stoffeinträge über den Streufall an den forstlich genutzten Intensivmessstellen sind in Tab. 7.2-4 dargestellt.

Trends konnten hier insbesondere wegen der starken jährlichen Schwankung der Streufallmassen noch nicht festgestellt werden. Insbesondere bei den Nährelementen Phosphor, Kalium, Schwefel, Kalzium und Magnesium mischt sich im Streufall ein Anteil aus der atmosphärischen Deposition, der an Blättern, Nadeln und Rinde anhaftet mit einem weiteren Anteil, der über die Wurzeln aufgenommen letztlich aus dem Boden stammt. Für die Schwermetalle (mit Vorbehalt bei Kupfer und Zink als essenzielle Spurenelemente), Arsen und die organischen Schadstoffe kann der Boden-Pflanze-Kreislauf vernachlässigt werden. Als Daumenregel lässt sich ableiten, dass diese Streufrachten ungefähr in der Größe der Deposition durch die Bestandsniederschläge liegen. Die Streufracht stellt damit einen wichtigen Stofffluss im System Wald dar.

Auch Stoffeinträge durch landwirtschaftliche und forstliche Bewirtschaftung werden an Intensivmessstellen untersucht, befinden sich aber noch in der Auswertung.

Tab 7.2-4: Mittlere Streufrachten an den forstlich genutzten Intensivmessstellen Baden-Württembergs im Zeitraum 1996 bis 2006 (Bruchsal/Forst in 2 versch. Abständen zur BAB 5). Stand: 2008

	Baltmannsweiler	Wilhelmsfeld	Bruchsal/ Forst	
			13 m	20 m
kg/ha/a				
Phosphor	1,6	2,2	2,0	2,2
Schwefel	2,6	3,0	3,4	3,9
Kalzium	22,9	11,1	29,7	30,7
Kalium	5,1	4,7	4,7	5,1
Mangan	1,9	1,1	3,0	3,3
Magnesium	1,8	1,1	2,8	2,9
g/ha/a				
Arsen	0,9	0,3	0,6	<0,5
Cadmium	1,4	1,0	1,4	1,7
Chrom	7,0	5,9	9,9	11,5
Kobalt	1,5	0,5	1,1	1,4
Kupfer	24	18	47	49
Quecksilber	0,4	0,3	0,2	0,4
Nickel	9,3	7,7	6,3	8,0
Blei	23	42	18	23
Antimon	<1,5	1,8	3,8	3,8
Thallium	<0,9	<0,8	<1,0	<1,2
Zink	261	119	221	251
16 PAK	0,71	0,77	1,82	1,79
12 PAK	0,65	0,79	1,78	1,69
8 PAK	0,13	0,32	0,56	0,29
mg/ha/a				
6 PCB	99	54	98	83

PAK: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

PCB: Polychlorierte Biphenyle

LW:W

### 7.2.2.3 SCHADSTOFFAUSTRÄGE AUS BÖDEN

Schadstoffe werden mit dem Sickerwasser, über Erntegut, aber auch durch Erosion aus Böden ausgetragen. Die entsprechenden Stoffflüsse werden an Intensivmessstellen quantifiziert.

Sickerfrachten werden aus gemessenen Bodenwassergehalten und modellierten Sickerraten berechnet.

Ein Messstellenvergleich ergab sehr unterschiedliche Bleigehalte der Sickerwässer, wobei die Messstelle ‚Bruchsal/Forst‘ durch deutlich erhöhte Bleikonzentrationen im Sickerwasser nach Verlassen der Auflage auffällt. Dies ist darauf zurück zu führen, dass die Verlagerung von Bodeninhaltsstoffen mit dem Sickerwasser von mehreren Faktoren beeinflusst wird:

- den Säureverhältnissen (pH-Wert)
- den Vorräten der Schadstoffe im Boden
- den Sickerwasserraten

So liegen durch den Einfluss des Kfz-Verkehrs an der Messstelle ‚Bruchsal/Forst‘ erhöhte Bleivorräte in der Auflage vor, die – trotz der dort für die Lösung von Blei im Messstellenvergleich ungünstigen Säureverhältnisse – zu den deutlich erhöhten Bleikonzentrationen führen.

An allen Intensivmessstellen werden die Ernteentzüge ermittelt. Forstliche und landwirtschaftliche Ernten unterscheiden sich in den Ernteintervallen. Auswertungen befinden sich in Bearbeitung. Stoffausträge durch Bodenerosion spielen nur auf Ackerstandorten eine wesentliche Rolle. Quantifizierungen sind im Zuge des ab 2009 laufenden Erosionsmonitorings im Rahmen des Intensivprogramms Baden-Württemberg geplant.

#### 7.2.2.4 STOFFBILANZEN AM BEISPIEL VON PAK

Langfristige Bodenveränderungen können durch Stoffbilanzen frühzeitig erkannt und einer Ursache zugeordnet werden. Dazu werden Stoffeinträge und Stoffausträge gemeinsam mit vorhandenen Stoffvorräten bilanziert. Tabelle 7.2-5 zeigt dies am Beispiel der Dekaden-Bilanz für 16 PAK (nach EPA) der Intensivmessstelle ‚Bruchsal/Forst‘ für zwei Bilanzräume in unterschiedlichen Entfernungen zum Fahrbahnrand der BAB 5. In Dekadenbilanzen sind Stoffflüsse zur besseren Übersicht in Form langjähriger Mittelwerte dargestellt.

Für den Bilanzraum 0 m bis 10 m vom Fahrbahnrand weist Tabelle 7.2-5 hohe Schadstoffvorräte aus. Für diesen Bereich liegen keine Stoffflussmessungen vor. Es lässt sich aufgrund von wiederkehrenden Bodenuntersuchungen eine gegenwärtige Vorratszunahme in einer Tiefe von 0 cm bis 10 cm von 9 % pro Jahr (entsprechend rund 3000 g/ha/a) grob schätzen. Im Bereich 15 m bis 20 m (Waldrand) liegen Stoffflussmessungen vor. Für die Auflage ergibt sich dort eine Vorratszunahme von rund 2 % jährlich. Im Gesamtsystem Boden beträgt der Zuwachs 0,3 % jährlich. Weitere Stoffbilanzen und Beurteilungen sind veröffentlicht [LUBW 2008d].

### 7.3 REGIONALES BODENMONITORING

Um regionalisierte Hintergrundwerte für Schadstoffspuren in Böden abzuleiten, müssen die Schadstoffgehalte repräsentativ und in Abhängigkeit von spezifisch relevanten Bezugsgrößen wie Ausgangsgesteine der Bodenbildung, Bodennutzung und siedlungsstrukturellen Gebietsdifferenzierungen erfasst werden. So wirkt sich die gebietspezifische Immissionssituation (z. B. diffuse Einträge aus unterschiedlichen Quellen) unmittelbar auf die Hintergrundwerte von Schadstoffspuren in den Oberböden aus. Beispielsweise werden tongehaltsbezogene Vorsorgewerte der Bundesbodenschutz- und Altlasten-Verordnung (BBodSchV) bei Zink in urban geprägten Zentren des Erhebungsraums (Region Stuttgart) teilweise flächig überschritten (Abb. 7.3-1, orange und rote Punkte).

Tab. 7.2-5: Dekaden-Bilanz für 16 PAK an der Intensivmessstelle ‚Bruchsal/Forst‘. Stand: 2007

16 PAK	Bilanzraum 0-10 m vom Fahrbahnrand				Bilanzraum 15-20 m vom Fahrbahnrand			
	Kompartiment	Tiefe	Schadstoffvorräte g/ha	Anreicherung g/ha/a	Anreicherung %/a	Schadstoffvorräte g/ha	Output g/ha/a	Anreicherung g/ha/a
Luft	>0,1 m	-	-	-	-	2,5 x 3	-	-
Vegetation	15-0,1 m	-	-	-	-	2,6+1,8	3,1	-
Auflage	0,1-0 m	-	-	-	214	(0)	4,4	2,1%
Ah-Horizont	0-0,1 m	32 800	ca. 3 000	9,0%	1 970	(0)	-	-
Al-Bv-Horizont	0,1-0,3 m	71 300	-	-	450	(0)	-	-
Unterboden	0,3-1,8 m	-	-	-	< BG	(0)	-	-
	Summe	104 100			2 634		7,5	0,3%

- = keine Daten

BG = Bestimmungsgrenze

Output Luft = Freilanddeposition mal Auskämmfaktor 3

Output Vegetation = Bestandsdeposition + Streufracht

(0) = Sickerfracht gleich Null gesetzt

Wurzelaufnahme gleich Null gesetzt



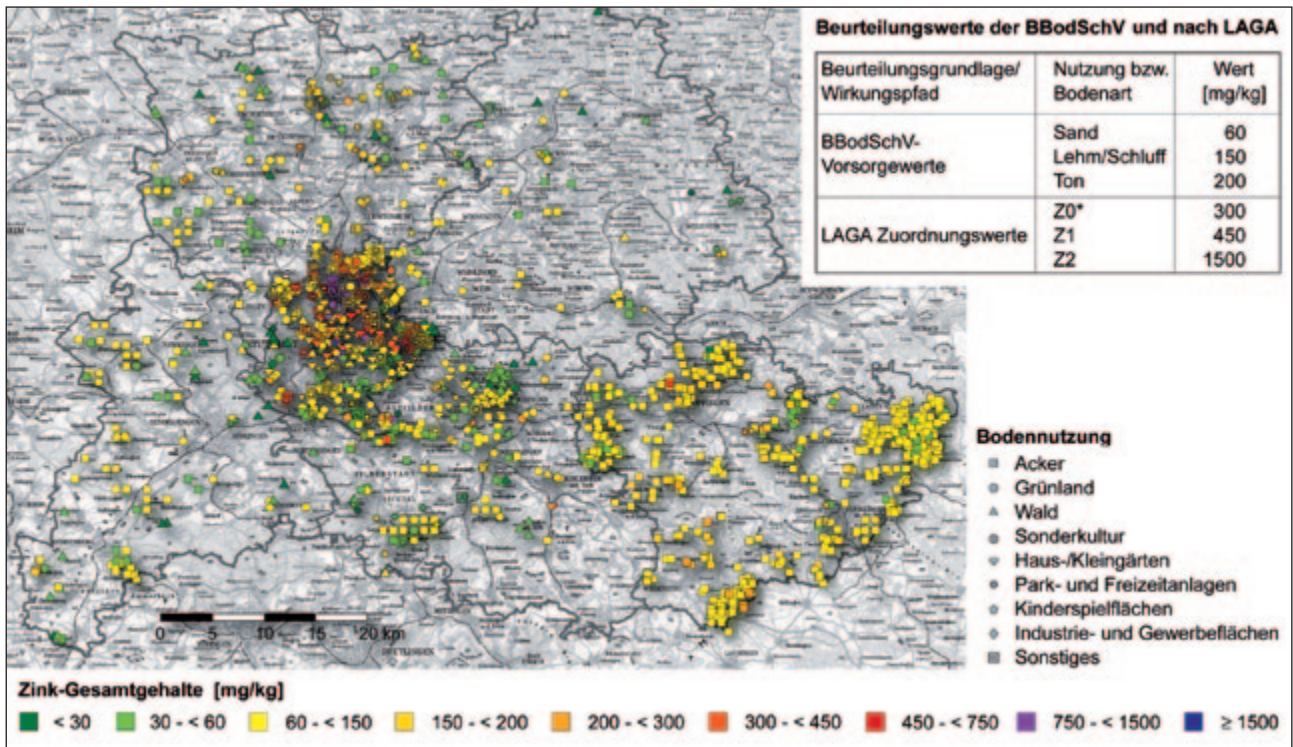


Abb. 7.3-1: Zink-Gehalte im Oberboden in der Region Stuttgart. Quelle: LUBW/Verband Region Stuttgart 2009

## 7.4 GEOGENE SONDERBÖDEN

Erhebungen der Schwermetallgehalte von Böden aus unterschiedlichen Ausgangsgesteinen ermöglichen die Erfassung geogener Sonderböden mit naturbedingt erhöhten Schadstoffgehalten (Abb. 7.4-1). Solche Böden treten in wenigen Prozent der Landesfläche auf, wo sie durch Verwitterung bestimmter Gesteinstypen (z. B. Wellendolomit des Unteren Muschelkalks, Schieferthon des Lias epsilon und des Oberen Jura, lokal auch Kalksteine des Oberen Muschelkalks) entstanden oder als Residualanreicherung aus Kalksteinen („terra fusca“) ausgeprägt sind.

### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

mehr Informationen im Internet-Themenportal ‚Boden‘ und im Internet-Angebot ‚Dokumentendienst‘ der LUBW: [www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

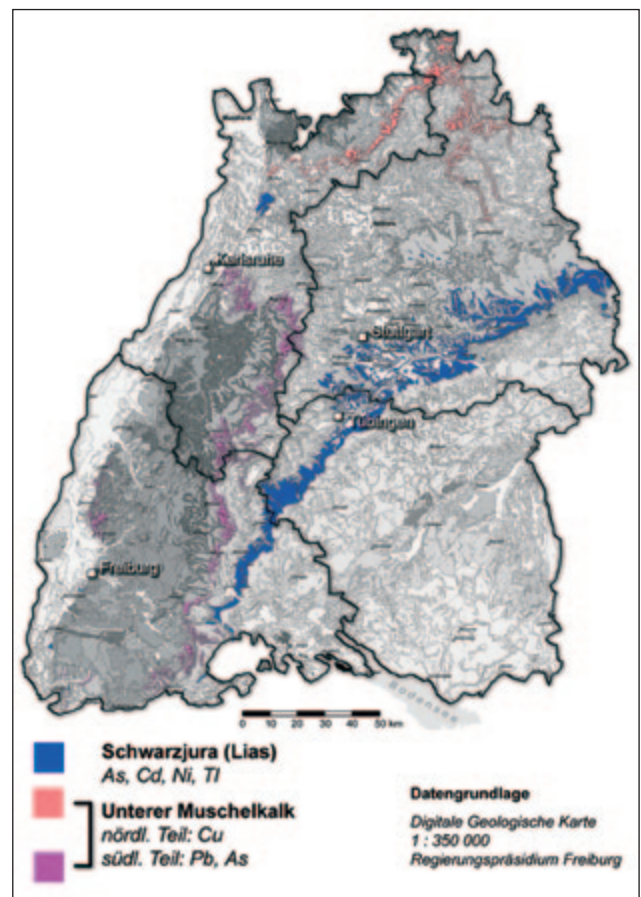


Abb. 7.4-1: Bereiche mit z. T. geogen erhöhten Schwermetall- und Arsengehalten der Böden; violett und hellrot: Ausstrichbereiche des Unteren Muschelkalks; blau: Ausstrichbereiche des Unteren Jura (Schwarzjura). Quelle: RP Freiburg/Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau 2008

# 8 Natur und Landschaft

## 8.1 FLÄCHENSCHUTZ

### 8.1.1 GEBIETS- UND BIOTOPSCHUTZ

Seit dem 1. Januar 2006 ist das neue Naturschutzgesetz des Landes Baden-Württemberg (NatSchG) in Kraft. Damit wurde das Landesrecht an die Rahmenvorschriften des im Jahr 2002 neu gefassten Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) angepasst. Gleichzeitig wurde das aus dem Jahre 1975 stammende Naturschutzgesetz grundlegend modernisiert. Folgende gebietsbezogene Schutzkategorien sind nun darin enthalten:

- „Naturschutzgebiete“ (§ 26 NatSchG),
- „Nationalparke“ (§ 27 NatSchG),
- „Biosphärengebiete“ (§ 28 NatSchG),
- „Landschaftsschutzgebiete“ (§ 29 NatSchG),
- „Naturparke“ (§ 30 NatSchG),
- „Naturdenkmale“ (§ 31 NatSchG) und
- „Besonders geschützte Biotope“ (§ 32 NatSchG).

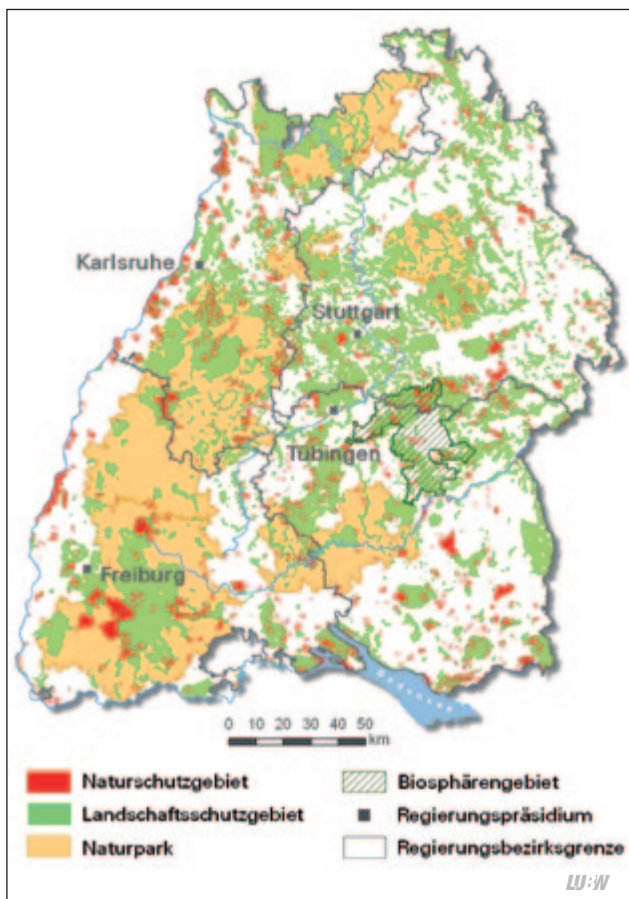


Abb. 8.1-1: Schutzgebiete in Baden-Württemberg. Stand: 2008

Abbildung 8.1-1 gibt einen Überblick über die Lage der Schutzgebiete in Baden-Württemberg. Den größten Anteil an der Landesfläche haben mit 31 % die Naturparke (Tab. 8.1-1).

#### 8.1.1.1 NATURSCHUTZGEBIETE

Anfang 2009 gab es in Baden-Württemberg 1 014 rechtskräftig verordnete Naturschutzgebiete (NSG) mit einer Fläche von 84 939 ha (Abb. 8.1-2).

Der Anteil der NSG an der Landesfläche vergrößerte sich von 0,5 % im Jahr 1976 auf fast 2,4 % im Jahr 2008.

Seit 31.12.2002 wurden 46 NSG mit rund 5 744 ha ausgewiesen. Nach wie vor weist die Mehrzahl aller NSG Flächenrößen zwischen 10 und 50 ha auf (Abb. 8.1-3).

Tab. 8.1-1: Schutzgebiete nach Anzahl, Fläche und Anteil an der Landesfläche. Naturparke und Biosphärengebiete können die anderen Schutzkategorien überlagern. Stand: 2008

	Anzahl	Fläche in ha	Anteil an Landesfläche in %
Naturschutzgebiete	1 014	84 939	2,4
Landschaftsschutzgebiete	1 450	814 153	22,8
Naturdenkmale	13 143	6 028	0,2
Naturparke	7	1 110 074	31,0
Biosphärengebiete	1	85 269	2,4

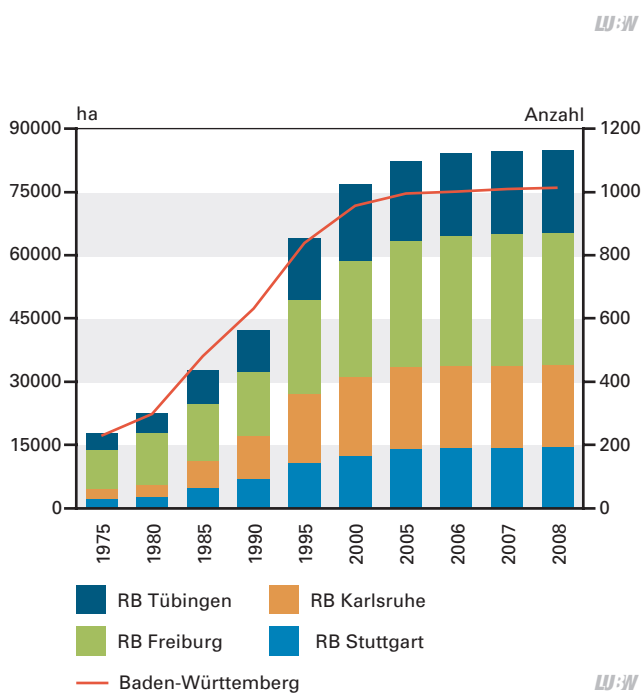


Abb. 8.1-2: Naturschutzgebiete nach Anzahl und Flächen, RB = Regierungsbezirk. Stand: 2008



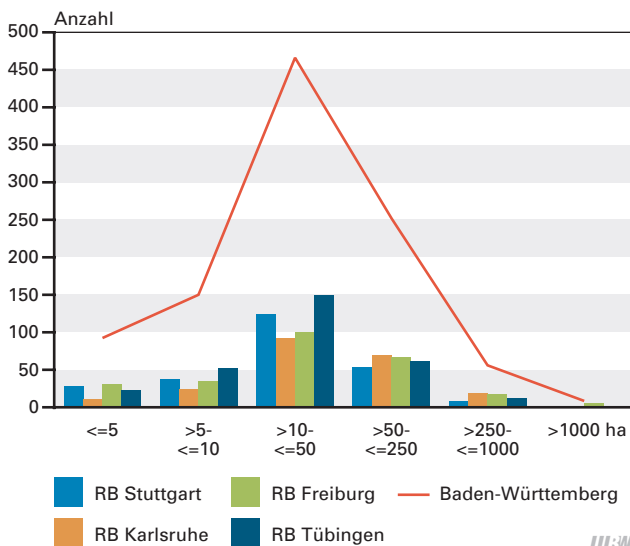


Abb. 8.1-3: Anzahl der Naturschutzgebiete nach Flächengrößen, RB = Regierungsbezirk. Stand: 2008

Von den neun großflächigen NSG liegen sechs im Regierungsbezirk Freiburg.

### 8.1.1.2 LANDSCHAFTSSCHUTZGEBIETE

Die Gesamtfläche der Landschaftsschutzgebiete (LSG) ist seit Inkrafttreten des NatSchG von 540 143 ha im Jahr 1975 auf 814 153 ha im Jahr 2008 gestiegen. Damit sind heute fast 23 % der Landesfläche als LSG ausgewiesen (Abb. 8.1-4). Annähernd 9 % der LSG sind als Teile kombinierter Natur- und Landschaftsschutzgebiete ausgewiesen und erfüllen dabei die Funktion einer Pufferzone zwischen den NSG und intensiver genutzten Flächen oder fördern so deren Schutzziele.

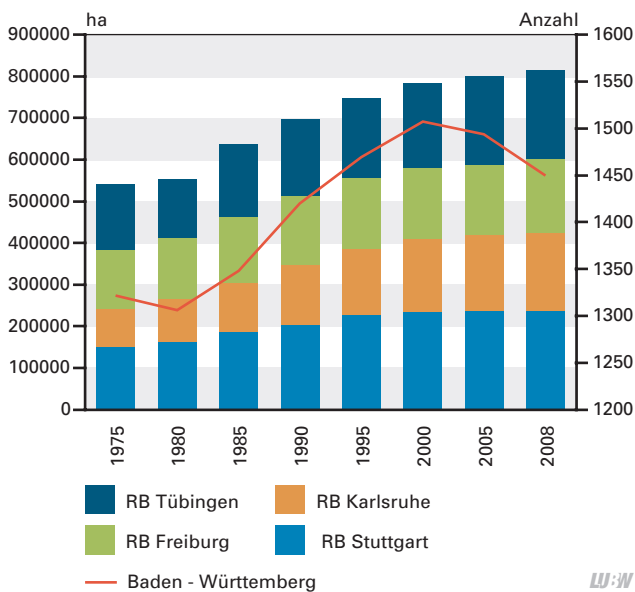


Abb. 8.1-4: Landschaftsschutzgebiete nach Anzahl und Flächen, RB = Regierungsbezirk. Stand: 12/2008

### 8.1.1.3 NATURDENKMALE

Als Naturdenkmale können sowohl Einzelgebilde wie z. B. Bäume, Felsen als auch naturschutzwürdige Flächen bis zu fünf ha ausgewiesen werden. Ihr Schutzstatus ist mit dem eines NSG vergleichbar.

Landesweit existieren 13 143 Naturdenkmale auf rund 6 028 ha (Abb. 8.1-5).

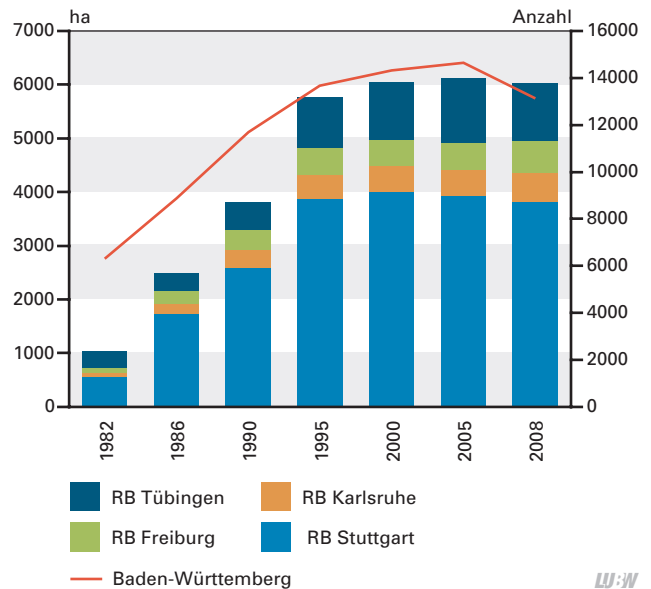


Abb. 8.1-5: Naturdenkmale nach Anzahl und Flächen, RB = Regierungsbezirk. Stand: 2008

### 8.1.1.4 NATURPARKE

Bis Ende 2008 gab es in Baden-Württemberg sieben Naturparke (Tab. 8.1-2). Im nördlichen Schwarzwald liegt der jetzt größte deutsche Naturpark ‚Schwarzwald Mitte/Nord‘ mit 374 000 ha Fläche. Zusammen mit dem Naturpark ‚Süd-schwarzwald‘ ist damit fast der gesamte Schwarzwald als Naturpark ausgewiesen.

Tab. 8.1-2: Naturparke (NP) in Baden-Württemberg. Stand: 12/2008

Name	NP-Fläche/ha	NP in % der Landesfläche
Schönbuch	15 564	0,43
Stromberg-Heuchelberg	32 891	0,92
Neckartal-Odenwald	129 200	3,61
Obere Donau	135 019	3,78
Schwäbisch-Fränkischer Wald	90 400	2,53
Südschwarzwald	333 000	9,32
Schwarzwald Mitte/Nord	374 000	10,49
Baden-Württemberg	1 110 074	31,06

### 8.1.1.5 BESONDERS GESCHÜTZTE BIOTOPE

Das NatSchG nennt unter § 32 Biotoptypen, die einen unmittelbaren gesetzlichen Schutz genießen. Es handelt sich dabei um besonders wertvolle und gefährdete Lebensräume, wie z. B. Moore, Nasswiesen und Trockenrasen (Abb. 8.1-7). Diese „Besonders geschützten Biotope“ wurden im Offenland im Auftrag der Unteren Naturschutzbehörden von 1992 bis 2005 kartiert (Abb. 8.1-6).

Durch die Novelle des NatSchG 2006 sind einige Biotoptypen hinzugekommen, die noch zu kartieren sind. Der Anteil der geschützten Biotope an der Landesfläche wird sich aber dadurch nicht wesentlich erhöhen.

Die Kartieranleitung wurde von der LUBW entwickelt, die auch für die landesweite Koordination und zentrale Datenzusammenführung zuständig ist. In der Kartieranleitung wurden die durch § 32 NatSchG neu geschützten Biotoptypen ausführlich beschrieben, die Beschreibungen der bisher geschützten Biotoptypen überarbeitet und den Lebensraumtypen der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie zugeordnet. Im Wald wurden die § 32-Biotope im Rahmen der Waldbiotopkartierung im Auftrag der Forstverwaltung erhoben. Zusammen mit dem Biotopschutzwald nach § 30a des Landeswaldgesetzes (LWaldG) nehmen die nach § 32

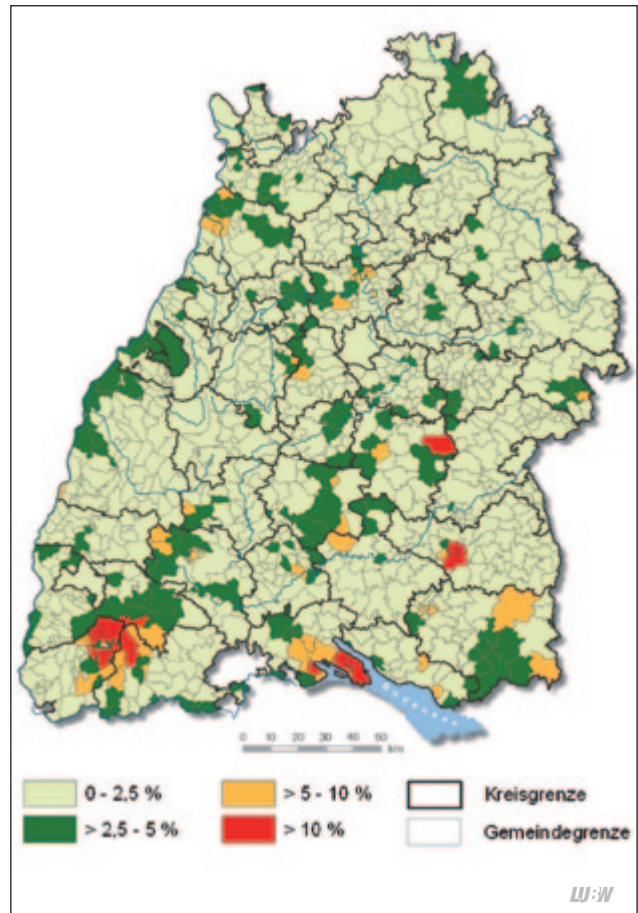


Abb. 8.1-6: Anteil der § 32-Biotopfläche an der Gemeindefläche. Stand: 2008

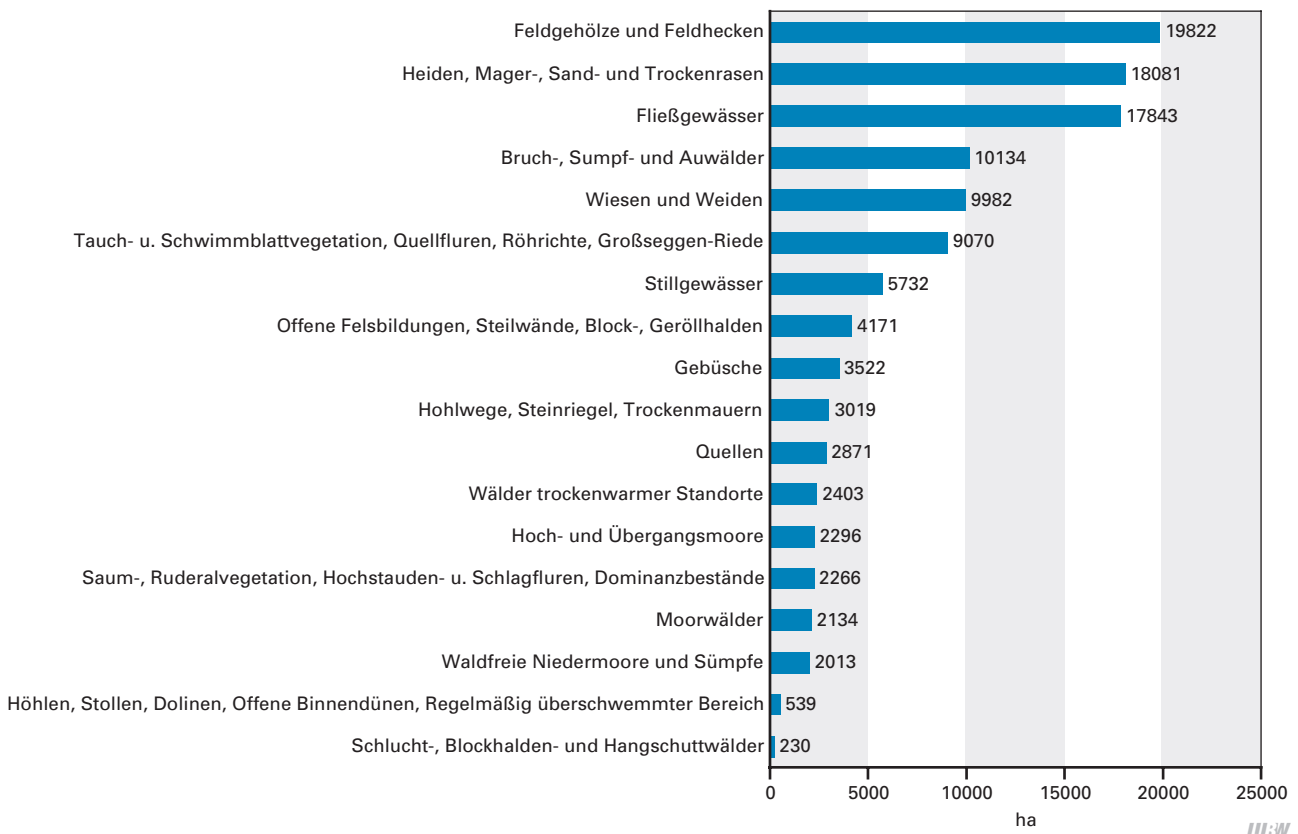


Abb. 8.1-7: Besonders geschützte Biotope nach § 32 NatSchG in Baden-Württemberg. Stand: 2008

NatSchG geschützten Biotopet etwas mehr als 4 % der Landesfläche ein (Tab. 8.1-3).

Tab. 8.1-3: Biotopet in Baden-Württemberg. Stand: 2008

	Anzahl Biotopet	Fläche Biotopet in ha	Anteil an Landesfläche in %
§ 32-Kartierung Offenland	151 579	70 010	2,0
Waldbiotopkartierung, davon gesetzlich geschützt	52 612	81 314 ca. 58 000	2,3 1,6

LUBW

#### 8.1.1.6 BIOSPHÄRENGEBIET

Nach § 28 des NatSchG sind Biosphärengebiete Schutzgebiete mit dem Ziel, großräumige Kulturlandschaften mit charakteristischer und reicher Naturlandschaft zu erhalten, zu fördern und zu entwickeln. Biosphärengebiete sind somit Modellregionen, in denen sich Aktivitäten im Bereich der Wirtschaft, die Siedlungstätigkeit und der Tourismus zusammen mit den Belangen von Natur und Umwelt gemeinsam fortentwickeln können.

Das Biosphärengebiet ‚Schwäbische Alb‘ ist seit dem 22.03.2008 nach Landesrecht als Biosphärengebiet ausgewiesen (Tab 8.1-4 und Abb. 8.1-8). Die Anerkennung als UNESCO-Biosphärenreservat ist im Mai 2009 erfolgt.

Tab 8.1-4: Zielsetzung und Anteil der Zonen an der Gesamtfläche des Biosphärengebietes Schwäbische Alb. Quelle: Biosphärengebiet Schwäbische Alb 2008.

Biosphärengebietszone	Zielsetzung der Zonen	Fläche (ha)	Anteil an Gesamtfläche (%)
Kernzone	ungestörte Naturentwicklung	2 644,82	3,1
Pflegezone	Entwicklung wertvoller Kulturlandschaften	35 409,93	41,83
Entwicklungszone	nachhaltige Wirtschaftsweisen	47 213,98	55,37
Gesamtfläche		85 268,73	

Modellhafte und nachhaltig wirkende Projekte im Biosphärengebiet können durch Fördermittel des Landes in folgenden Handlungsfeldern unterstützt werden:

- Bewahrung des historisch-kulturellen Erbes
- Bildung für nachhaltige Entwicklung
- Nachhaltiger Tourismus, Gastronomie und Verkehr

- Naturschutz und Landschaftspflege
- Öffentlichkeitsarbeit

Weitere Handlungsfelder, wie z. B. Land- und Forstwirtschaft werden über PLENUM ‚Schwäbische Alb‘ abgedeckt.

Zur Erarbeitung von Leitbildern für die Entwicklung des Biosphärengebietes ‚Schwäbische Alb‘ wurde zwischenzeitlich die von der UNESCO geforderte Rahmenplanung in Auftrag gegeben.

#### 8.1.2 NATURSCHUTZFÖRDERPROJEKTE UND INTERNATIONALE ÜBEREINKOMMEN

##### 8.1.2.1 NATURSCHUTZGROSSPROJEKTE

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 Naturschutzverpflichtungen. In Baden-Württemberg sind bisher drei Projekte abgeschlossen worden. Zwei sind derzeit in der Umsetzung: ‚Feldberg-Belchen-Oberes Wiesental‘ mit 10 074 ha und ‚Pfrunger-Burgweiler Ried‘ mit 1 453 ha. Der Fördersatz des Bundes liegt für die laufenden Projekte bei 65 %, der Anteil des Landes beträgt 25 %. Die übrigen 10 % werden von den Projektträgern übernommen. Im Schwarzwald ist dies ein Zweckverband aus Gemeinden, Landkreisen und Vereinen, in Oberschwaben wurde eine eigene Stiftung gegründet.

##### 8.1.2.2 LIFE-FÖRDERPROJEKTE

Mit dem Programm LIFE Natur (LIFE = L, Instrument Financier pour l'Environnement, Finanzierungsinstrument für die Umwelt) förderte die Europäische Union zwischen 1992 und 2006 modellhaft Naturschutzvorhaben, die der Umsetzung der Vogelschutz- und/oder der FFH-Richtlinie dienen. Die EU unterstützt damit die Schaffung des europäischen Schutzgebietsnetzes ‚Natura 2000‘ und dessen Akzeptanz. Nachfolgeprogramm ist seit Juni 2007 LIFE+. Die europäische Kommission hat im Herbst 2008 zwei neue LIFE+ Natur-Anträge aus Baden-Württemberg genehmigt. Inklusiv der bereits beendeten Projekte werden nach Abschluss dieser Projekte insgesamt EU-Fördermittel von ca. 12,4 Mio. € und Gesamtmittel von rund 24,6 Mio. € in

baden-württembergische LIFE Natur-Projekte geflossen sein. Die derzeit laufenden Projekte sind in Tabelle 8.1-5 zusammengestellt.

Tab. 8.1-5: Übersicht über die derzeit laufenden LIFE-geförderten Projekte in Baden-Württemberg. RP – Regierungspräsidium; NABU – Naturschutzbund Deutschland. Quelle: Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum 2009

Name / Antragstellung	Laufzeit
„Lebendige Rheinauen bei Karlsruhe“, RP Karlsruhe	2004 bis 2010
„Oberer Hotzenwald“, RP Freiburg	2005 bis 2011
„Rohrhardsberg, Obere Elz und Wilde Gutach“, RP Freiburg	2006 bis 2011
LIFE+ „Vogelschutz in Streuobstwiesen des Mittleren Albvorlandes und des Mittleren Remstales“, RP Stuttgart	2009 bis 2013
LIFE+ „Restauration von Habitaten im Federseemoor“ (NABU-Beteiligung), RP Tübingen	2009 bis 2012

### 8.1.2.3 RAMSAR-GEBIETE

Die Ramsar-Konvention ist ein internationales Übereinkommen zum Schutz von Feuchtgebieten internationaler Bedeutung, insbesondere als Lebensraum für Wat- und Wasservögel. Die Konvention ist nach der Stadt Ramsar im Iran benannt, in der 1971 die Verhandlungen zu dem Abkommen stattfanden. Es handelt sich um das älteste und bedeutendste globale Naturschutzabkommen, das bislang 159 Staaten unterzeichnet haben. Die Vertragsstaaten haben weltweit bislang 1 846 Gebiete mit einer Gesamtfläche von über 181 Mio. ha gemeldet.

Nach langjährigen Vorarbeiten wurden Mitte 2008 Feuchtgebiete in den FFH- und Vogelschutzgebieten entlang des Oberrheins als gemeinsames deutsch-französisches Ramsar-Gebiet „Oberrhein – Rhin supérieur“ nach der Ramsar-Konvention als Feuchtgebiete internationaler Bedeutung vorgeschlagen. Der Oberrhein wurde im August 2009 als 1809. Ramsar-Gebiet und weltweit 10. grenzübergreifendes Ramsar-Gebiet anerkannt. Die Gebietsfläche beträgt auf baden-württembergischer Seite rund 25 117 ha, im Elsass rund 22 413 ha.

In Baden-Württemberg sind neben dem Oberrhein die Naturschutzgebiete „Wollmatinger Ried“ (767 ha) und „Mindelsee“ (459 ha) als Ramsar-Gebiet gemeldet.

### 8.1.3 PLENUM

PLENUM ist ein „Projekt des Landes zur Erhaltung und Entwicklung von Natur und Umwelt“. Ziel ist eine natur-



Abb. 8.1-8: PLENUM-Projektgebiete und Biosphärengebiet Schwäbische Alb. Stand: 2008

schutzorientierte Regionalentwicklung in ausgewählten Landschaften durch nachhaltige Stärkung dieser Regionen. Durch zahlreiche, von der Bevölkerung initiierte Projekte fördert PLENUM Natur und Landschaft von „unten nach oben“. Ein wesentlicher Grundsatz von PLENUM ist hierbei die Belange des Naturschutzes in andere Handlungsfelder der Regionalentwicklung zu integrieren. PLENUM ist ein Förderprogramm des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum. Es wird derzeit in fünf Projektgebieten auf über 15 % der Landesfläche umgesetzt (siehe Abb. 8.1-8). Die LUBW ist zuständig für Betreuung und Controlling.

#### 8.1.3.1 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. Bei land- und forstwirtschaftlichen Produktions- und Vermarktungsprojekten stellen die PLENUM-Erzeugungskriterien die Grundlage für die Projektförderung dar.

Nachfolgend sind einige Projektansätze von bisherigen Förderschwerpunkten aufgeführt:



- Wertvolle Grünlandflächen wurden bisher gesichert durch neue Beweidungseinrichtungen und Stallbauten, Triebwegkonzeptionen für Wanderschäferei, Konzeptionen für Fleischvermarktung und Öffentlichkeitsarbeit zum gesamten Themenkomplex.
- Für die Erhaltung von Streuobstbeständen reicht die Palette der Projekte von der Obstwart-Ausbildung, dem Kauf von Obstpressen, der Vermarktungsförderung von Streuobstsäften einschließlich der Entwicklung neuer Streuobstprodukte bis zu Streuobst-Internetbörsen.
- Innovative naturschonende Tourismus- und Umweltbildungsangebote wurden entwickelt, so z. B. neue Touren für Radfahrer oder Wanderreiter von Hof zu Hof einschließlich Reiseführer oder die Ausbildung von Landschaftsführern.

### 8.1.3.2 EVALUATION

Die stichprobenartige Überprüfung der Wirkung von PLENUM-Projekten auf den Naturschutz im Rahmen von Halbzeitbewertungen ergab in der Gesamtbeurteilung eine sehr erfolgreiche Umsetzung der naturschutzfachlichen Ziele. Sowohl bei den geprüften Projekten mit direkten Naturschutzwirkungen auf die Fläche in den Handlungsfeldern Naturschutz, Landwirtschaft und Vermarktung als auch bei den Projekten mit indirekten Wirkungen in den Handlungsfeldern Vermarktung, Umweltbildung, Information und Tourismus konnten positive Naturschutzwirkungen ermittelt oder prognostiziert werden. Die Untersuchungsergebnisse verdeutlichten auch die sozioökonomischen Erfolge von PLENUM [IFLS 2007a, b].

### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

mehr Informationen zu den Schutzgebieten und Biotopen im Internet-Angebot ‚Daten- und Kartendienst‘ der LUBW:  
[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

mehr Informationen zu den Schutzgebieten (Schutzgebietsverzeichnis) im Internet-Themenportal ‚Natur und Landschaft‘ unter ‚Flächenschutz‘ der LUBW:  
[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

weitere Dokumente im Internet-Angebot ‚Dokumentendienst‘ der LUBW:  
[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

Biosphärengebiet:  
[www.biosphaerengebiet-alb.de](http://www.biosphaerengebiet-alb.de)

Ramsar-Gebiete:  
[www.ramsar-bw.de](http://www.ramsar-bw.de)

PLENUM:  
[www.plenum-bw.de](http://www.plenum-bw.de)

Naturschutzgroßprojekte und LIFE-Förderprojekte:  
[www.life-bw.de](http://www.life-bw.de)

## 8.2 ARTENSCHUTZ

### 8.2.1 ARTEN- UND BIOTOPSCHUTZPROGRAMM

Nach § 42 des NatSchG ist die LUBW verpflichtet, unter Mitwirkung anderer betroffener Landesbehörden, der Naturschutzvereine und sachkundiger Bürgerinnen und Bürger ein Arten- und Biotopschutzprogramm zu erstellen und fortzuschreiben. Ziel ist die Erhaltung, Pflege und Entwicklung der wild lebenden Tier- und Pflanzenarten.

#### 8.2.1.1 SCHWERPUNKTE DES ARTEN- UND BIOTOP-SCHUTZPROGRAMMS

##### ARTENVERZEICHNISSE

In Deutschland kommen ca. 40 000 bis 50 000 Tierarten und etwa 20 000 Pflanzenarten vor. In Baden-Württemberg finden aufgrund der geologischen und klimatischen Vielfalt rund 75 % davon geeignete Lebensbedingungen. Im Rahmen des Artenschutzprogramms werden Verzeichnisse der im Landesgebiet vorkommenden wild lebenden Tier- und Pflanzenarten erstellt. Sie werden in der Regel als sogenannte Artenverzeichnisse gemeinsam mit den Roten Listen veröffentlicht.

##### ROTE LISTE GEFÄHRDETER TIER- UND PFLANZENARTEN

Ergebnisse der landesweiten Bestandsaufnahmen und Zustandsbewertungen sind die Roten Listen bedrohter Tier- und Pflanzenarten. In der Regel initiiert, koordiniert und veröffentlicht die LUBW die Roten Listen, die von Experten der jeweiligen Artengruppen erstellt werden.

Rote Listen geben Auskunft über Grad und Umfang der Gefährdung heimischer Tier- und Pflanzenarten. Sie werden als Grundlage für den rechtlichen Schutz von Arten so-



wie als wichtige Entscheidungshilfe bei der Durchführung von Planungen herangezogen.

Aus den bisher veröffentlichten Roten Listen folgt, dass etwa 40 % der Landesfauna und -flora als gefährdet einzustufen sind (Abb. 8.2-1).

### GESETZLICH GESCHÜTZTE ARTEN

Eine der wichtigsten Rechtsgrundlagen des gesetzlichen Artenschutzes ist das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG). Hier werden in § 10 Abs. 2 Nr. 10 und 11 besonders und streng geschützte Arten definiert. Dies sind Arten, die in der EG-Artenschutzverordnung (EG/338/97), im Anhang IV der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie oder in der Bundesartenschutzverordnung aufgeführt sind. Hinzu kommen alle „europäischen Vögel“ im Sinne der Vogelschutzrichtlinie (vgl. Kap. 8.3). Die streng geschützten Arten sind eine Teilmenge der besonders geschützten Arten.

Für die besonders geschützten Arten gelten nach § 42 BNatSchG unter anderem bestimmte Zugriffsverbote. Es

ist demnach verboten, sie der Natur zu entnehmen, zu beschädigen, zu töten oder ihre Fortpflanzungs- und Ruhestätten bzw. Standorte zu beschädigen oder zu zerstören. Bei den streng geschützten Tierarten sowie den europäischen Vogelarten gilt zusätzlich das Verbot, sie während der Fortpflanzungs-, Aufzucht-, Mauser-, Überwinterungs- und Wanderungszeit erheblich zu stören. Abbildung 8.2-2 zeigt die Anzahl der aktuell in Baden-Württemberg vorkommenden streng geschützten Arten. Ausgestorbene Arten oder solche mit unsicherem Nachweis werden hier nicht berücksichtigt.

### GRUNDLAGENWERKE ZUM ARTENSCHUTZPROGRAMM

Die 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.

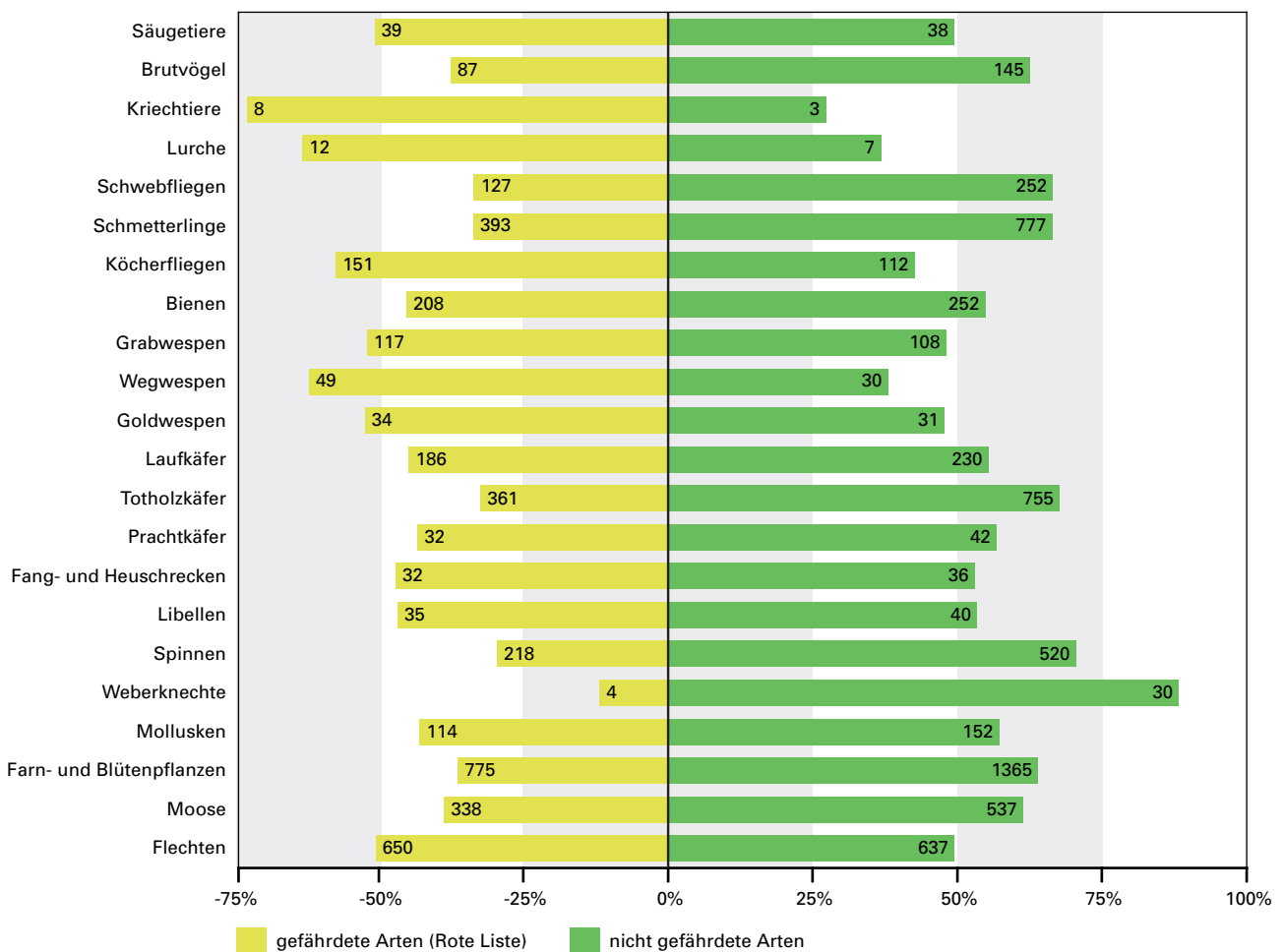


Abb. 8.2-1: Gefährdete Tier- und Pflanzenarten ausgewählter Artengruppen in Baden-Württemberg. Stand: 1/2009

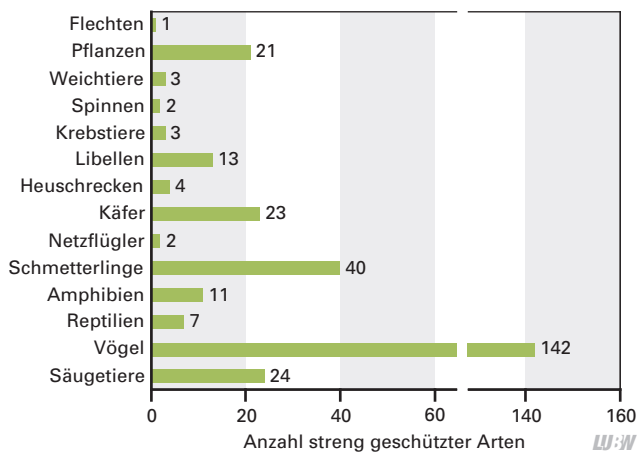


Abb. 8.2-2: Anzahl der aktuell in Baden-Württemberg vorkommenden streng geschützten Arten. Stand: 1/2009

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 obliegt der LUBW. Unverzichtbare Partner bei der Erstellung sind die Staatlichen Museen für Naturkunde in Stuttgart und Karlsruhe sowie zahlreiche ehrenamtliche Autoren und Mitarbeiter.

Die Grundlagenwerke machen es möglich, die Verbreitung und Gefährdungssituation einer großen Zahl wichtiger heimischer Tier- und Pflanzenarten im Land auf wissenschaftlicher Grundlage zu beurteilen. Sie enthalten wichtige Vorschläge für Schutz- und Pflegemaßnahmen.

Bisher sind insgesamt 46 Bände zu verschiedenen Artengruppen erschienen, darunter z. B. „Die Vögel Baden-Württembergs“ und „Die Schmetterlinge Baden-Württembergs“ mit jeweils 10 Bänden, „Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs“ mit 8 Bänden. Zuletzt erschien das Grundlagenwerk „Die Amphibien und Reptilien Baden-Württembergs“.

### 8.2.1.2 UMSETZUNG DES ARTEN- UND BIOTOPSCHUTZPROGRAMMS

Verlust und Veränderung der Lebensräume sind in Kombination mit besonders speziellen Habitatansprüchen die Hauptgründe für die Seltenheit von Arten. Von ihrem Schutz profitiert in der Regel die gesamte Lebensgemeinschaft der vorwiegend seltenen Biotope.

Die Grundlagenwerke bilden mit ihrem gesammelten Expertenwissen die Basis des Arten- und Biotopschutzprogramms. Die LUBW wertet die vorhandenen Daten aus und stellt sie den vier Regierungspräsidien zur Umsetzung geeigneter Maß-

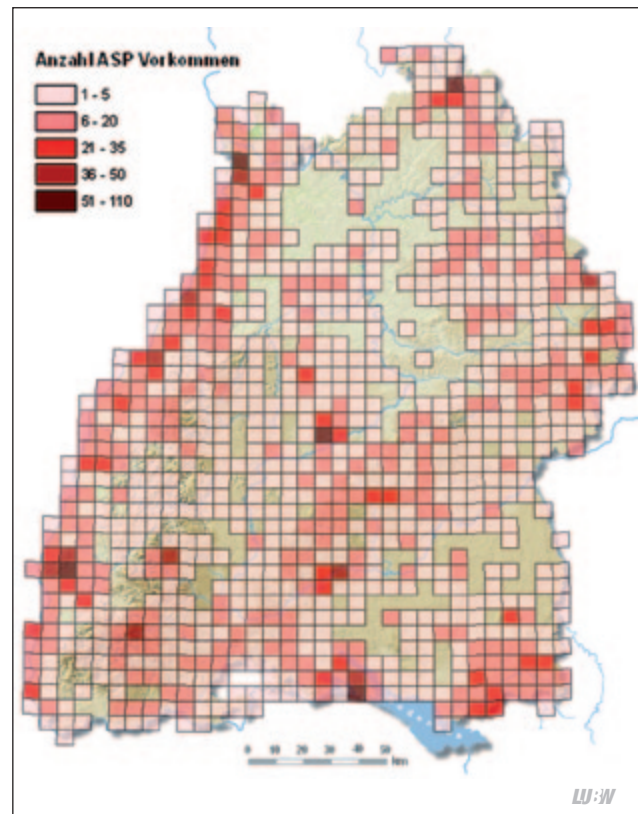


Abb. 8.2-3: Verbreitung der im Rahmen des Artenschutzprogramms ASP Baden-Württemberg erhobenen Pflanzen- und Tiervorkommen 1992 bis 2008. Stand: 1/2009

nahmen zur Verfügung. Die Fundorte der stark gefährdeten Arten sind über das gesamte Land verteilt, wobei in Gebieten mit besonders vielfältiger Naturraumausstattung, wie z. B. Kaiserstuhl, Oberrheinische Tiefebene, Südschwarzwald, Schwäbische Alb, nördliches Tauberland, Hegau und Oberschwaben hohe Konzentrationen auftreten (Abb. 8.2-3).

### 8.2.2 BRUTVOGELMONITORING

Das Brutvogelmonitoring Baden-Württemberg dient nicht nur der Datensammlung und Dokumentation von Entwicklungen unserer Vogelbestände, sondern hat eine herausragende Bedeutung als Frühwarnsystem von Veränderungen und Gefährdungen der Vogelwelt. Es ist damit ein wichtiger Indikator für den Zustand unserer Umwelt. Handlungsbedarf zum Ergreifen von Schutzmaßnahmen wird frühzeitig erkennbar.

Seit 1992 führt das Land ein Brutvogelmonitoring zur Erfassung der ‚häufigeren‘ Vogelarten in der Normallandschaft durch. In den Jahren 1992 bis 1999 von der inzwischen aufgelösten Staatlichen Vogelschutzwarte betreut, übernahm die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU, jetzt LUBW) ab 2001 diese Aufgabe.

In den Jahren 2003 und 2004 hat der Dachverband Deut-

scher Avifaunisten im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz eine bundesweite Methodik für das „Monitoring von Vogelarten in der Normallandschaft“, das auf ehrenamtlicher Datenerhebung basiert, erarbeitet. Vom Statistischen Bundesamt wurden für Baden-Württemberg 405 von bundesweit 2 637 Stichprobenflächen mit 1 km<sup>2</sup> Rastergröße ermittelt. Diese Flächen sind, soweit fachlich sinnvoll, auch Grundlage für weitere Monitoringprogramme des Landes. Der Kern des Stichprobenpools besteht aus 103 Flächen für das bundesweite und 302 Flächen für das landesweite Monitoring.

Insgesamt wird in Baden-Württemberg bisher auf 104 Flächen (Stand 2008) im Rahmen des „Monitoring häufiger Brutvögel“ kartiert (Abb. 8.2-4).

Durch die Anwendung dieser bundesweit standardisierten Methodik der Linienkartierung auf den Untersuchungsflächen ist das Brutvogelmonitoring Baden-Württembergs Teil des nationalen „Monitorings von Vogelarten in der Normallandschaft“. Die Daten münden in europaweite Projekte zur Trendberechnung, sind wichtiger Baustein für den „Atlas deutscher Brutvogelarten“ und bilden die Grundlage für den zukünftigen Nachhaltigkeitsindikator für die Artenvielfalt – ein Indikator für den Zustand von Natur und Landschaft in Deutschland.

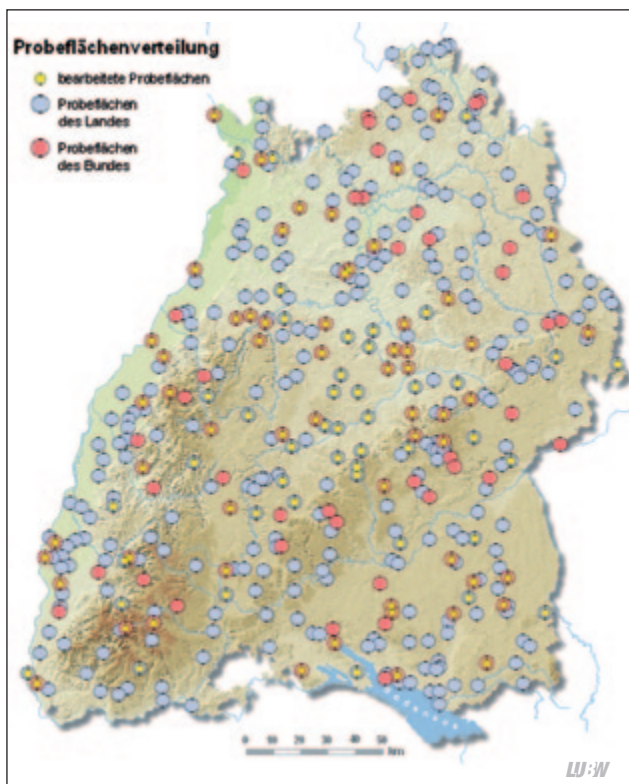


Abb. 8.2-4: Netz der Stichprobenflächen für das Monitoring häufiger Brutvögel in Baden-Württemberg. Stand: 1/2009

## INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

mehr Informationen im Internet-Themenportal ‚Natur und Landschaft‘ der LUBW:

[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

## 8.3 UMSETZUNG DER EUROPÄISCHEN RICHTLINIEN

In den letzten Jahren haben zwei europäische Richtlinien wesentlich Einfluss auf die praktische Naturschutzarbeit genommen: Die bereits 1979 von der Europäischen Union verabschiedete „Richtlinie zur Erhaltung der wildlebenden Vogelarten“ (Vogelschutz-Richtlinie) (79/409/EWG) und die „Richtlinie zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen“ (Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie, kurz FFH-Richtlinie) (92/43/EWG) aus dem Jahr 1992.

Beide Richtlinien haben zum Ziel die biologische Vielfalt in Europa zu sichern. Wesentlicher Bestandteil beider Richtlinien ist die Ausweisung von Schutzgebieten, die zusammen ein europaweites Schutzgebietsnetz bilden: ‚Natura 2000‘. Nach den Vorgaben der Richtlinien benennt jeder Mitgliedsstaat Gebiete, die für die Erhaltung seltener und europaweit bedeutender Tier- und Pflanzenarten sowie typischer oder einzigartiger Lebensräume wichtig sind. Das Schutzgebietsnetz ‚Natura 2000‘ umfasst in Baden-Württemberg mit Stand Dezember 2008 350 Gebiete, die rund 17 % der Landesfläche einnehmen (Tab. 8.3-1; Abb. 8.3-4).

### 8.3.1 VOGELSCHUTZRICHTLINIE

Die Auswahl von Vogelschutzgebieten erfolgt auf Grundlage einer Fachkonzeption der LUBW. Für Baden-Württemberg sind 75 Vogelarten für die Ausweisung von Vogelschutzgebieten relevant. Die auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse erstellte Fachkonzeption ermöglicht die zahlen- und flächenmäßig geeignetsten Gebiete für diese 75 Vogelarten anhand von nachvollziehbaren fachlichen Kriterien zu identifizieren.

Die Ende 2007 erfolgte ergänzende Meldung von Vogelschutzgebieten im Umfang von ca. 6 % der Landesfläche setzt die Fachkonzeption der LUBW konsequent um. Damit hat sich die Fläche der Vogelschutzgebiete in Baden-Württemberg mit 395 957 ha gegenüber der Meldung von 2001 (180 119 ha) mehr als verdoppelt (Tab. 8.3-1; Abb. 8.3-4).

Die an die EU gemeldeten Gebiete werden voraussichtlich 2009 im Rahmen einer Rechtsverordnung vom Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum zu Europäischen Vogelschutzgebieten erklärt. In der Verordnung werden die Erhaltungsziele für die einzelnen Gebiete festgelegt und die Schutzgebietsgrenzen flurstückscharf konkretisiert. Die Maßnahmenplanung zur Erreichung der festgelegten Ziele erfolgt im Rahmen der Managementpläne (siehe 8.3.3).

### 8.3.2 FFH-RICHTLINIE

Durch die Umsetzung der FFH-Richtlinie soll die biologische Vielfalt in Europa langfristig gesichert werden. Dafür müssen die Mitgliedsstaaten für alle Lebensräume und Arten der FFH-Richtlinie den günstigen Erhaltungszustand sichern oder wiederherstellen. Hierfür sieht die FFH-Richtlinie verschiedene Instrumente vor. Zum einen werden für ausgewählte Lebensräume (Anhang I der FFH-Richtlinie) und seltene Tier- und Pflanzenarten (Anhang II der FFH-Richtlinie) besondere Schutzgebiete ausgewiesen. Zum anderen wurde für bestimmte Tier- und Pflanzenarten (Anhang IV der FFH-Richtlinie) ein europaweit gesetzlicher Schutz festgelegt. Für diese Arten gelten strenge artenschutzrechtliche Verbote, unabhängig davon, ob die Arten innerhalb oder außerhalb eines Schutzgebiets vorkommen. Im Anhang V der Richtlinie stehen Tier- und Pflanzenarten, die möglicherweise kommerziell genutzt werden. Deren Entnahme aus der Natur und deren Nutzung darf nur durch bestimmte Methoden erfolgen und muss durch die Mitgliedsstaaten überwacht werden.

Die Arten der FFH-Richtlinie können in mehreren Anhän-

gen gleichzeitig stehen. Tabelle 8.3-2 listet die Anzahl der Lebensräume und Arten auf, die in Baden-Württemberg aktuell vorkommen.

Tab. 8.3-2: Übersicht über die Anzahl der in Baden-Württemberg vorkommenden Lebensräume und Arten der FFH-Richtlinie; Stand: 2008

Schutzobjekte der FFH-Richtlinie	Anzahl
Lebensräume für die Gebiete ausgewiesen wurden (Anhang I)	53
Arten der FFH-Richtlinie gesamt	166
davon Arten für die Gebiete ausgewiesen wurden (Anhang II)	60
davon Arten mit europaweit strengem Schutz (Anhang IV)	75
davon Arten deren Entnahme aus der Natur und Nutzung europaweit kontrolliert wird (Anhang V)	70

LW:W

#### 8.3.2.1 FFH-BERICHTSPFLICHT

Die Mitgliedsstaaten sind verpflichtet, den Erhaltungszustand der Lebensräume und Arten der FFH-Richtlinie zu überwachen. Alle sechs Jahre müssen die Mitgliedsstaaten der Europäischen Kommission einen Bericht liefern. Darin ist neben dem aktuellen Stand der Umsetzung und den aufgrund der Richtlinie getroffenen Maßnahmen auch der aktuelle Erhaltungszustand der Lebensräume und Arten im Land darzulegen. Die Einstufung des Erhaltungszustands erfolgt über ein Ampel-Schema, wobei „grün“ einen günstigen, „gelb“ einen ungünstig-unzureichenden und „rot“ einen ungünstig-schlechten Erhaltungszustand widerspiegelt. Oftmals ist der Erhaltungszustand ungünstig, weil trotz Inkrafttreten der Richtlinie weiterhin Rückgänge bei den zu schützenden Lebensräumen und Arten zu verzeichnen sind.

Tab. 8.3-1: Natura 2000-Gebiete: Flächen und Schutzgebietsanteile zum 31.12.2008. FFH – Fauna-Flora-Habitat, RL – Richtlinie; NSG – Naturschutzgebiet, LSG – Landschaftsschutzgebiet.

Schutzstatus	FFH-RL / 260 Gebiete		Vogelschutz-RL / 90 Gebiete		Natura 2000 / 350 Gebiete	
	Fläche ha	Landesfläche in %	Fläche ha	Landesfläche in %	Fläche ha	Landesfläche in %
Baden-Württemberg	414 247	11,6	390 058	10,9	619 191	17,3
davon NSG	76 600	18,5	50 694	13,0	77 840	12,6
LSG	163 133	39,4	145 108	37,2	230 370	37,2
Naturpark	49 657	12,0	75 551	19,4	111 147	18,0
sonstige	124 857	30,1	118 705	30,4	199 834	32,3
Zusätzlich Bodensee <sup>1)</sup>	11 972		5 899		12 100	
Meldefläche <sup>2)</sup>	426 219		395 957		631 291	

1) Wasserfläche des Bodensees fließt in Statistik des Landes Baden-Württemberg nicht mit ein

2) Überlagerung Vogelschutzgebiete mit FFH-Gebieten 190 885 ha, verbleiben 205 072 ha nur Vogelschutzgebiete Fläche Baden-Württemberg 3 575 154 ha (Statistisches Landesamt) exkl. Bodensee

LW:W



Nur bei einer stabilen Population bzw. einem gesicherten, ausreichend großen Flächenanteil, der einen langfristigen Erhalt der Arten und Lebensräume gewährleistet, wird der Erhaltungszustand als günstig angesehen. Lässt die Datenlage keine genaue Bewertung zu, wird der Erhaltungszustand als unbekannt (grau) eingestuft. Der Bericht 2007, der die Entwicklungen der Jahre 2001 bis 2006 beinhaltet, wurde mithilfe des vorhandenen Datenbestands erstellt. Aus den Abbildungen 8.3-1 und 8.3-2 ist zu erkennen, dass knapp 40 % der Lebensräume und Arten in Baden-Württemberg sich in einem ungünstigen Erhaltungszustand befinden, d. h. dass deren langfristige Sicherung in Baden-Württemberg gefährdet ist.

Dies betrifft insbesondere die Lebensräume und Arten, die auf extensive Nutzung und Pflege durch den Menschen in historischen Kulturlandschaften angewiesen sind. Bei vielen Lebensräumen und Arten wurden seit Inkrafttreten der

Richtlinie 1992 weiterhin Rückgänge festgestellt, die es zukünftig zu verhindern gilt.

Für die nächsten Berichte soll ein deutschlandweites Monitoring die notwendige Datengrundlage schaffen, um die Erhaltungszustände der Lebensräume und Arten ermitteln zu können.

### 8.3.2.2 STRENG ZU SCHÜTZENDE ARTEN

Die in Anhang IV der FFH-Richtlinie genannten Arten werden sowohl zu den besonders als auch zu den streng geschützten Arten geordnet.

Das deutsche Artenschutzrecht wurde mit der „Kleinen Novelle zum Bundesnaturschutzgesetz“ vom Dezember 2007 den europarechtlichen Vorgaben angepasst. Für die Anhang IV-Arten gelten – ungeachtet ihres Vorkommens inner- oder außerhalb von Schutzgebieten – bestimmte artenschutzrechtliche Störungs- und Schädigungsverbote.

Eine Konsequenz der strengen Artenschutzbestimmungen ist, dass Baden-Württemberg Schutzmaßnahmen einleiten muss, wenn sich der Erhaltungszustand einer lokalen Population verschlechtert. Der Bundesgesetzgeber nennt eine Auswahl möglicher Schutzmaßnahmen (Gebietsschutz, Artenschutzprogramme, vertragliche Vereinbarungen, gezielte Aufklärung), die durch die Länder erweitert werden kann. Erst als letztes Mittel kann die zuständige Behörde Bewirtschaftungsvorgaben anordnen.

Die Berichtspflicht im Jahr 2007 zeigte, dass sich insbesondere bei den Arten des Anhangs IV ein hoher Prozentsatz bereits in einem ungünstigen Erhaltungszustand befindet

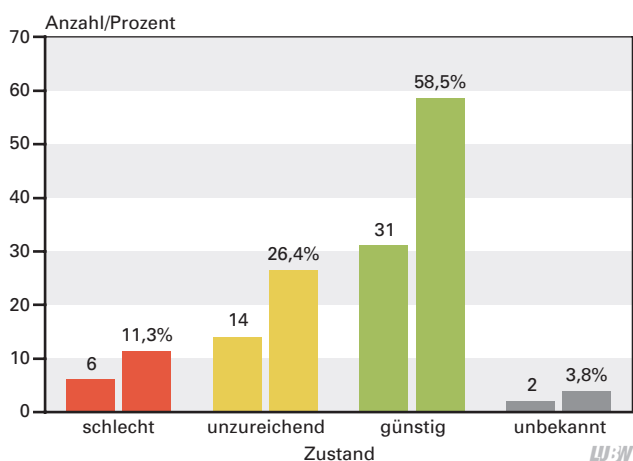


Abb. 8.3-1: Übersicht über die Erhaltungszustände der Lebensräume, bezogen auf die tatsächliche Anzahl und die prozentuale Verteilung. Stand: 2008

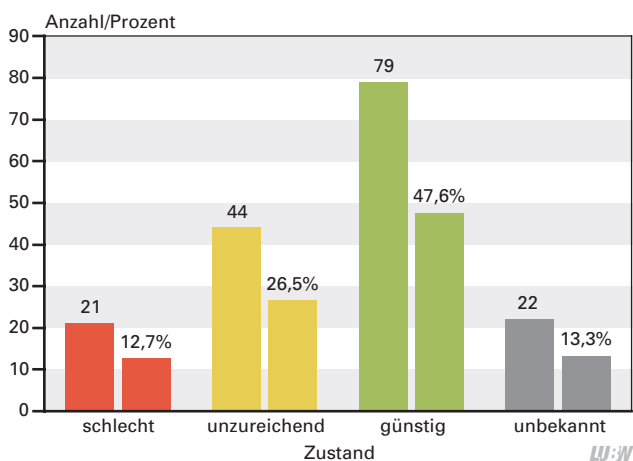


Abb. 8.3-2: Übersicht über die Erhaltungszustände der Arten, bezogen auf die tatsächliche Anzahl und die prozentuale Verteilung. Stand: 2008

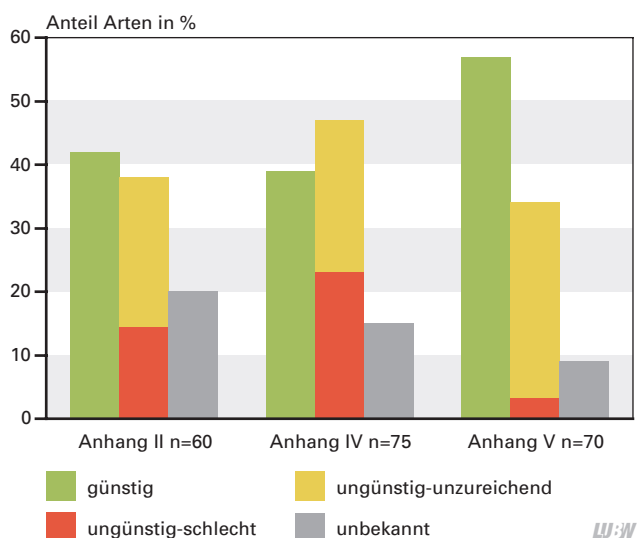


Abb. 8.3-3: Prozentuale Verteilung der Erhaltungszustände bei den Arten der Anhänge II, IV und V der FFH-Richtlinie ; n – Anzahl. Stand: 2008



(Abb. 8.3-3). Hier bedarf es in den nächsten Jahren verstärkt Anstrengungen von Seiten des Naturschutzes und den Bewirtschaftern, um das Ziel der FFH-Richtlinie erreichen zu können.

### 8.3.3 GEBIETSMANAGEMENT VON NATURA 2000-GEBIETEN

Die FFH-Richtlinie sieht in Art. 6 Abs. 1 vor, dass die Mitgliedsstaaten für die Natura 2000-Schutzgebiete die Maßnahmen festlegen, die zur Erhaltung der dort vorkommenden Arten und Lebensräume von gemeinschaftlichem Interesse erforderlich sind. In Baden-Württemberg sollen die FFH- und Vogelschutzgebiete vorrangig durch Vereinbarungen mit den Landnutzern gesichert werden. Die Erstellung der Managementpläne, in denen die Vorkommen der Lebensraumtypen und der Lebensstätten der Arten erfasst und die Erhaltungs- sowie wünschenswerte Entwicklungsmaßnahmen dargestellt werden, wird voraussichtlich noch bis ca. 2019 andauern (Abb. 8.3-4). Die Pläne bilden eine wesentliche Grundlage für die Umsetzung sowie für

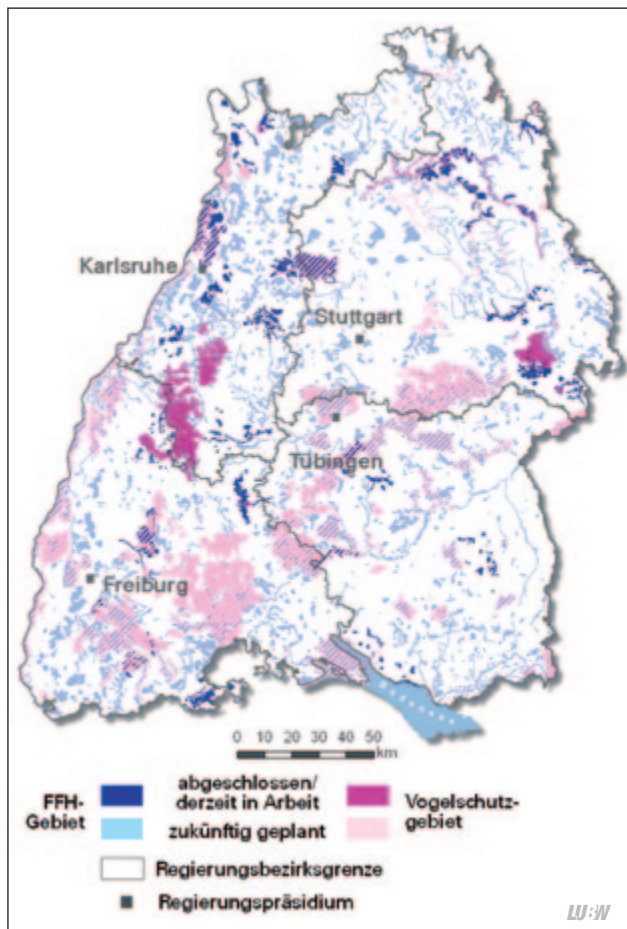


Abb. 8.3-4: Natura 2000-Gebiete in Baden-Württemberg und Bearbeitungsstand der Managementplanerstellung (FFH - Fauna-Flora-Habitat). Stand: 2008

die Berichterstattung über die durchgeführten Maßnahmen (FFH-RL Art. 17) und die damit verbundenen Kosten (FFH-RL Art. 8).

Durch landesweit verbindliche Vorgaben [LUBW 2008e] wird sichergestellt, dass die Pläne methodisch einheitlich erstellt werden und eine angemessene Beteiligung der Betroffenen (Eigentümer, Nutzer usw.), der Verbände und der Öffentlichkeit erfolgt. Die Ergebnisse sind dadurch untereinander vergleichbar sowie landesweit auswertbar.

Das Vorgehen beim Management der Natura 2000-Gebiete ist in drei zeitlich aufeinander folgende Phasen gegliedert: In der Vorbereitungsphase werden die landesweit seltenen Arten zentral erhoben und Datengrundlagen zu den Lebensraumtypen im Wald im Rahmen der Waldbiotopkartierung und der Forsteinrichtung erarbeitet. In der Planerstellungsphase erfolgen weitere Erhebungen im Offenland und die eigentliche Planerstellung inklusive der Öffentlichkeitsbeteiligung. Die Referate Naturschutz und Landschaftspflege der Regierungspräsidien tragen die Gesamtverantwortung für die Erstellung der Managementpläne in den Natura 2000-Gebieten. In der Umsetzungsphase werden die in den Plänen vorgeschlagenen Maßnahmen soweit wie möglich realisiert.

### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

mehr Informationen und Publikationen zu Natura 2000 im Internet-Themenportal ‚Natur und Landschaft‘ der LUBW: [www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

Dokumente der Europäischen Kommission: <http://biodiversity.eionet.europa.eu/>

## 8.4 MEDIENÜBERGREIFENDE UMWELTBEOBACHTUNG

Umweltveränderungen sind häufig nicht auf einzelne Kompartimente (Boden, Wasser, Luft) beschränkt. Daher muss die Ermittlung und Bewertung der Ursachen einem medienübergreifenden Ansatz folgen. Baden-Württemberg hat dies bereits 1984 mit dem Aufbau einer landesweiten biologischen Umweltbeobachtung, dem „Ökologischen Wirkungskataster Baden-Württemberg“ (ÖKWI), auf-

gegriffen. Mittels der biologischen Umweltbeobachtung werden Wirkungen der Umweltveränderungen mit Hilfe von Bioindikatoren (Pflanzen, Tiere) erfasst und bewertet. In den ersten Jahren lag der Schwerpunkt auf der Ermittlung und Bewertung der Wirkungen von Schadstoffen wie Schwefeldioxid und Stickstoffoxiden, dem sauren Regen, sowie der Wirkungen von Schwermetallen auf Organismen und Ökosysteme. In den Folgejahren wurde das Untersuchungsprogramm auf organische Schadstoffe, z. B. auf die für Mensch und Tier gesundheitsschädlichen Organohalogenverbindungen, ausgedehnt und ökotoxikologische Bewertungen nahmen einen immer größeren Raum ein. Inzwischen trägt die biologische Umweltbeobachtung als Baustein der medienübergreifenden Umweltbeobachtung maßgeblich zur Behandlung der vier nachfolgend aufgeführten Themenfelder bei:

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

#### 8.4.1 BIOLOGISCHE UMWELTBEOBACHTUNG

##### EUROPAWEITES MOOSMONITORING

Mit Hilfe von Moosen wurde die Bioakkumulation ausgewählter Metalle und Schwermetalle in terrestrischen Ökosystemen Baden-Württembergs in den Jahren 1990, 1995, 2000 und 2005 erfasst. Die Untersuchung ist Teil eines europaweiten Kooperativprogramms der Vereinten Nationen (UN-ECE). Im Jahr 2005 wurde dazu in Baden-Württemberg hauptsächlich das Zypressen-Schlafmoos (*Hypnum cupressiforme*), daneben auch das Rotstängelmoos (*Pleurizium schreberi*) an 56 Waldstandorten entnommen und auf 23 Metalle und Schwermetalle analysiert.

In Baden-Württemberg zeigen die Ergebnisse im Vergleich zu 1990 mit Ausnahme von Chrom und Antimon einen Rückgang der untersuchten Elemente im Pflanzenmaterial. Schon bis zum Jahr 2000 reduzierten sich die Gehalte an den Elementen Arsen, Titan und Vanadium gegenüber den vorausgegangenen Kampagnen um ca. 50 %. Für andere Schwermetalle, wie Cadmium, Kupfer, Nickel und Zink konnte eine Reduktion für den Zeitraum 1990 bis 2000 um ca. 20 % bis 30 % festgestellt werden. Bis zum Jahr 2005 ergab sich für die genannten Elemente nochmals eine weitere Abnahme. Der Multi-Metall-Index (MMI) zeigt die Abnahme der Metallgehalte von Arsen, Cadmium, Chrom, Kupfer, Eisen,

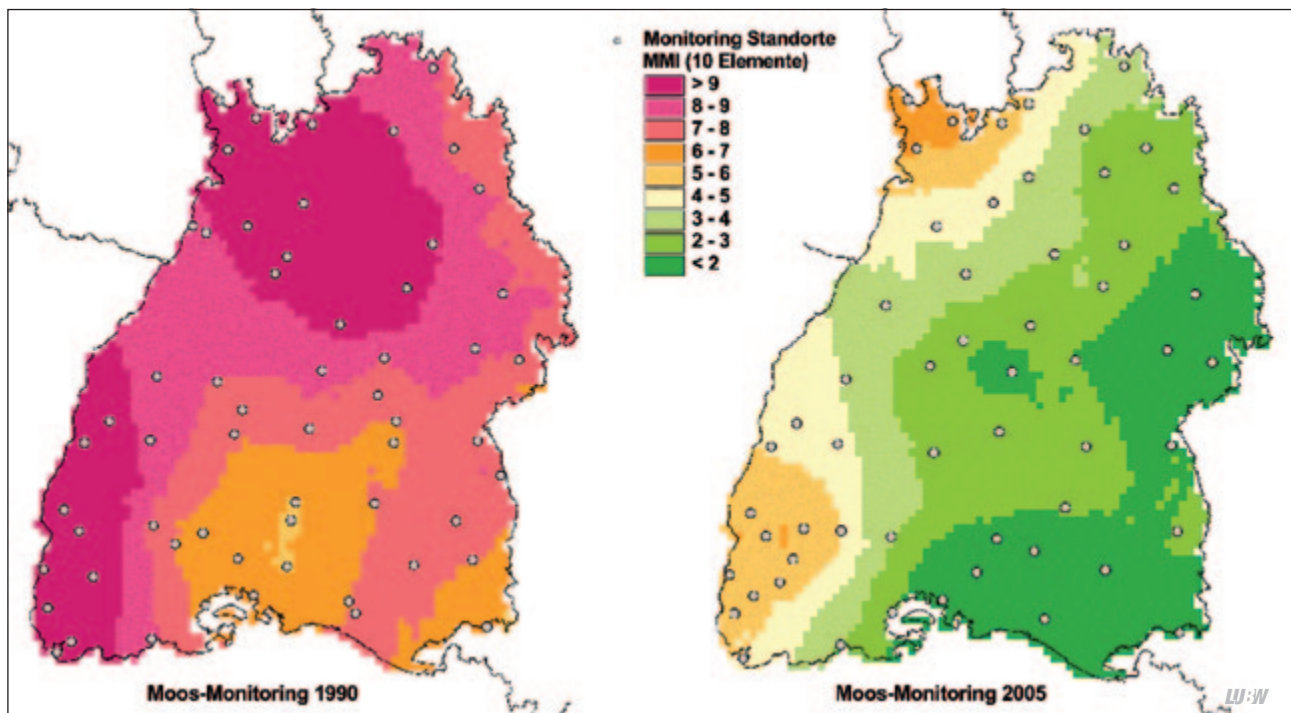


Abb. 8.4-1: Zeitlicher Verlauf der Akkumulation von Metallen in Moosen in Baden-Württemberg 1990 und 2005 dargestellt als Multi-Metall-Index MMI. Stand: 12/2007

Nickel, Blei, Titan, Vanadium und Zink in Moosen von 1990 bis 2005 in deutlicher Form (Abb. 8.4-1). Der Index wird aus den Gesamtdaten berechnet und mittels Geostatistik in die Fläche übertragen. Beispielsweise bedeutet der MMI größer 9 im Jahr 1990, dass die Konzentrationen der Metalle im Moos im Mittel oberhalb des 90. Perzentils liegen und damit die höchsten Werte aufweisen.

Als belastete Regionen können für das Jahr 2005 der Schwarzwald und der Odenwald genannt werden, die als typische Depositionsgebiete in der Westwinddrift eine Beaufschlagung mit Metallen und Schwermetallen erfahren. Insgesamt konnte die Anreicherung von Metallen und Schwermetallen in terrestrischen Ökosystemen deutlich reduziert werden, was den Erfolg von Luftreinhaltemaßnahmen eindeutig belegt.

#### SCHIMMELPILZE IN DER AUSSENLUFT

Schimmelpilze kommen ubiquitär vor und erfüllen eine wichtige Aufgabe im Nährstoffkreislauf Boden-Pflanze. Schimmelpilze können aber auch Geruchsbelastungen und gesundheitliche Beeinträchtigungen hervorrufen. Ziel der Beobachtung der natürlichen Biozönose der Schimmelpilze durch die LUBW ist, Grundlagen für die Bewertung der durch menschliche Aktivitäten verursachten Pilzkonzentrationen zu gewinnen. Die Untersuchungen erfolgen mit standardisierten Nachweisverfahren in der Luft [TESSERAUX et al. 2004]. Die höchsten Pilzkonzentrationen werden in der Aussenluft im Spätsommer und Herbst beobachtet, wobei einige Gattungen (*Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.*) in gleichbleibend niedrigen Konzentrationen auftreten und andere starke Konzentrationsunterschiede (*Cladosporium spp.*) während eines Jahres zeigen. Als Konsequenz dieses Befundes müssen bei Untersuchungen zu Schimmelpilzbelastungen, zum Beispiel bei Kompostierungsanlagen im Auftrag von Kommunen, die jeweiligen Hintergrundkonzentrationen parallel erfasst werden.

#### ENTWICKLUNG IN DER GRÜNLANDVEGETATION

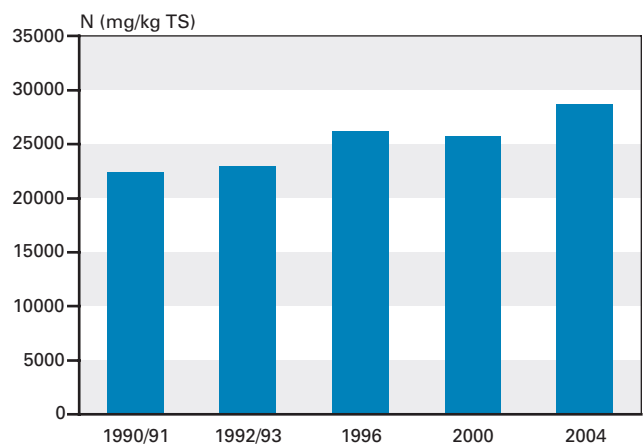
Seit 1988 wird die Grünlandvegetation landesweit an 18 Dauerbeobachtungsflächen (DBF) beobachtet. Ziel der Untersuchungen ist es, Veränderungen der Grünland-Biozönose zu erfassen und zu interpretieren. Die Arten werden in zehn Untersuchungsquadraten von je einem m<sup>2</sup> aufgenommen. Die extensiv genutzten Flächen werden in der Regel einmal jährlich gemäht oder beweidet. Das Mähgut wird entfernt. Die Artenzahlen liegen je nach Standort zwi-

schen 20 und 60 [LFU 2005]. Keine Fläche zeigt seit 1988 einen Trend der Artenzunahme bzw. -abnahme.

Die Zeigerwerte der Pflanzenarten bezüglich der Stickstoffzahl N nach [ELLENBERG et al. 1992] liegt zwischen 1,5 für stickstoffärmste und 4 für stickstoffarme bis mäßig stickstoffreiche Standorte. Einen generellen Trend zur Abnahme der Stickstoffzahl zeigen nur wenige DBF. Dies deckt sich mit der Erwartung, dass aufgrund des jährlichen Entzugs durch das Entfernen des Mähguts die atmosphärischen Stickstoffeinträge ausgeglichen werden [UMEG 2004]. Eine Auswirkung des Klimawandels ist anhand der mittleren gewichteten Temperaturzahl nach Ellenberg derzeit nicht erkennbar. Der Schwefelgehalt der Pflanzen sank im Laufe der 1990er Jahre infolge der erfolgreichen Luftreinhaltemaßnahmen. Auch der Bleigehalt im Aufwuchs ging infolge des Verbots von Blei in Kraftstoffen zwischen 1988 und 2006 deutlich zurück.

#### ENTWICKLUNG IN DEN WALDÖKOSYSTEMEN

Seit 1985 werden an 60 Walddauerbeobachtungsflächen Nährstoff- und Schwermetallgehalte in Blättern von Bäumen und in der Krautschicht zur Indikation von Veränderungen im Stoffhaushalt von Wäldern untersucht. Beispielhaft sind im Folgenden Ergebnisse für Buchenblätter an den langjährig untersuchten Standorten dargestellt. Die Stickstoffgehalte in Buchenblättern der Baumschicht haben seit Anfang der 1990er Jahre fast kontinuierlich zugenommen (von 2,23 % auf 2,86 %) und lagen 2004 um knapp 30 % höher als noch 1990/1991 (Abb. 8.4-2). Dies kann an erhöhten N-Depositionen über die Luft oder an einem verbesserten



LUBW

Abb. 8.4-2: Mittlere Stickstoffgehalte in Buchenblättern der Baumschicht in Wald-Dauerbeobachtungsflächen. Stand: 2008

Nährstoffangebot im Boden liegen. Die Schwefelgehalte variieren geringfügig zwischen 1,5 % und 1,8 %. Eine Tendenz ist nicht erkennbar. Die Verringerung der atmosphärischen Sulfatdepositionen (vgl. Kap. 4.4.4) hat sich nicht auf die Schwefelgehalte in Buchenblättern ausgewirkt. Der Rückgang der Bleigehalte in Buchenblättern bis Anfang der 1990er Jahre korreliert mit dem Verbot von bleihaltigem Benzin und der verbesserten Abgasreinigung. Bei Cadmium lagen die Schwermetallgehalte in Buchenblättern zu Beginn der Zeitreihenuntersuchung um knapp 50 Prozent höher als im Durchschnitt der folgenden Untersuchungen.

#### ENTWICKLUNG VON BODENORGANISMEN

An den Wald-Dauerbeobachtungsflächen werden seit Mitte der 1980er Jahre Springschwanzpopulationen untersucht. Ziel der Beobachtung ist es, Veränderungen in der Artenzusammensetzung der Springschwänze festzustellen und zu interpretieren. Die verschiedenen Arten der Springschwänze haben u. a. sehr unterschiedliche Ansprüche an Temperatur und pH-Wert im Boden. Die Springschwänze wurden regional und aufgrund ihrer Umweltansprüche gruppiert. Die Auswertung der Datenreihen hat ergeben, dass wärmeliebende Arten seit Mitte der 1980er Jahre signifikant in vier von sechs Regionen zunehmen. Ganz besonders ausgeprägt war diese Zunahme an den hoch gelegenen Standorten des Schwarzwaldes (Abb. 8.4-3); nicht zugenommen haben sie dagegen in der Oberrheinebene. Dies ist ein Indiz dafür, dass der Klimawandel in Böden höherer Lagen zu einer Veränderung der Artenzusammensetzung geführt haben könnte. Im Schwarzwald nehmen darüber hinaus

Springschwanzarten, die eher saure Böden bevorzugen, seit Anfang der 1990er Jahre ab und Arten, die eher neutrale bis schwach saure Böden bevorzugen, nehmen zu. Dies indiziert eine rückläufige Versauerung der Böden.

#### TRENDMONITORING FLIESSGEWÄSSERORGANISMEN

Seit 1995 wird die Biozönose der am Gewässerboden lebenden wirbellosen Tiere (Makrozoobenthos) in Rhein, Neckar, Donau und Nebengewässern an insgesamt 100 Probestellen in unterschiedlichen Zeitzyklen erhoben [MARTEN 2007]. Ziel der Untersuchungen ist die Überwachung der Biodiversität im Hinblick auf die Einschleppung und Einwanderung von Arten (Neozoa) und das Monitoring der Auswirkungen schleichender Umweltveränderungen stofflichen oder klimatischen Ursprungs auf die Biozönose. Die Daten dienen auch als Referenzdatenbasis zur Beurteilung der Auswirkungen von Unfällen und Havarien im Rahmen des Warn- und Alarmdienst Rhein der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins [MARTEN 2001]. Das Trendbiomonitoring entspricht den Empfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser für die Biozönose- und Biodiversitätsüberwachung in Gewässern [LAWA 2000]. Bislang konnten 710 Makrozoobenthosarten nachgewiesen werden (Zeitraum 1995 bis 2007). Die höchste Artenzahl weist mit 191 Arten die Jagst bei Heuchlingen auf, die geringste mit 87 Arten der Rhein bei Kirschgartshausen. Der mittlere Trend in der Artenzahlentwicklung zeigte viele Jahre eine positive Tendenz; die Gewässerabschnitte werden bis zum Jahr 2005 artenreicher, ab 2005 kehrt sich der Trend aber um (Abb. 8.4-4).

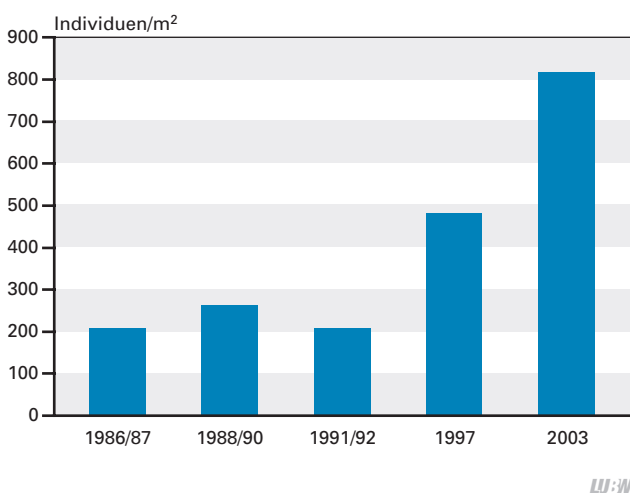


Abb. 8.4-3: Zeitliche Entwicklung der Individuendichten von Springschwanzarten im Schwarzwald mit Verbreitungsschwerpunkt in Südeuropa [BALKENHOL 2007].

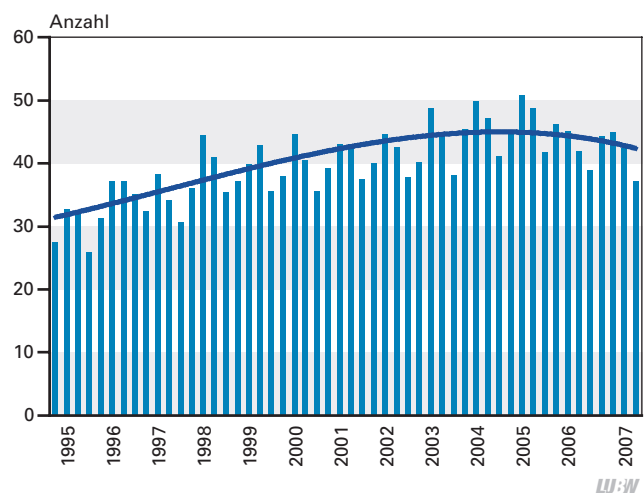


Abb. 8.4-4: Mittlere Artenzahlentwicklung des Makrozoobenthos an 30 Dauerbeobachtungsstellen des Trendbiomonitorings in Fließgewässern Baden-Württembergs 1995 bis 2007 (– Trend). Stand: 2009



36 eingeschleppte oder eingewanderte Arten z. B. der Höckerflohkrebs sind z. T. invasiv und verdrängen die Einheimischen. Besonders betroffen sind Rhein und Neckar, in denen die Neozoen über den Schiffstransport durch Anheftung am Rumpf und mit dem Ballastwasser aus anderen Flussgebieten eingeschleppt werden [LFU 2004d].

160 der nachgewiesenen Arten (23 %) sind gefährdet (Abb. 8.4-5). Jagst und Kocher haben die höchsten Anteile Roter Liste Arten (zu den Veränderungen infolge Klimaerwärmung vgl. Kapitel 3.3.3).

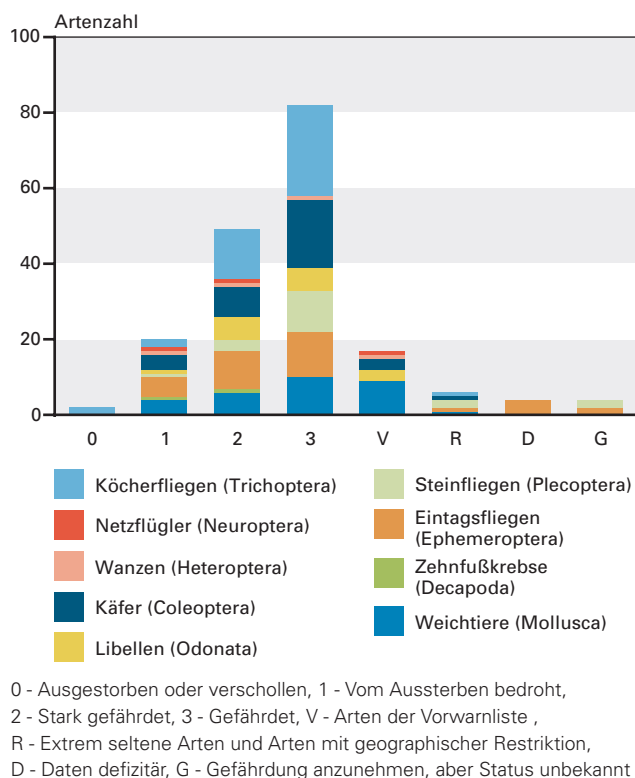


Abb. 8.4-5: Verteilung der Arten des Makrozoobenthos auf die Gefährdungskategorien der Roten Liste gefährdeter Tiere Deutschlands (Kategorien und Einstufungen nach [BINOT et al. 1998]). Stand: 2009

#### 8.4.2 ANREICHERUNG UND WIRKUNG CHEMISCHER STOFFE IN DER UMWELT

##### PLATINGRUPPENELEMENTE AM AUTOBAHNRAND

Fahrzeugkatalysatoren führen an Straßenrändern seit Mitte der 1980er Jahre zu Ablagerungen von Platin, Palladium und Rhodium auf Pflanzen und Böden. Ziel der Untersuchung ist es, mit Hilfe des Bioindikators „standardisierte Graskultur“ die Entwicklung der Immissionen dieser Edelmetalle zu beobachten. Seit Beginn der Messungen Ende der 1990er Jahre haben sich die Gehalte von Platin und

Rhodium in Graskulturen nicht geändert (Abb. 8.4-6). Dagegen steigen die Gehalte von Palladium seit 1999 deutlich an.

Bereits drei Meter vom Autobahnrand entfernt nehmen die Edelmetallgehalte schnell ab. Gegen die Hauptwindrichtung (Luv) sind die Konzentrationen kleiner als auf der vom Wind abgewandten Seite (Lee).

Platin kann in Form feinstverteilter Metallpartikel toxische Wirkungen haben und als Salz eine Atemwegsallergie auslösen [ROSNER et al. 1998, VON DER TRENCK et al. 2004]. Offene Fragen sind die chemische Charakterisierung der Edelmetalle in Kfz-Emissionen und deren Wirkung auf Mensch und Umwelt sowie die Bilanzierung der entsprechenden Stoffflüsse.

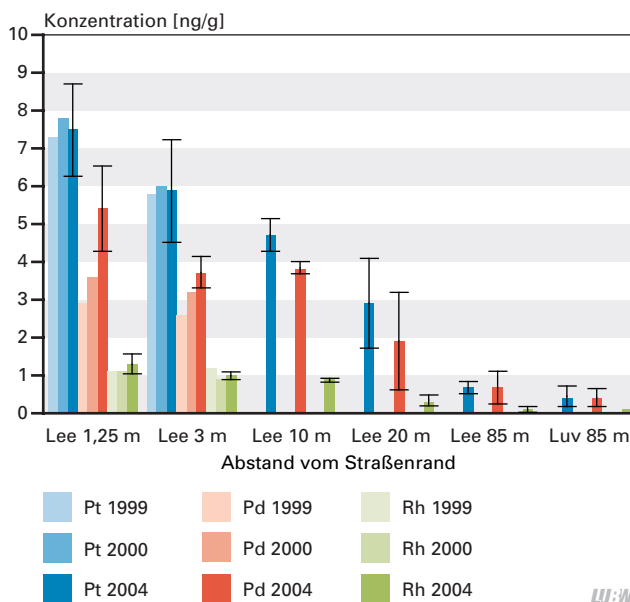


Abb. 8.4-6: Zeitlicher Trend und lokale Ausdehnung der Edelmetall-Immission an Bundesautobahnen; Gehalte von Platingruppenelementen in Graskulturen in den Jahren 1999 bis 2004; Pt – Platin; Pd – Palladium; Rh – Rhodium; Stand: 2008

##### ORGANOHALOGENVERBINDUNGEN IN VOGELEIERN

Schadstoffgehalte in Vogeleiern sind ein Indikator für die stoffliche Belastung des artspezifischen Lebensraums (Schadstoffökologie). Die seit den 1970er Jahren verbotenen Organochlorverbindungen sind hier dauerhaft nachweisbar. Sie gehören zur Gruppe der „persistent organic pollutants“ (POP), die nach der Stockholmer Konvention seit 2001 weltweit überwacht werden. Ziel der Untersuchungen ist es, mit Hilfe von Vogeleiern als Bioindikator den zeitlichen Trend dieser Stoffgruppe zu verfolgen und die Einzelverbindungen toxikologisch zu gewichten. Die Konzentration dieser Stoffe ist bei Wanderfalken am höch-



ten. Wanderfalken ernähren sich im Unterschied zu anderen Greifvögeln nur von Vögeln. Die höchste Priorität von 80 untersuchten Verbindungen kommt aufgrund ihrer dioxinartigen Wirkung den polychlorierten Biphenylen (PCB) zu [VON DER TRENCK et al. 2006, 2007, 2008].

Aktuelle Untersuchungen an 18 Wanderfalkeneiern, Eier ohne Bruterfolg, mit Hilfe eines Zelltests (CALUX®) ergaben, dass die dioxinartigen Wirkungen den Grenzwert für Hühnereier in allen Proben drastisch überschreiten. In der Hälfte der untersuchten Eier wurde sogar die Wirkschwelle überschritten und überdies traten starke östrogen- und anti-androgenartige Wirkungen auf. Aus der guten Korrelation der mittels Zelltest gemessenen Dioxinaktivität mit den Ergebnissen der instrumentellen Analytik folgt, dass PCB-Metaboliten und bromierte Kongenere keinen nennenswerten Beitrag zur dioxinartigen Wirkung leisten [VON DER TRENCK et al. 2008]. Die toxischen Wirkungen der wichtigsten POPs sind noch zu bewerten. Wegen der hormonartigen Wirkungen der meisten POPs ist zu klären, welche Anteile der Umweltbelastung einer historischen Altlast zugerechnet werden können und welche Anteile neu hinzukommen.

#### 8.4.3 GENTECHNISCH VERÄNDERTE ORGANISMEN

Für Baden-Württemberg sind im Standortregister des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit drei Standorte gelistet, für die seit 1997 in der Vergangenheit Freisetzungen mit gentechnisch verändertem Raps (GV-Raps) gemeldet wurden. Eine zusätzliche Verbreitung ist über Transportverluste von transgenem Samen bzw. über die Ausbringung von mit transgenem Samen kontaminiertem konventionellem Saatgut möglich. Transgener Raps besitzt die Fähigkeit zur Ausbreitung, Auskreuzung und Verwildern und hat somit ein Potenzial für Umweltwirkungen. In ganz Baden-Württemberg wird seit 2005 die Verbreitung von GV-Raps bzw. die Hybridisierung von GV-Raps mit in der Natur vorkommenden Brassicaceen-Arten (Kreuzblütler) molekularbiologisch untersucht. Dazu wurden in den Jahren 2005 und 2006 Brassicaceen-Populationen kartiert und 62 Blattproben entnommen (39% *Sinapis arvensis*, 19% *Sinapis alba*, 42% andere Arten). Es wurden solche Brassicaceen-Arten beprobt, die bekanntermaßen mit Raps hybridisieren können. Die Untersuchung der Blattproben auf Einkreuzen spezifischer Genabschnitte aus transgenem Raps erfolgte nach Vervielfältigung der Erbsubstanz DNA mittels Polymerase-Kettenreaktion. Im Ergebnis wurden in keiner der 62

Pflanzenproben spezifische Genabschnitte von gentechnisch verändertem Raps nachgewiesen. Es ist davon auszugehen, dass zukünftig weitere gentechnisch veränderte Organismen freigesetzt bzw. in Verkehr gebracht werden. Die LUBW wird die Umweltwirkungen dieser Organismen auch weiter beobachten.

#### 8.4.4 VERSAUERUNG

Unter Versauerung versteht man die Erhöhung der Wasserstoffionenkonzentration in der Umwelt durch die Einwirkung von Säuren. Atmosphärische Säurebildner wie Schwefeldioxid, verschiedene Stickstoffoxide und Ammoniak werden vorrangig vom Menschen durch Industrie, Verkehr, intensive Landwirtschaft und Hausbrand emittiert. Natürliche Freisetzungen stammen z. B. aus Vulkanen, Waldbränden und Blitzen. Es gibt außerdem natürliche Säurebildungsprozesse in Böden wie z. B. Kohlensäurebildung durch Wurzelatmung und Humusabbau (Abb. 8.4-7). Auch kann die land- und forstwirtschaftliche Ernte durch Entzug von Kalzium, Magnesium und Kalium zur Versauerung beitragen.

Für eine Bewertung der aktuellen Versauerungssituation wurden die in verschiedenen Messnetzen und Katastern

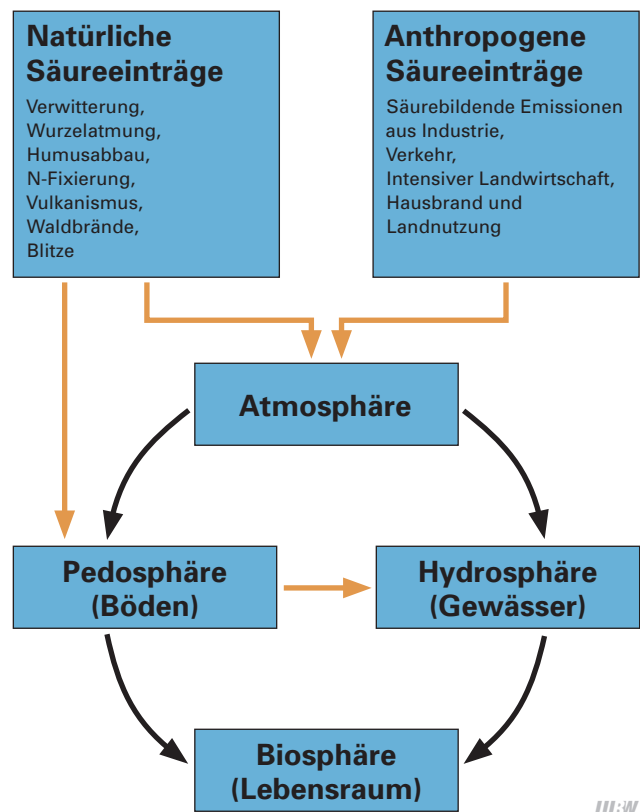


Abb. 8.4-7: Schematische Darstellung von Säureeinträgen und ihrer Wirkung auf die Umwelt. Stand: 2009

der LUBW erhobenen Daten zusammengeführt und medienübergreifend ausgewertet [LUBW 2009b]. Im Einzelnen sind dies Daten der Luft-, Boden-, Grundwasser- und Fließgewässermessnetze, sowie der Biologischen Umweltbeobachtung und des Emissionskatasters.

Die für die Versauerung in den 1980er Jahren mengenmäßig bedeutsamen Schwefeldioxidemissionen sind aufgrund von Luftreinhaltemaßnahmen in den letzten Jahrzehnten deutlich zurückgegangen (vgl. Abb. 4.3-17). Säureempfindliche Flechtenarten konnten aufgrund dieses Rückgangs landesweit zunehmen. Dies ist auch aus dem Rückgang der Sulfatdeposition unmittelbar erkennbar (vgl. Abb. 4.4-3). Anders verhält es sich beim säurebildenden Stickstoff. Hier konnte nur ein leichter Rückgang bei Stickstoffoxiden gemessen werden (vgl. Abb. 4.3-6). Auch die Ammoniakemissionen konnten noch nicht reduziert werden.

Die Versauerung bewirkt die Abnahme der Bodenfruchtbarkeit. Zudem können toxisches Aluminium und Schwermetalle wie Cadmium, Blei und Zink freigesetzt werden. Die Metalle werden von Bodentieren aufgenommen und angereichert oder gelangen in Seen und Bäche, wo sie sich u. a. in der Leber von Fischen anreichern. Sowohl bei Fischen und Amphibien als auch bei Regenwürmern zeigen die Messergebnisse eine Verbesserung der Lebensbedingungen im Vergleich zu den 1980er und 1990er Jahren [LUBW 2009b].

Eine Besserung der Gewässerversauerung in den letzten Jahrzehnten zeigt auch das Makrozoobenthos. Zu dieser Organismengruppe gehören alle benthischen, d. h. am Boden lebenden, mit bloßem Auge sichtbaren, wirbellosen Gewässertiere wie Krebse, Insekten, Schnecken, Muscheln, Würmer, Egel, Strudelwürmer und Schwämme. Das Makrozoobenthos ist in der Lage, anthropogen bedingte Störungen durch veränderte strukturelle und funktionale Zusammensetzung der Biozönose anzuzeigen und ermöglicht damit eine Bewertung von Fließgewässern.

Bei den versauerungsgefährdeten Fließgewässertypen der grob- und feinmaterialreichen, silikatischen Mittelgebirgsbäche weisen etwa 63 % der Probestellen in der 5-stufigen Skala einen nicht sauren Zustand (Säureklasse 1) auf, während 37 % der Probestellen einen überwiegend neutralen bis episodisch schwach sauren Säurezustand (Säureklasse 2) indizieren (Abb. 8.4-8).

Im Vergleich zu früheren Untersuchungen ist eine gravierende Versauerung nicht mehr festzustellen. 1995 waren

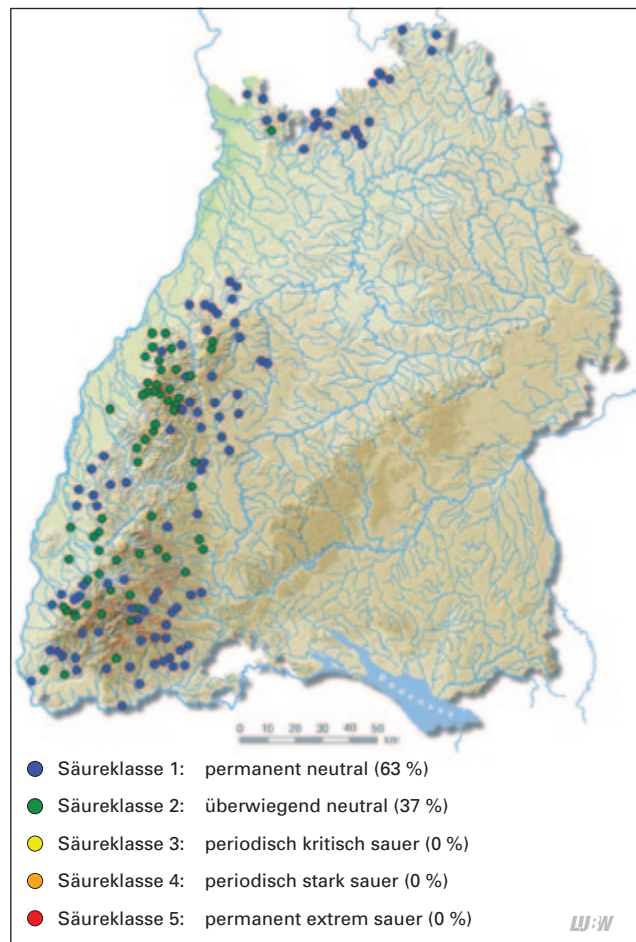


Abb. 8.4-8: Mittels Makrozoobenthos indizierter Säurezustand in versauerungsempfindlichen Gebieten. Stand 2008

noch rund ein Viertel der untersuchten Gewässer als periodisch saure Gewässer (15 %) bzw. permanent saure Gewässer (11 %) eingestuft worden.

Der für den pH-Wert festgelegte Orientierungswert für Fließgewässer der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser von 6,5 wird in aller Regel eingehalten. Das zusätzlich an wenigen ausgewählten Oberläufen bereits seit Mitte der 1980er Jahre durchgeführte Sonderuntersuchungsprogramm zeigt, dass in kleinen Gewässern auch heute noch deutlich geringere pH-Werte besonders nach Schneeschmelzen und Starkregen beobachtet werden können. Allerdings zeichnet sich dort teilweise eine Verbesserung der Versauerungssituation ab. Dies ist in Abbildung 8.4-9 exemplarisch anhand der für die beiden Oberlauf-Messstellen Goldersbach im Südschwarzwald und Dürreychbach im Nordschwarzwald vorgefundenen Minimalwerte dargestellt.

Ein Teil des Niederschlages sickert durch die Böden und bildet Grundwasser. Bei der landesweiten Untersuchung von Grund- und Quellwasser im Herbst 2007 wurde der untere Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) von

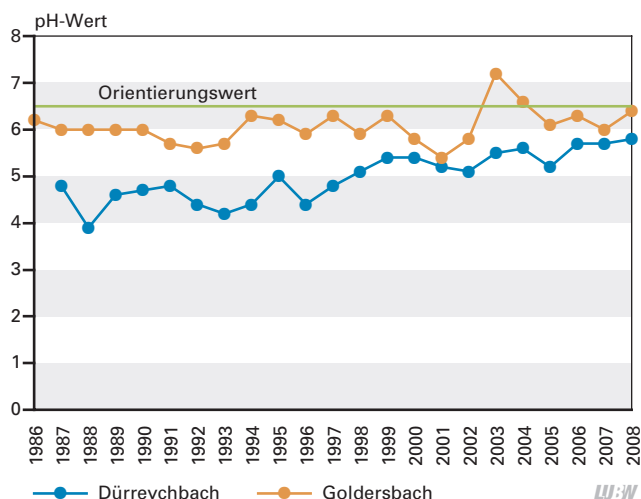


Abb. 8.4-9: Entwicklung der pH-Werte in Goldersbach und Dürreychbach (jährliche Minima). Stand: 2009

pH 6,5 nur an 7,8 % der 2 332 untersuchten Landesmessstellen unterschritten. Die Unterschreitungen, meist an Quellen, liegen nahezu alle im westlichen Landesteil in den bewaldeten Festgesteinen von Schwarzwald und Odenwald (Buntsandstein, Kristallin, Rotliegendes). Damit ist die Versauerung von Grund und Quellwasser kein landesweites Problem, sondern beschränkt sich auf etwa 21 % der Landesfläche. Die landesweiten Minima mit pH-Werten unter 5 werden an vier Quellen im Nordschwarzwald und im Odenwald gemessen. Der niedrigste pH-Wert lag bei 4,5. Um die zeitliche Entwicklung des pH-Wertes der Quellwässer beurteilen zu können, wurde ein Teilkollektiv der Quellen ausgewertet, bei denen zumindest einmal ein pH-Wert kleiner 6,5 gemessen wurde (Abb. 8.4-10). Bei 35 % dieser Quellen zeigten die Minima der pH-Werte zwischen 1994 bis 1996 und 2005 bis 2007 eine Zunahme um mehr als 0,2 Einheiten, und bei 19 % der Quellen wiesen die pH-Werte eine Abnahme um mehr als 0,2 Einheiten auf. An 46 % der Quellen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

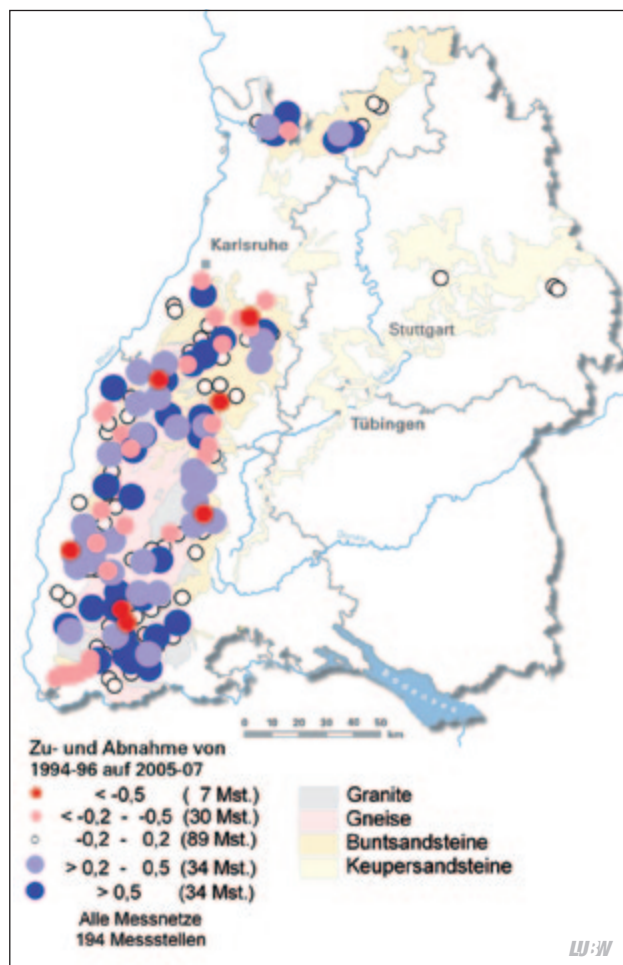


Abb. 8.4-10: Differenzen der niedrigsten pH-Werte in den Zeiträumen 2005 bis 2007 gegenüber 1994 bis 1996, 194 Messstellen mit mindestens einem pH-Wert unter 6,5 in den jeweiligen Zeiträumen. Stand: 2008

Tabelle 8.4-1 fasst die Ergebnisse für die großflächig natürlich pufferarmen und sauren Gebiete zusammen. Weitere eher kleinflächig betroffene Gebiete sind Flächen mit sandigen Böden im Keuperbergland, im Rheintal und im Alpenvorland.

In den pufferarmen Gebieten muss neben den atmosphä-

Tab. 8.4-1: Zustand und Trend der Versauerung in pufferarmen Gebieten Baden-Württembergs. Stand: 2009

	Natürliche Säurepufferkapazität	Einfluss Ernteentzug	Trend der Versauerung seit den 1980er Jahren		
			Säureeinträge	Organismen	Gewässer
Odenwald	---	-	++	+	+
Nördlicher Schwarzwald	---	--	++	+	+
Mittlerer Schwarzwald	--	--	++	[0]	+
Südlicher Schwarzwald	-	-	++	[0]	0

Natürlicher Versauerungszustand: --- sehr gering, -- gering, - gering bis mittel  
 Einfluss Ernteentzug: -- groß, - gering  
 Trend Säureeinträge: ++ Säureeinträge haben stark abgenommen  
 Trend Organismen: + einzelne empfindliche Organismengruppen haben sich erholt  
 [0] wenig Beobachtungen verfügbar  
 Trend Gewässer: + Häufigkeit niedriger pH-Werte nimmt ab, 0 keine deutliche Entwicklung.

rischen Säureeinträgen in Höhe von aktuell ca. 1,5 Kilmol-Säureäquivalent je Hektar und Jahr (kmolc/ha/a) zunehmend auch der Landnutzungseinfluss vor allem durch Ernteentzug beachtet werden. Auch die Holzernte im Wald kann eine merkliche Versauerung in der Höhe von 0,1 bis 1,3 kmolc/ha/a bewirken.

## INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Standortregister zu gentechnisch veränderten Organismen beim Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit:

<http://www.bvl.bund.de>

## 8.5 WALD

Der Wald ist eines der wertvollsten großflächigen terrestrischen 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. Durch die Förderung der Clusterinitiative „Forst und Holz“ wurde im Jahr 2006 mit Leistungen und Lieferungen im Wert von 32 Mrd. € und 206 723 Gesamtbeschäftigten die Nutzung des Potenzials des Waldes als Einkommensquelle und Arbeitsplatz erfolgreich ausgebaut (zu Holz als nachwachsendem Rohstoff vgl. Kap. 2.1.2). Das baden-württembergische Waldgesetz regelt, 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.

### 8.5.1 WALDFLÄCHE UND -EIGENTUM

Baden-Württemberg weist eine Waldfläche von rund 1,4 Mio. ha auf, das sind 38 % der Landesfläche. Das Land zählt damit zu den walddreichen Bundesländern.

Der Wald verteilt sich jedoch nicht gleichmäßig über die Landesfläche. Besonders walddreiche Regionen wie der Schwarzwald, der Odenwald oder der Schwäbisch-Fränkische Wald stehen walddarmen Ballungsräumen, wie Stuttgart, Karlsruhe, Heidelberg-Mannheim-Ludwigshafen und dem Rheintal gegenüber.

### 8.5.1.1 WALDEIGENTUM

Baden-Württemberg ist das Land des Körperschafts- und Privatwaldes. 38 % des Waldes sind im Eigentum der Städte und Gemeinden (Körperschaften), der Privatwald macht 37 % der Gesamtwaldfläche aus. 24 % gehören als Staatswald dem Land Baden-Württemberg und 1 % der Bundesrepublik Deutschland.

### 8.5.1.2 ENTWICKLUNG DER WALDFLÄCHE

Der Waldanteil in den walddreichen Landschaften wächst stetig durch Neuaufforstungen und natürliche Wiederbewaldung auf ehemals landwirtschaftlichen Flächen. In den relativ walddarmen Verdichtungsräumen sind durch Siedlungs- und Verkehrsentwicklung die größten Waldverluste zu verzeichnen. Die ökologischen Beeinträchtigungen der Waldflächen in den Verdichtungsräumen kann durch die Waldflächenzunahme im ländlichen Raum nicht ausglich werden. Eine schleichende Entwicklung mit negativen Auswirkungen auf die Waldökosysteme ist die Zerstückelung zusammenhängender Waldflächen durch Straßen-, Schienen- und Leitungstrassen in immer kleinere Einheiten.

### 8.5.2 SCHUTZ- UND ERHOLUNGSFUNKTIONEN VON WÄLDERN

Dem Wald kommt in Zeiten zunehmender Besiedelung und steigender Umweltbelastungen eine wichtige Rolle im Schutz der Lebensgrundlagen zu. Der Wald erfüllt in großen Teilen der Waldfläche Baden-Württembergs auf derselben Fläche mehrere Funktionen. Die Ergebnisse der Waldfunktionenkartierung werden, ebenso wie die der Waldbiotopkartierung in der Waldfunktionenkarte dargestellt.

### 8.5.2.1 WÄLDER MIT BESONDERER BEDEUTUNG FÜR DEN BIOTOP- UND ARTENSCHUTZ

Die Wälder haben 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 (Tab. 8.5-1).

Die baden-württembergische Waldbiotopkartierung erfasst und dokumentiert seltene und gefährdete Biotope. Diese haben einen Anteil von rund 6 % an der gesamten Waldfläche. Die Waldbiotopkartierung wird laufend aktualisiert und präzisiert und bildet mit ihrem Datenpool ei-



Tab. 8.5-1: Geschützte und naturschutzwichtige Waldflächen. Quelle: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) 1/2009

Schutzkategorie		Hektar	Prozent des Gesamtwaldes
Waldschutzgebiete nach § 32 Landeswaldgesetz	Bannwald	6 661	0,5
	Schonwald	17 660	1,3
	Wald in Kernzonen Biosphärengebiet	2 645	0,2
Wald in Schutzgebieten nach Naturschutzgesetz	Wald in Naturschutzgebieten	45 742	3,3
	Wald in Landschaftsschutzgebieten	454 264	32,8
	Wald in Naturparken	660 070	47,6
Waldbiotop	Waldbiotop nach § 32 Naturschutzgesetz	40 006	2,9
	Waldbiotop nach § 30a Landeswaldgesetz	19 295	1,4
	Sonstige seltene Waldbiotop	22 646	1,6
Wald in Natura 2000-Gebieten	FFH-Gebiete	384 996	27,8
Naturschutzwichtige Flächen im Wald (überlagerungsbereinigt)		1 044 805	75,4
Gesamtwaldfläche		1 386 200	

ne wichtige Grundlage zur naturschutzfachlichen Planung. Sie leistet einen wichtigen Beitrag zur Gebietsauswahl und Bewertung nach der FFH-Richtlinie und stellt zusätzlich die hochwertigen geschützten Biotop auf der gesamten Waldfläche dar, womit sie z. B. eine Einschätzung des Vernetzungsgrades ermöglicht.

Rund zwei Drittel der als FFH-Gebiet ausgewiesenen Fläche ist Wald (ca. 266 000 ha). Die großflächig vorkommenden Buchenwald-Lebensraumtypen bilden mit 88 % einen deutlichen Schwerpunkt der Waldlebensraumtypen innerhalb der FFH-Gebiete. Andere Waldlebensraumtypen wie Hang- und Schluchtwälder, Eichen-Hainbuchen-Wälder oder Erlen-Eschen-Wälder sind aufgrund ihrer geringeren natürlichen Vorkommen nur mit 12 % Flächenanteil repräsentiert (Tab. 8.5-2).

Das Waldschutzgebietsprogramm der Landesforstverwaltung umfasst die Ausweisung, den Schutz und die Pflege von Bann- und Schonwäldern. Diese Waldschutzgebiete auf der Grundlage des Landeswaldgesetzes (LWaldG) 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 (Tab. 8.5-1).

#### 8.5.2.2 WEITERE SCHUTZFUNKTIONEN DER WÄLDER

Wälder erfüllen weitere vielfältige Schutzfunktionen (Abb. 8.5-1):

- Bodenschutzwald soll seinen Standort sowie benachbarte Flächen vor den Auswirkungen von Wasser- und Winderosion, Steinschlag, Rutschvorgängen und Bodenkriechen schützen.
- Wasserschutzwald leistet einen wertvollen Beitrag zur Reinhaltung des Grundwassers sowie stehender und fließender Oberflächengewässer, da in Wäldern i. d. R. weder Verschmutzungsquellen vorhanden sind noch der Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln stattfindet. Weiterhin wirken Wälder ausgleichend und stabilisierend auf den Wasserhaushalt und auf Temperaturextreme.
- Durch die Bewahrung von Temperaturunterschieden zwischen Wald und Siedlung können zusammenhängende Waldflächen in der Nähe von Siedlungsschwerpunkten vor allem im Sommer das Bioklima im Siedlungsbereich verbessern, da sie zu einem horizontalen Luftaustausch führen (regionaler Klimaschutzwald). Lokale Klimaschutzwälder bewahren Siedlungen, Straßen und landwirtschaftliche Nutzflächen vor Kaltluftschäden und starkem Wind.

Tab. 8.5-2: Waldflächen und Lebensraumtypen in FFH-Gebieten. Quelle: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) 2008

Waldflächen in FFH-Gebieten	266 688 ha
Wald-Lebensraumtypen nach FFH:	98 196 ha
Buchenwald-Lebensraumtypen nach FFH	86 623 ha
nicht-Buchenwald-Lebensraumtypen nach FFH	11 573 ha
sonstige Waldfläche in FFH-Gebieten	168 492 ha



- Waldbäume können aufgrund der großen Oberfläche ihrer Nadel- und Blattoberflächen große Mengen an Schadstoffen und (Fein-)Stäuben aus der Luft herausfiltern und dienen so dem Immissionsschutz.
- Weiterhin spielt Wald in dicht besiedelten Gegenden und in frequentierten Tourismusregionen eine wichtige Rolle als Erholungsraum.

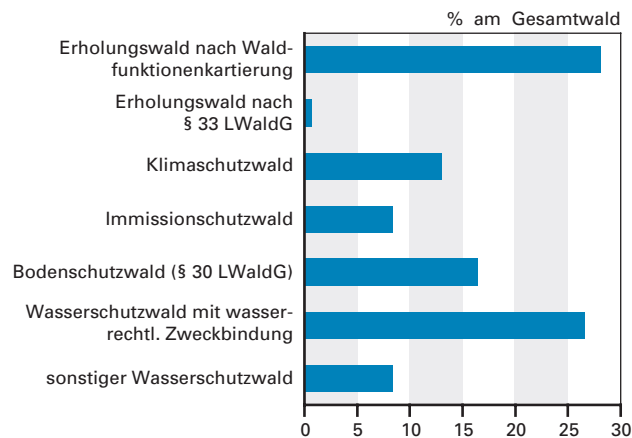


Abb. 8.5-1: Anteile Schutz- und Erholungswald an der Gesamtwaldfläche. Quelle: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) 2009

### 8.5.3 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, pfleglichen, 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.

#### 8.5.3.1 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 Erholungsfunktionen erfüllt. Ausreichende ökologische und physikalische Stabilität der Wälder sind dabei auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht die Grundvoraussetzung.

Das Konzept „Naturnahe Waldwirtschaft“ umfasst im Einzelnen die folgenden Ziele und Maßnahmen:

- **Naturnähe:** Baumartenzusammensetzung der Wirtschaftswälder orientiert sich am Naturwald.
- **Gemischte und stufige Wälder:** Stabile Mischbestände, die das naturräumliche Potenzial (Boden, Nährstoff- und Wasserreserven) effizienter ausnutzen.
- **Natürliche Waldverjüngung:** Das Potenzial der Wälder zur natürlichen Verjüngung wird konsequent genutzt.
- **Pflege der Wälder:** Pflegemaßnahmen sorgen für eine Vielfalt der Strukturen und Arten und stellen sicher, dass die angestrebte Baumartenmischung sowie qualitativ hochwertige und ertragsreiche Bestände erreicht werden.
- **Wald- und wildgerechte Jagd:** Angepasste Wildbestände durch effiziente und wildgerechte Bejagung.
- **Integrierter Waldschutz:** Konsequente Vorbeugung, sowie eine Kombination biologischer und technischer Verfahren lassen den chemischen Pflanzenschutz im Wald nur als letztes Mittel in Betracht kommen, um schwerwiegende Gefahren und wirtschaftliche Schäden abzuwenden.
- **Pflegliche 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 Waldpflegemaßnahmen, 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.

#### 8.5.3.2 ERFOLGE NATURNAHER WALDWIRTSCHAFT

- 48,5 % der Wälder in Baden-Württemberg wurden bei der zweiten Bundeswaldinventur als „naturnah“ und „sehr naturnah“ eingestuft: der höchste Wert im gesamten Bundesgebiet.
- Die Anteile der für den Naturschutz wichtigen alten Wälder mit dicken Bäumen sind stark gestiegen. 43 % der Eichen und Tannen sowie 28 % des Buchenvorrates sind Bäume über 50 cm Durchmesser.

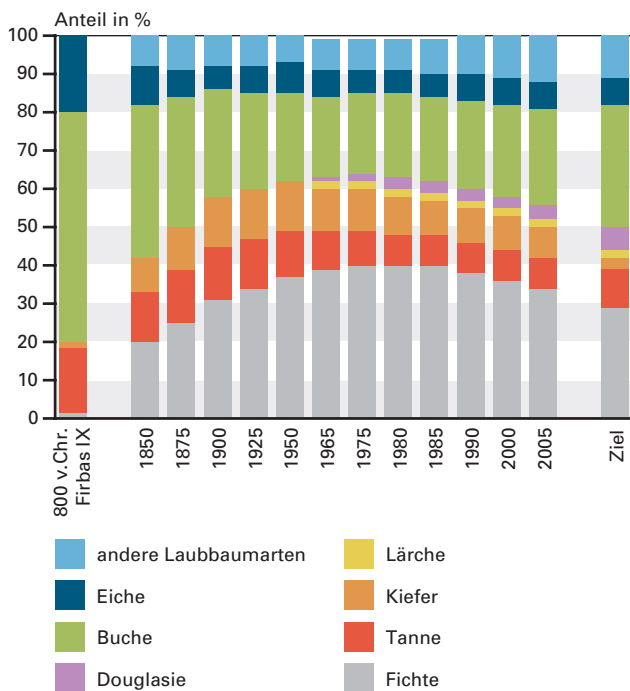


Abb.8.5-2: Baumartenentwicklung im öffentlichen Wald Baden-Württemberg, Quelle: Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum, Baden-Württemberg / Landesforstverwaltung 2007

- Die Totholzvorräte im Wald, Lebensräume für spezielle Tier- und Pflanzenarten, erreichen einen Durchschnittswert von 19,1 m<sup>3</sup>/ha.
- In den letzten 15 Jahren haben die Laubbäume um 6,7 % zugenommen. Ihr Anteil an der Gesamtwaldfläche liegt somit bei 43 %. Die Fichte ist auf 37,7 % zurückgegangen. Bereits seit 30 Jahren wird der Laubholzanteil im öffentlichen Wald kontinuierlich erhöht (Abb. 8.5-2). Es findet eine deutliche Erhöhung der Laubbaumanteile und dadurch eine Stabilisierung der Wälder gegen Schadeinflüsse statt. Auch die Sortimentsvielfalt bei der Holzproduktion wird erhöht.
- Die jungen Wälder von heute sind zu 87 % natürlich, also aus Naturverjüngung, entstanden.
- 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 schützenden Kronendach der alten Bäume.
- Dadurch entstehen stufige und strukturreiche Wälder – ein Plus für die ökologischen und gesellschaftlichen Wirkungen (z. B. Erholungsfunktion) des Waldes.

#### 8.5.4 WALD ALS KOHLENDIOXIDSPEICHER

Der Wald in Baden-Württemberg war zwischen 1987 und 2002 durch nicht genutzten Zuwachs eine Nettosenke für 30,5 Mio. t Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Die Nettospeicherung

von rund 77 Mio. t CO<sub>2</sub> in Wald und Holzprodukten hat ca. 6,6 % der Emissionen Baden-Württembergs zwischen 1987 und 2002 aus allen Bereichen kompensiert.

Wälder können in kurz- bis mittelfristigen Zeiträumen weiterhin als CO<sub>2</sub>-Senke genutzt werden. Auf die Dauer ist aber zu berücksichtigen, dass alle Waldökosysteme einem Fließgleichgewichtszustand zustreben, in dem dann kein zusätzlicher Kohlenstoff mehr eingelagert werden kann. Allerdings kann in bewirtschafteten Wäldern durch die Holzentnahme und anschließende Verarbeitung in langlebige Holzprodukte (z. B. Holzhäuser, Möbel usw.) eine langfristige Festlegung von CO<sub>2</sub> stattfinden. Weiterhin trägt Holz in erheblichem Maße zur Substitution fossiler Energieträger bei und kann in diesem Bereich dauerhaft einen positiven Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduktion leisten.

#### 8.5.5 GESUNDHEITZUSTAND DER WÄLDER

Der Waldzustand in Baden-Württemberg hat sich im Jahr 2008 deutlich verbessert. Der mittlere Nadel-/Blattverlust aller Bäume verringerte sich um 2,2 % auf 23,6 %. Damit setzt sich die 2007 einsetzende Erholung des Kronenzustandes weiter fort. Fünf Jahre nach der extremen Trockenstressbelastung im Sommer 2003 ist der mittlere Nadel-/Blattverlust über alle Baumarten erstmals wieder unter die 25 % Marke gefallen, wobei das Schadensausmaß aber weiterhin auf einem gegenüber der gesamten Zeitreihe deutlich erhöhten Schadniveau bleibt. Rund 35 % der Waldfläche gilt als deutlich geschädigt (Abb. 8.5-3), 5 % weniger

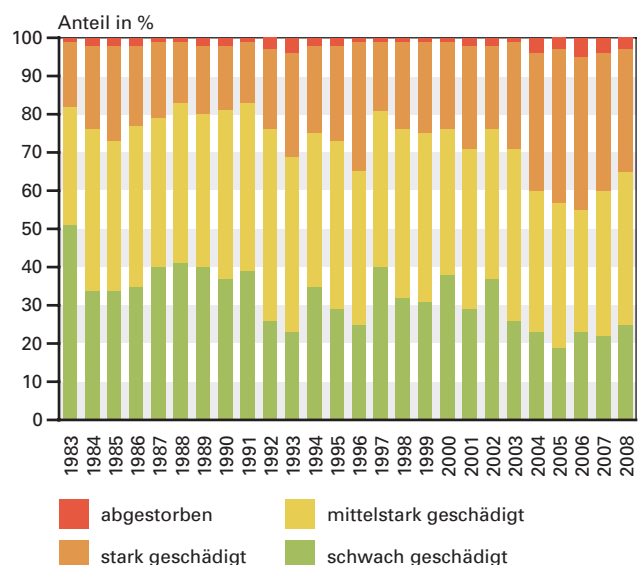


Abb.8.5-3: Entwicklung der Schadstufenanteile in Wäldern Baden-Württembergs. Quelle: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) 2008

als noch 2007. Die Waldfläche ohne erkennbare Schäden hat sich gegenüber dem Vorjahr um 3 % auf 25 % erhöht. Die Entwicklung des Kronenzustands ist baumartenspezifisch unterschiedlich. Der Kronenzustand von Buche und Fichte hat sich verbessert, wobei sich derjenige der Tanne und Kiefer gegenüber dem Vorjahr kaum verändert hat. Die Schädigung der Eichen stagniert weiterhin auf sehr hohem Niveau. Die relativ schwache Fruchtausbildung, wie auch die im Vergleich zu den letzten Jahren relativ geringen Schädlingsaktivitäten waren der Erholung des Kronenzustandes der Waldbäume zuträglich.

#### **8.5.5.1 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.

#### **8.5.5.2 SCHADSTOFFE IN DER LUFT UND IM NIEDER-SCHLAG**

Die Belastung der Wälder mit Luftschadstoffen ist weiterhin hoch. Durch Schadstoffeintrag (Deposition) mit dem Regen kommt es zu einer Versauerung von Waldböden und zu Störungen des Nährelementhaushalts. Dies führt zu einer langfristigen Destabilisierung der Waldökosysteme. Im Vergleich zum Freiland ist der Schadstoffeintrag in die Wälder im Mittel ca. zwei- bis dreimal so hoch, da Wälder mit ihrer großen Blatt- bzw. Nadeloberfläche Feinstäube und Aerosole aus der Luft herausfiltern. Wälder tragen so aktiv zur Luftreinhaltung bei.

#### **8.5.5.3 MASSNAHMEN ZUR SCHADENSBEKÄMPFUNG**

Bodenschutzkalkungen im Wald stellen eine umwelttechnische Vorsorgemaßnahme dar. Sie bewirken eine Kompensation der aktuellen Säureinträge und führen dem Boden und der Vegetation notwendige, zuvor ausgewaschene Nährstoffe wieder zu. Derartige vitalitätsfördernde Maßnahmen von Seiten der Waldbesitzer können die Ursache der Schädigungen allerdings nicht beseitigen.

#### **8.5.6 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 Stelle überprüft. 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 2008 waren es in Baden-Württemberg rund 82 % der Waldfläche. Rund 1,1 Mio. ha Wald sind nach dem Zertifizierungssystem PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes) und 81 343 ha Wald nach dem Zertifizierungssystem FSC (Forest Stewardship Council) ausgezeichnet. 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:  
[www.ml.r.baden-wuerttemberg.de](http://www.ml.r.baden-wuerttemberg.de)

Landesforstverwaltung:  
[www.wald-online-bw.de](http://www.wald-online-bw.de)

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg:  
[www.fva-bw.de](http://www.fva-bw.de)

Ergebnisse und Berichte zur Bundeswaldinventur:  
[www.bundeswaldinventur.de](http://www.bundeswaldinventur.de)

# 9 Abfallwirtschaft

## 9.1 VON DER ABFALLWIRTSCHAFT ZUR RESSOURCENWIRTSCHAFT

In der klassischen Abfallwirtschaft stand die schnelle und kostengünstige Beseitigung von Abfällen im Mittelpunkt. Die Beseitigung von Abfällen erfolgte in der Regel durch die Ablagerung auf Deponien oder durch die Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen zum Teil ohne Energienutzung. Eine nachhaltige Abfallwirtschaft setzt in erster Priorität auf die Vermeidung von Abfällen. Können Abfälle nicht vermieden werden, sind sie zu verwerten. Erst als letzte Möglichkeit ist eine Ablagerung von vorbehandelten Abfällen auf Deponien zulässig.

Abfälle können auf verschiedenen Wegen einer Verwertung zugeführt werden. Insbesondere sind folgende Verwertungswege zu nennen:

- Stoffliche Verwertung (z. B. Recycling von Bauabfällen, Altglas, Altpapier)
- Rohstoffliche Verwertung (z. B. Methanolgewinnung aus organischen Abfällen)
- Energetische Verwertung (z. B. Verbrennung von Abfällen unter Energienutzung zur Erzeugung von Strom und Wärme)

Die stoffliche, rohstoffliche und energetische Verwertung von Abfällen ist nicht nur ökologisch sinnvoll, sondern wird angesichts der weltweit steigenden Rohstoffpreise auch immer wirtschaftlicher, da Abfälle natürliche Ressourcen ersetzen können. Die steigenden Preise für natürliche Energieträger und Rohstoffe werden zur Folge haben, dass es sich auch wirtschaftlich lohnt, Abfälle aufzubereiten und als Sekundärrohstoffe bzw. Sekundärenergieträger zu vermarkten.

Abfall ist daher eine immer wichtiger werdende Ressource mit wachsender Bedeutung auch für die Energiegewinnung und den Klimaschutz, da heizwertreiche Abfälle fossile Energieträger ersetzen können.

Die Verwertung von Abfällen muss allerdings für die Umwelt schadlos erfolgen. Das bedeutet vor allem, dass es im Stoffkreislauf zu keinen Anreicherungen und Transfers von Schadstoffen kommen darf.

Die stoffliche Verwertung von Abfällen darf aber durch die

zunehmende Nutzung von Abfällen zur Energieerzeugung nicht vernachlässigt werden. So ist die stoffliche Verwertung von Abfällen zum Beispiel bei der Papier- und Glasherstellung nicht nur unter ökologischen Gesichtspunkten durch Einsparung von Energie und natürlichen Rohstoffen vorteilhaft, sondern auch wirtschaftlich interessant. Die stoffliche und energetische Nutzung von Abfällen müssen daher gleichrangige Optionen für die Verwertung von Abfällen darstellen.

Die Ablagerung von Abfällen auf Deponien soll zukünftig in der Abfallwirtschaft nur noch eine untergeordnete Bedeutung besitzen. Ein einschneidender Schritt hierzu ist das seit dem 1. Juni 2005 (nach zwölf Jahren Übergangszeit) geltende Ablagerungsverbot für unbehandelte Abfälle (AbfAbIV 2001). Seitdem dürfen nur noch vorbehandelte, weitgehend mineralisierte Abfälle auf Deponien abgelagert werden. Bis zum 1. Juni 2005 konnte zum Beispiel auch Hausmüll ohne Vorbehandlung deponiert werden.

Die Zeiten der Entsorgungsengpässe der 1980er und 1990er Jahre sind wahrscheinlich überwunden. Die auf Beseitigung ausgelegten Entsorgungsanlagen (z. B. Deponien) werden zukünftig eher weniger beaufschlagt.

## 9.2 ABFALLAUFKOMMEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Das gesamte Abfallaufkommen in Baden-Württemberg betrug im Jahr 2008 etwa 40,5 Mio. t, wobei der größte Anteil von rund 30,7 Mio. t aus Bauabfällen besteht. Damit ist das gesamte Abfallaufkommen im Vergleich zum Vorjahr um rund 5 % angestiegen. Das gesamte Abfallaufkommen liegt aber immer noch deutlich unter den Abfallmengen der 1990er Jahre (Abb. 9.2-1).

Die Entwicklung des gesamten Abfallaufkommens wird in besonderem Maße von den Bauabfallmengen geprägt. Im Jahr 2008 fielen in Baden-Württemberg rund 30,7 Mio. t an Bauabfällen (Bodenaushub, Bauschutt, Straßenaufbruch) an, was drei Viertel am gesamten Abfallaufkommen ausmacht. Die Bauabfälle bestehen überwiegend aus nicht verunreinigtem Bodenaushub sowie aus Bauschutt und Straßenaufbruch (Abb. 9.2-2).



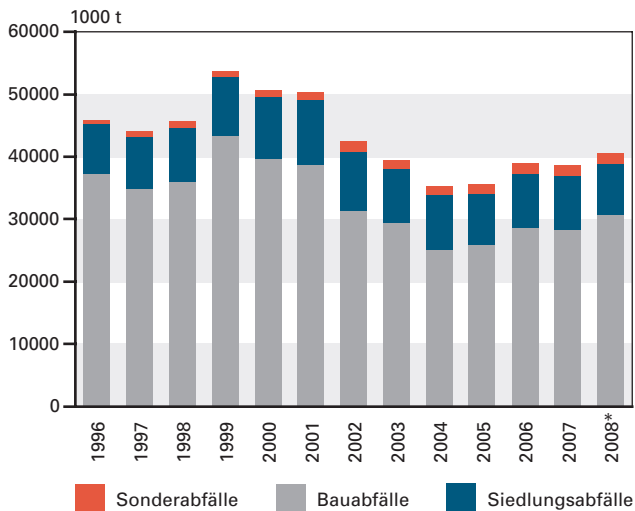


Abb. 9.2-1: Mengenentwicklung des gesamten Abfallaufkommens in Baden-Württemberg seit 1996. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

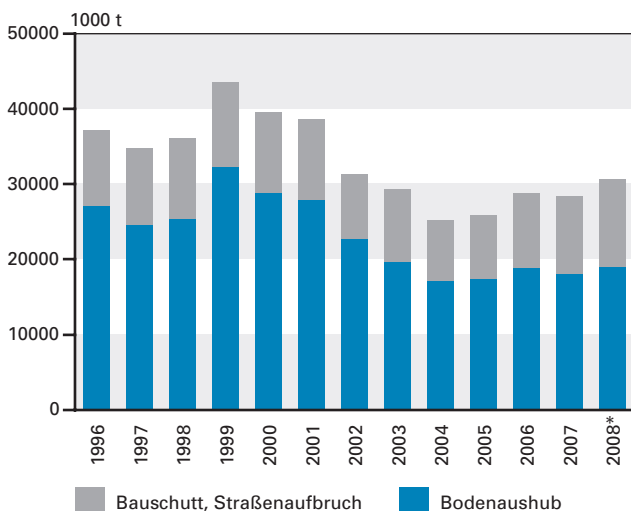
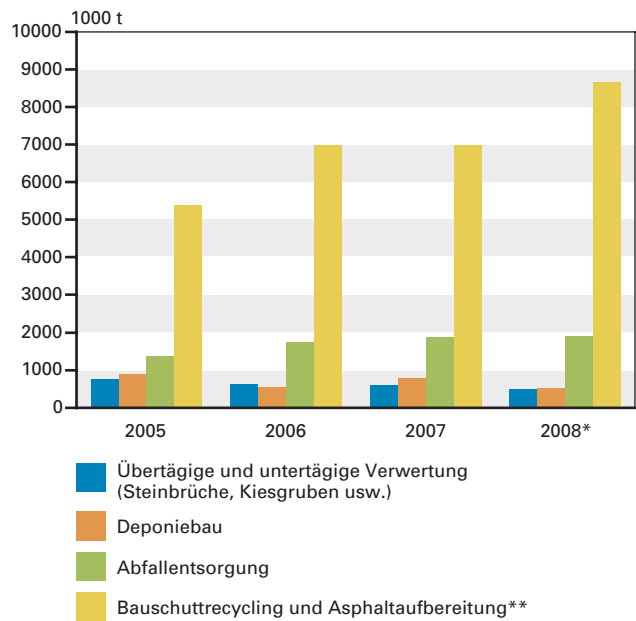


Abb. 9.2-2: Mengenentwicklung der Bauabfälle in Baden-Württemberg seit 1996. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

Aus Gründen der Ressourcenschonung und des Erhalts wertvollen Deponieraumes muss die Verwertung von Bauabfällen und Bodenaushub im Mittelpunkt einer nachhaltigen Umweltpolitik stehen. Ein Großteil des in Baden-Württemberg anfallenden Bauschutts und Straßenaufbruchs wird bereits verwertet. Die Verwertungsquote liegt derzeit bei über 70 % (Abb. 9.2-3).

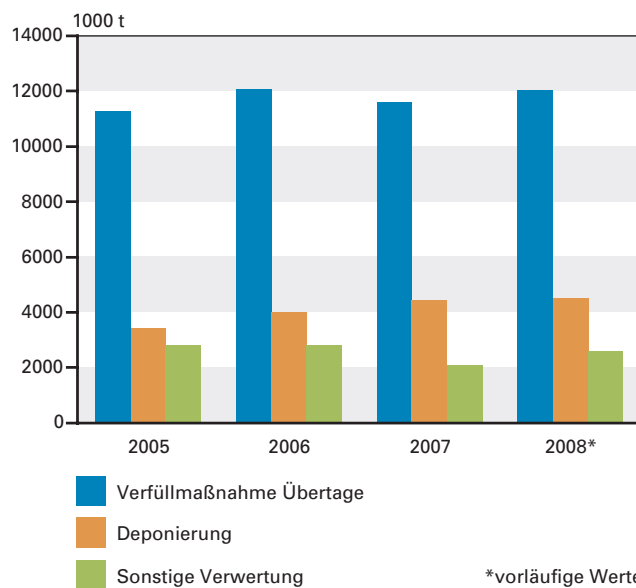
Der überwiegende Teil des Bodenaushubs wird im Rahmen von Verfüllmaßnahmen Übertage eingesetzt (Abb. 9.2-4).

Für die Umweltpolitik und die Öffentlichkeit sind die Abfallmengen, die den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern zur Entsorgung überlassen werden (kommunales Abfallaufkommen) und die gefährlichen Abfälle von besonderem Interesse. In Baden-Württemberg ist das kommunale Abfallaufkommen seit 1990 um fast 60 % zurückgegangen



\*vorläufige Werte; Berechnungsstand: Juli 2009  
\*\*keine Erhebung für 2005 und 2007, Daten des Vorjahres

Abb. 9.2-3: Entsorgungswege von Bauschutt und Straßenaufbruch in Baden-Württemberg seit 2005. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009



\*vorläufige Werte

Abb. 9.2-4: Entsorgung von Bodenaushub in Baden-Württemberg seit 2005. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

und betrug im Jahr 2008 nur noch rund 12,7 Mio. t. Den größten Anteil am Siedlungsabfallaufkommen haben auch hier die Baumassenabfälle, obwohl sie von über 22,8 Mio. t im Jahr 1990 auf 7,2 Mio. t im Jahr 2008 zurückgegangen sind. Auch der Haus- und Sperrmüll hat seit 1990 von 2,6 Mio. t auf etwa 1,5 Mio. t im Jahr 2008 abgenommen. Demgegenüber haben die Grün- und Bioabfälle sowie die Wertstoffe seit 1990 stetig zugenommen (Abb. 9.2-5). Das Abfallaufkommen ist von vielen Faktoren abhängig wie

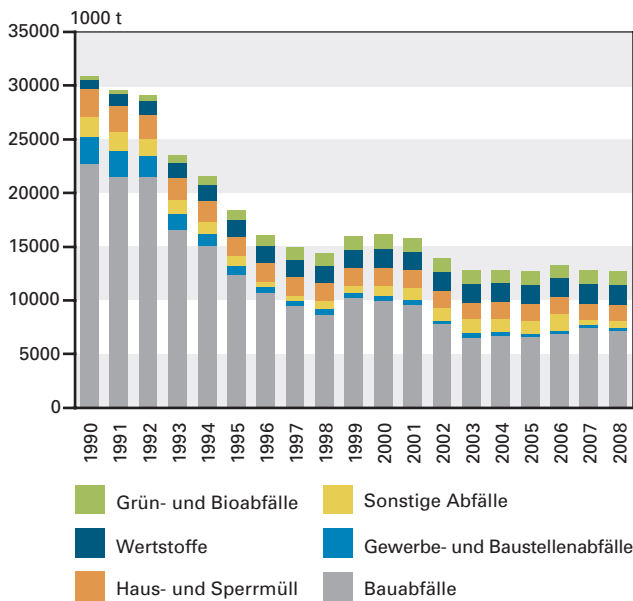


Abb. 9.2-5: Mengenentwicklung des kommunalen Abfallaufkommens in Baden-Württemberg seit 1990. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

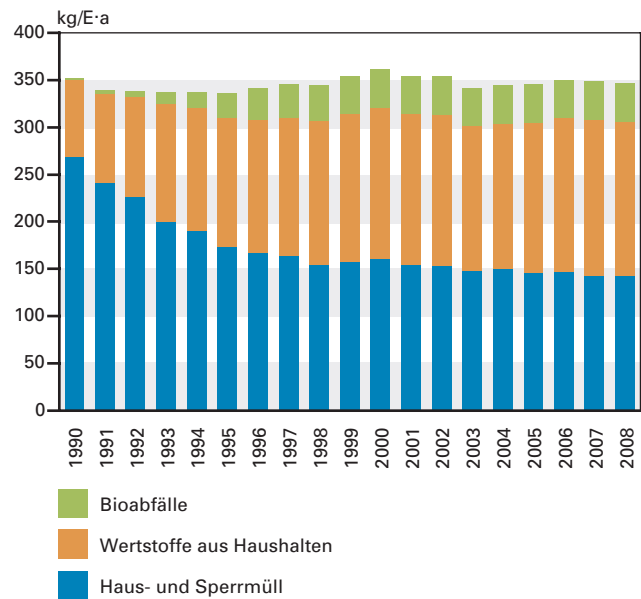


Abb. 9.2-6: Mengenentwicklung von Haus- und Sperrmüll, Bioabfällen und Wertstoffen aus Haushalten in Baden-Württemberg seit 1990. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

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 ( $\text{kg/E} \cdot \text{a}$ ) anzugeben.

In Baden-Württemberg ist das Haus- und Sperrmüllaufkommen von  $269 \text{ kg/E} \cdot \text{a}$  im Jahr 1990 auf  $143 \text{ kg/E} \cdot \text{a}$  im Jahr 2008 zurückgegangen. Auf Grund 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) liegt seit 1990 relativ konstant bei etwa  $346 \text{ kg/E} \cdot \text{a}$  (Abb. 9.2-6).

Seit 1990 ist eine deutliche Zunahme der getrennt erfassten Wertstoffmengen pro Einwohner beim Papier und Glas sowie bei den sonstigen Wertstoffen, wie z. B. Kunststoffe, Metalle, Holz, Verbunde und Textilien zu beobachten (Abb. 9.2-7).

Als gefährliche Abfälle werden nach § 41 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (Krw-/AbfG 1994) solche 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. Im Einzelnen sind dies die Abfallarten, die in der Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis mit einem (\*) gekennzeichnet sind. Die Entsorgung von gefährlichen

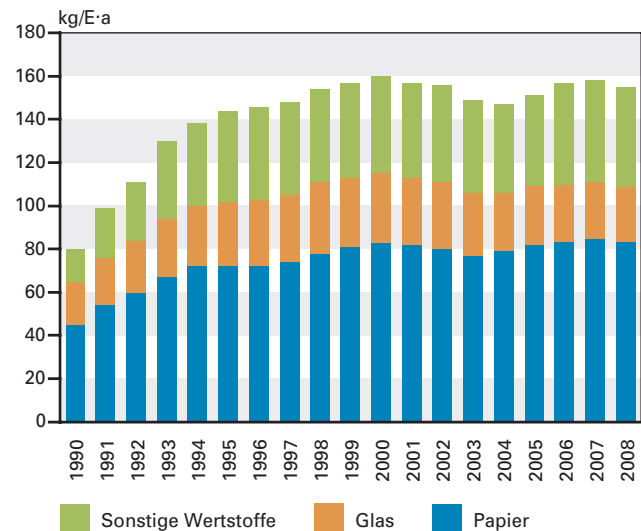


Abb. 9.2-7: Mengenentwicklung von Wertstoffen in Baden-Württemberg seit 1990. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

Abfällen unterliegt einer strengen Nachweispflicht. Das gesamte Aufkommen an gefährlichen Abfällen (einschließlich der Importe) in Baden-Württemberg hat sich seit 1994 von rund 600 000 t auf rund 2,5 Mio. t im Jahr 2008 mehr als vervierfacht.

Bei den in Baden-Württemberg anfallenden gefährlichen Abfällen ist seit 1994 eine ähnliche Entwicklung zu beobachten. Die Importe aus dem Ausland sind mengenmäßig nicht relevant (Abb. 9.2-8). Die Entwicklung der primären Mengen an gefährlichen Abfällen wird von einer Reihe Faktoren beeinflusst. Sie ist sowohl von der wirtschaftlichen

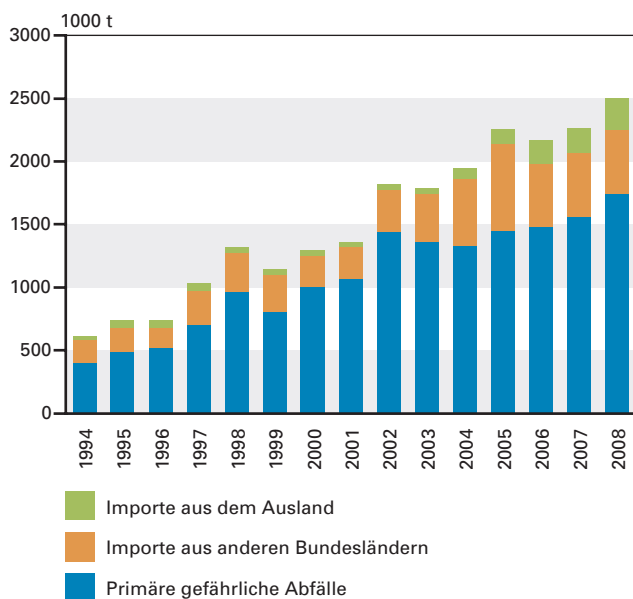


Abb. 9.2-8: Mengenentwicklung der gefährlichen Abfälle in Baden-Württemberg seit 1994. Quelle: SAA Sonderabfallagentur Baden-Württemberg GmbH 2009

Entwicklung im Land als auch von Änderungen im Abfallrecht abhängig. So ist der Anstieg der primären Mengen gefährlicher Abfälle seit 2002 vor allem auf die am 1. Januar 2002 in Kraft getretene Abfallverzeichnis-Verordnung zurückzuführen (AVV 2001). Durch die Verordnung wurden einige Abfallarten, die bisher nicht besonders überwachungsbedürftig waren, nun als besonders überwachungsbedürftig eingestuft und zählen damit zu den Sonderabfällen. 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 Mengen gefährlicher Abfälle führte.

### 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 1990 und 2008 ist die abgelagerte Abfallmenge (ohne Baurestmassen) auf Siedlungsabfalldeponien von knapp 5,8 Mio. t auf 91 000 t zurückgegangen. Im Zeitraum von 1990 bis 2007 hat sich die stoffliche Verwertung fast verdoppelt und betrug im Jahr 2008 rund 2 Mio. t. Eine ähnliche Entwicklung ist bei der biologischen Behandlung zu beobachten. Die Menge der biologisch behandelten Abfälle (insbesondere zu Kompost) stieg von über 400 000 t im Jahr 1990 auf mehr als 1,2 Mio. t im Jahr 2008 an und hat sich somit verdreifacht. Die Menge der thermisch und mechanisch-biologisch behandelten Abfälle nahm von rund 820 000 t im Jahr 1990 auf über 1,9 Mio. t im Jahr 2008 zu. Dieser vor allem seit 2004 zu verzeichnende Anstieg ist auf das seit dem 1. Juni

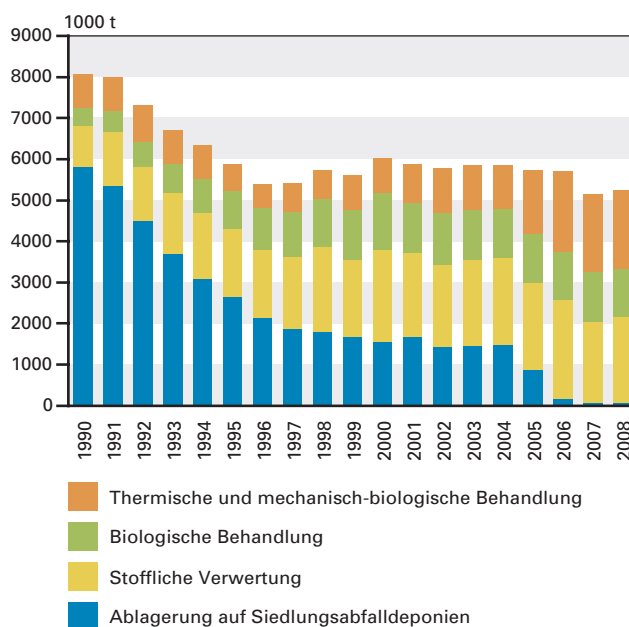


Abb. 9.3-1: Mengenentwicklung des kommunalen Abfallaufkommens (ohne Bauabfälle) in Baden-Württemberg seit 1990 nach Art der Entsorgung. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

2005 geltende Ablagerungsverbot für unbehandelte Abfälle zurückzuführen (Abb. 9.3-1).

### 9.3.1 ENTSORGUNG VON KLÄRSCHLAMM

Auch der in den 1 068 kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg anfallende Klärschlamm zählt zur Gruppe der Siedlungsabfälle. So fielen im Jahr 2008 bei der Abwasserreinigung 267 000 t Klärschlamm (Trockenmasse) an. Davon wurden 233 000 t verbrannt und 34 000 t stofflich verwertet (Landwirtschaft, Landschaftsbau, Kompostierung und Sonstige). Die Deponierung von Klärschlamm ist seit 1. Juni 2005 abfallrechtlich 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. 9.3-2).

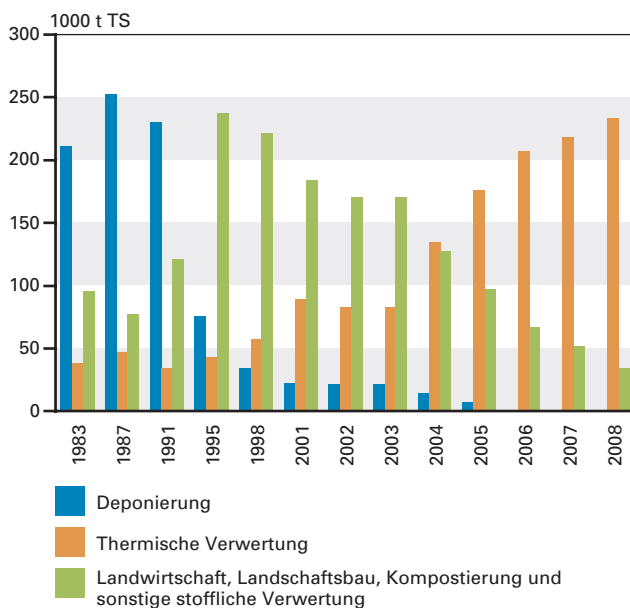


Abb. 9.3-2: Entsorgung kommunaler Klärschlämme in Baden-Württemberg seit 1983. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2009

### 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.

Eine mechanisch-biologische Behandlungsanlage zur Aufbereitung von Restabfällen wird auf der Deponie Kahlenberg (Ortenaukreis) betrieben.

Thermische Restabfallbehandlungsanlagen befinden sich in Böblingen, Eschbach (bei Freiburg), Göppingen, Mannheim, Stuttgart und Ulm.

So genannte Stoffstromanlagen dienen zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen und zur Aussortierung von Wertstoffen aus Restabfällen. In Baden-Württemberg sind derzeit zwölf solcher Anlagen in Albstadt, Bissingen, Bruchsal, Burgrieden, Eschbach, Gaggenau, Heidenheim, Heilbronn, Mannheim, Möggingen-Ellert, Karlsruhe und St. Georgen in Betrieb.

Die in Baden-Württemberg im Jahr 2008 betriebenen 97 biologischen und 31 chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen sowie 110 Sortier- und Zerlegeeinrichtungen sind über das ganze Land verteilt.

Außerdem gibt es noch rund 350 Deponien für Baumaschinenabfälle, 32 Siedlungsabfalldeponien, eine Untertagedeponie in Heilbronn und eine Sonderabfalldeponie in Billigheim (Neckar-Odenwald-Kreis).

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, 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 2008 zurück (Abb. 9.3-3). Ein Positionspapier der LUBW zur Deponiebewirtschaftungsplanung kommt zum Ergebnis, dass langfristig zwölf Deponien in Baden-Württemberg für die Entsorgungssicherheit ausreichen. In Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Deponie (z. B. Geologie und Grundwasserverhältnisse am Standort, bautechnische Maßnahmen zur Basis- und Oberflächenabdichtung) und dem Schadstoffgehalt der abgelagerten Abfälle werden Deponien in Deponieklassen von 0 bis IV (DK 0 bis DK IV) eingeteilt. Die Anforderungen an die einzelnen Deponieklassen sind in der Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV 2002) detailliert beschrieben.

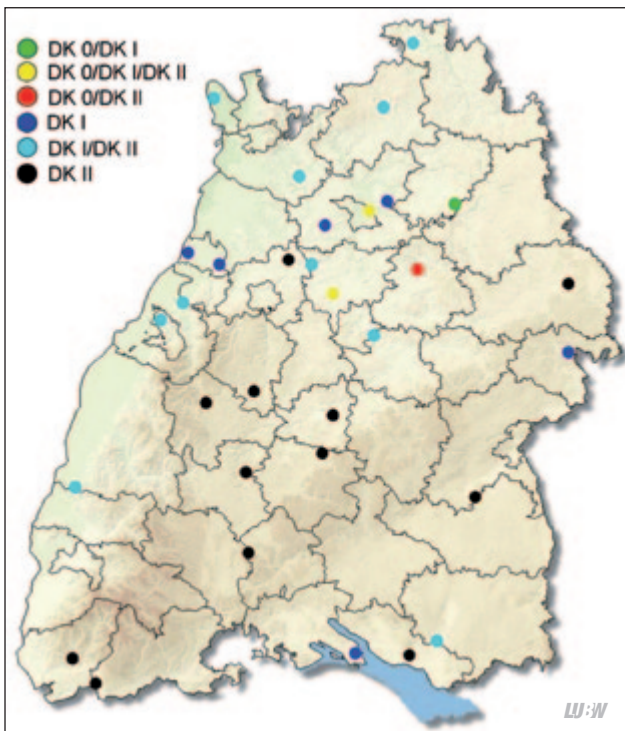


Abb. 9.3-3: Siedlungsabfalldeponien nach Deponieklassen in Baden-Württemberg. DK: Deponieklasse nach Deponieverordnung. Stand: 2009

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

mehr Informationen im Internet-Themenportal ‚Abfall‘ der LUBW:

[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

Informationen zu den Vorschriften:

[www.gewerbeaufsicht.baden-wuerttemberg.de](http://www.gewerbeaufsicht.baden-wuerttemberg.de)

Informationen zur Abfallwirtschaft und Abfallbilanzen

beim Umweltministerium Baden-Württemberg:

[www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/2745/](http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/2745/)

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg:

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



# 10 Anlagensicherheit

Die in diesem Beitrag zusammengefassten Angaben beziehen sich auf die in Baden-Württemberg existierenden Betriebsbereiche unter dem Geltungsbereich der Störfall-Verordnung (12. BImSchV 1991). Die Daten werden von den Regierungspräsidien erhoben und sind in einem landesweiten Informationssystem verfügbar.

Die Störfall-Verordnung gehört zum Rechtsbereich der technischen Sicherheit und konkretisiert Anforderungen der sogenannten Seveso-II-Richtlinie (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, in Spalte 4 erreichen oder überschreiten. Die so genannten „erweiterten Pflichten“ gelten bei Erreichen oder Überschreiten der Mengenschwelle in Spalte 5.

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) fallen nur wenige Betriebe unter die Störfall-Verordnung.

Die geografischen Daten sind für eine Reihe von Aufgaben nützlich. Beispielsweise dienen sie dem Vollzug des UNECE-Abkommens über grenzüberschreitende Industrieunfälle [UNECE 1992], da hier die Entfernung der Betriebe von der Nationalgrenze bzw. vom Einzugsbereich eines grenzüberschreitenden Flusses maßgeblich ist. Zur schnellen Beurteilung der geografischen Gegebenheiten bei der Bauleitplanung bieten die Karten bei entsprechend angepasstem Maßstab übersichtliche Darstellungsmöglichkeiten. Daneben können die Daten z. B. für die Beurteilung von Domino-Effekten oder für spezielle Fragestellungen wie z. B. die Beurteilung der Hochwassergefährdung verwendet werden.

## 10.1 ANZAHL DER BETRIEBSBEREICHE IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Anhand der im Berichtssystem eingetragenen Mengen an gefährlichen Stoffen nach Anhang I, 12. BImSchV wurde, unter Anwendung der so genannten Quotientenregel, die Anzahl der Betriebsbereiche mit den jeweils anzuwendenden Pflichten ermittelt. Insgesamt fallen in Baden-Württemberg derzeit 291 Betriebsbereiche unter die Störfall-Verordnung:

Grundpflichten:	178
Erweiterte Pflichten:	113
Gesamt:	291

## 10.2 STANDORTE DER BETRIEBSBEREICHE IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Die nachfolgende Übersichtskarte (Abb. 10.2-1) zeigt die Standorte der 291 Betriebsbereiche unter der Störfall-

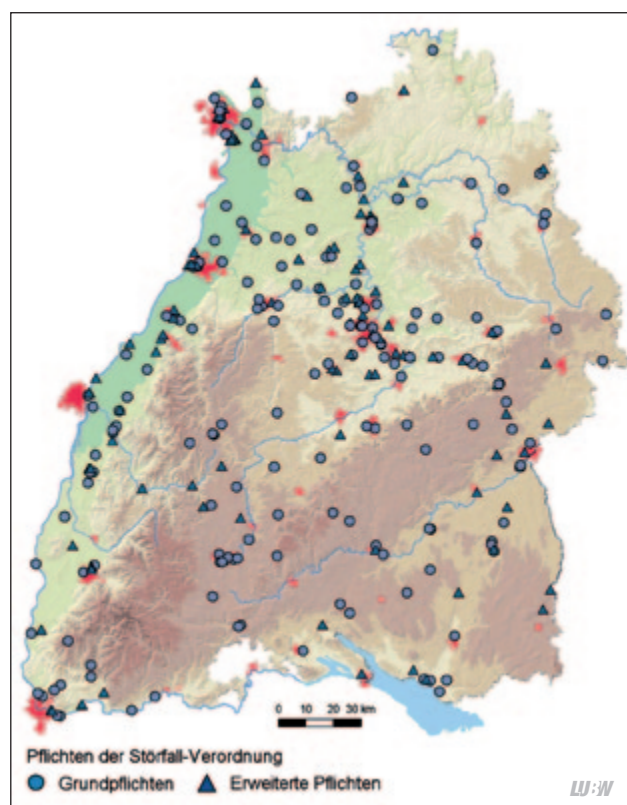


Abb. 10.2-1: Standorte der Betriebsbereiche in Baden-Württemberg. Stand: 2009

## 10.3 BETRIEBSBEREICHE UND IHRE TÄTIGKEITEN

Um eine Aussage über die Tätigkeiten der 291 Betriebsbereiche zu erhalten, wird die Anzahl der Betriebe in den jeweiligen Wirtschaftszweigklassifikationen der Europäischen Union, dem NACE-Code, dargestellt. Zur Erfüllung der Berichtspflichten nach § 14 StörfallV werden Namen und Anschrift der Betriebsbereiche sowie ihre Tätigkeit nach NACE-Code über das Bundesministerium für Umwelt,

Tab. 10.3-1: Wirtschaftszweige unter der Störfall-Verordnung mit Vorkommen in Baden-Württemberg. Stand: 2009

Hauptgruppen der Wirtschaftszweige	Erweiterte Pflichten	Grundpflichten
Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau		2
Ernährungsgewerbe	1	2
Papiergewerbe	1	1
Verlagsgewerbe, Druckgewerbe, Vervielfältigung von bespielten Ton-, Bild- und Datenträgern		1
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	1	1
Herstellung von chemischen Erzeugnissen	17	34
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	1	1
Glasgewerbe, Herstellung von Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	2	3
Metallerzeugung und -bearbeitung	4	6
Herstellung von Metallerzeugnissen	14	25
Maschinenbau	1	2
Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen	1	2
Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten, Spielwaren und sonstigen Erzeugnissen	1	1
Energieversorgung	8	23
Kraftfahrzeughandel, Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen, Tankstellen		1
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	19	23
Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen)	3	3
Landverkehr, Transport in Rohrfernleitungen	2	3
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr, Verkehrsvermittlung	7	10
Forschung und Entwicklung	1	1
Erbringung von wirtschaftlichen Dienstleistungen, anderweitig nicht genannt	1	2
Abwasser- und Abfallbeseitigung und sonstige Entsorgung	2	4
Kultur, Sport und Unterhaltung	1	2

LUBW

Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) an die Kommission der Europäischen Gemeinschaften übermittelt.

Unter der Störfall-Verordnung kommen in Baden-Württemberg die in Tabelle 10.3-1 aufgelisteten Wirtschaftszweige vor.

Sowohl im Bereich der Grundpflichten als auch bei den erweiterten Pflichten sind Schwerpunkte in den Kategorien ‚Herstellung von chemischen Erzeugnissen, ‚Herstellung von Metallerzeugnissen, ‚Energieversorgung, und ‚Großhandel, vorhanden. Bei letzterem handelt es sich vorwiegend um Flüssiggasversorgungsunternehmen sowie Chemikalien- und Pflanzenschutzmittelhändler.

Ein Großteil der mit ‚Herstellung von Metallerzeugnissen, signierten Betriebsbereiche sind Galvanikbetriebe, die wegen der großen Mengen an gefährlichen Stoffen in den Galvanikbädern unter die Störfall-Verordnung, teilweise sogar unter die erweiterten Pflichten fallen. Dort wirkte sich die Umstufung von Chrom(VI)oxid (CAS-Nr.: 1333-82-0) von „giftig“ auf „sehr giftig“ aufgrund der 29. Anpassung der Richtlinie 67/548/EWG (2004/73/EG) ab dem Jahr 2006 aus, infolge dessen viele Galvanikbetriebe in Baden-Württemberg neu in den Anwendungsbereich der Störfall-Verordnung fielen oder von den Grund- in die erweiterten Pflichten hochgestuft wurden.

## 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 des Landes, die diese Meldungen fachtechnisch auswertet und an das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 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 eines Störfalls erfüllt sind; das heißt die Freisetzung einer großen Menge an gefährlichen Stoffen oder ihr Brand oder Explosion, sowie

ein Ereignis mit Todesfällen, Schwerverletzten, Störung des öffentlichen Lebens oder erheblichen Umwelt- oder Sachschäden. Gleiches gilt für bestimmte, aus sicherheitstechnischer Sicht besonders bedeutsame Ereignisse aus denen Lehren hinsichtlich der Verhinderung oder Begrenzung der Auswirkungen von Ereignissen gezogen werden können. Eine dritte Kategorie dient der Erfassung solcher Ereignisse, die nicht in die beiden ersten Kategorien fallen, bei denen jedoch ein Stoff freigesetzt wurde und eine Gefährdung für die Nachbarschaft oder Allgemeinheit nicht offensichtlich ausgeschlossen werden kann. Diese Kategorie wird zwar erfasst, jedoch nicht an die zentrale europäische Datenbank weitergeleitet.

Abbildung 10.4-1 zeigt für Baden-Württemberg die in den Jahren 1989 bis 2008 gemeldeten Ereignisse. Seit dem Jahr 2000 gilt die oben beschriebene Kategorisierung.

Vor dem Jahr 2000 galt nach der alten Störfall-Verordnung für die meldepflichtigen Ereignisse eine abweichende Einteilung. Ein direkter Vergleich mit den Daten aus 2000 ist deshalb nicht möglich.

Von 1989 bis 2008 wurden 72 Ereignisse erfasst; dies entspricht einer durchschnittlichen Häufigkeit von 3,6 Ereignissen pro Jahr. Eine eindeutig zunehmende oder abnehmende Tendenz ist im betrachteten Gesamtzeitraum nicht erkennbar. Den Jahren 1993 und 2003 ohne meldepflichtige Ereignisse stehen andere Jahre wie z. B. 2004 und 2007 mit sieben bzw. elf Ereignissen gegenüber. Von den elf gemeldeten Ereignissen im Jahr 2007 waren fünf Ereignisse in Betrieben der Galvanikbranche zu verzeichnen.

Eine Analyse der Ursachen für die Jahre 2005 bis 2008 ergab Schwerpunkte im Bereich Gefahrenermittlung, die entweder unvollständig oder fehlerhaft durchgeführt wurde, sowie im Bereich der betrieblichen Organisation und Ablaufsteuerung. Beide Bereiche werden von den nach der Störfall-Verordnung vorgeschriebenen Sicherheitsmanagementsystemen umfasst und sollen zu einem hohen Sicherheitsniveau beitragen.

Nur vergleichsweise wenige Ereignisse waren primär auf technische Fehler, wie z. B. das Versagen von Bauteilen oder Komponenten zurückzuführen.

Die in Abbildung 10.4-1 dargestellte Differenzierung der Ereigniskategorien zeigt, dass schwere Unfälle bzw. Störfälle mit schweren Personen-, Umwelt- oder Sachschäden insgesamt einen vergleichsweise kleinen Anteil am Gesamtgeschehen haben. Im Jahr 2004 gab es zwei Ereignisse mit

sehr hohen Sachschäden, die für die Einstufung als Störfall maßgeblich waren, und einen Brand bzw. eine Explosion mit Todesfolge. Im Jahr 2007 wurden in dieser Kategorie ein Ereignis mit Todesfolge und zwei Ereignisse mit hohen Sachschäden gemeldet.

Bei allen Ereignissen sind außerhalb des Werksgeländes keine irreversiblen Personenschäden aufgetreten.

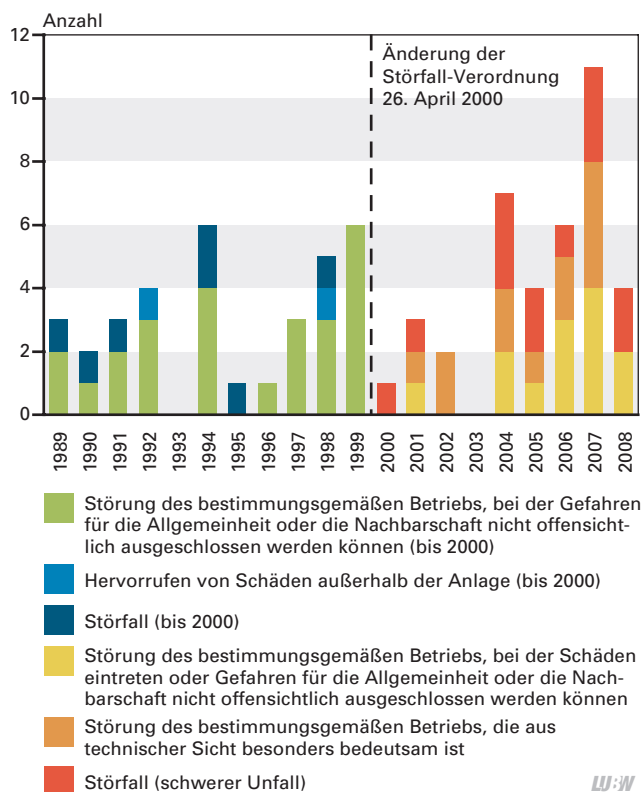


Abb. 10.4-1: Anzahl der gemeldeten Ereignisse von 1989 bis 2008. Stand: 2009

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

Gewerbeaufsicht Baden-Württemberg:

[www.gaa.baden-wuerttemberg.de/](http://www.gaa.baden-wuerttemberg.de/)

Zentrale Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in verfahrenstechnischen Anlagen (ZEMA) mit online-Recherche (infos) unter Technik – Verfahren und Sicherheit:

[www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

# 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 energiereiche Strahlung ausgesandt. Die charakterisierenden Größen sind die Strahlungsart (Abb. 11-1) und die Halbwertszeit. 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. 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 inneren Strahlenbelastung des Menschen.

Strahlenart	maximale Reichweite	in Luft		in Gewebe	
		in Luft	in Gewebe	in Luft	in Gewebe
Alpha-Strahlen Heliumkern	bis 12 cm	bis 12 cm	bis 0,15 mm		
Beta-Strahlen Elektron	bis 15 m	bis 15 m	bis 2 cm		
Gamma-Strahlen	35 - 100 m Schwächung auf die Hälfte	35 - 100 m	5 - 15 cm		

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 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 kon-

trolliert und bilanziert – sowohl für Abluft als auch für Abwasser (Emissionsüberwachung). Bei diesen Anlagen findet auch eine umfangreiche Immissionsüberwachung statt, um die Radioaktivitätsgehalte in den für den Menschen wichtigsten Umweltmedien festzustellen und dessen Strahlenbelastung abzuschätzen.

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, kann die Dosis als ‚effektive Dosis‘, gemessen in Sievert (Sv = Joule/kg), angegeben werden.

Ursache	Folge	Wirkung
<b>Radioaktivität</b>	<b>Strahlung</b>	<b>Dosis</b>
Zahl der pro Sekunde zerfallenden Atomkerne	Alpha-, Beta- und Gammastrahlung, Neutronenstrahlung	Energieabgabe im Gewebe, Zellschädigung
Maßeinheit: Becquerel (Bq)		Maßeinheit: Sievert (Sv)

Abb. 11-2: Radiologische Zusammenhänge.

## 11.1 RADIOAKTIVITÄTSÜBERWACHUNG

Baden-Württemberg betreibt ein komplexes System zur Überwachung der Radioaktivität. Sein Hauptaugenmerk richtet sich auf die kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen im Land an den Standorten 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 wird 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 nuklidspezi-

fischen Messung der Radioaktivität in Schwebstoffen der Luft (Radioaerosole) bilden zusammen mit der Kernreaktor-Fernüberwachung (KFÜ) einen sensiblen Warndienst, der bei geringsten Veränderungen gegenüber der natürlich vorhandenen Strahlung die zuständige Atomaufsicht alarmiert.

### 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 Phillipsburg (KKP 1 und KKP 2) 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 11.1-1 bis 11.1-3 sind die Emissionen der Nuklidgruppe Edelgase, die Emissionen beta- und gammastrahlender Aerosole sowie die Tritium ( $H-3$ )-Emissionen dargestellt.

Bei Kernkraftwerken setzen sich die Edelgasemissionen vorwiegend aus den kurzlebigen radioaktiven Isotopen der Edelgase Xenon und Krypton zusammen. Die Edelgasemissionen spiegeln sowohl die leistungsabhängige Bildung von Edelgasen als auch die Dichtheit der Brennelementhüllen beim Betrieb von Kernkraftwerken wider. 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 sehr gering. Sie liegt selbst im Nahfeld eines Kernkraftwerkes um etwa drei Größenordnungen unter der Strahlen-

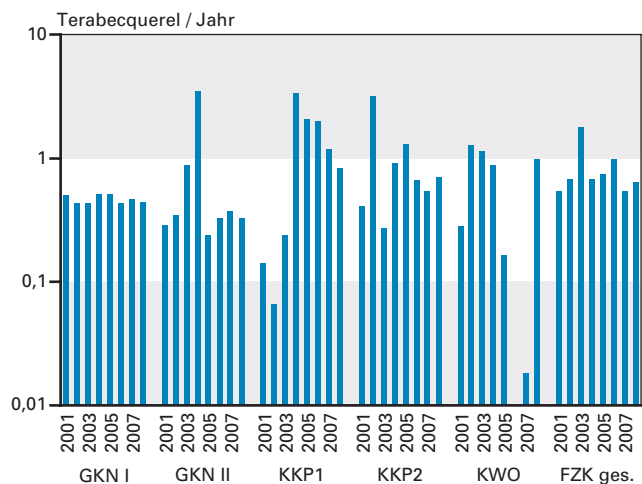


Abb. 11.1-1: Emissionen radioaktiver Edelgasisotope mit der Abluft 2001 bis 2008. GKN: Kraftwerke Neckarwestheim; KKP: Kraftwerke Phillipsburg; KWO: Kraftwerk Obrigheim; FZK: Forschungszentrum Karlsruhe. Quelle: Betreiberdaten 2008

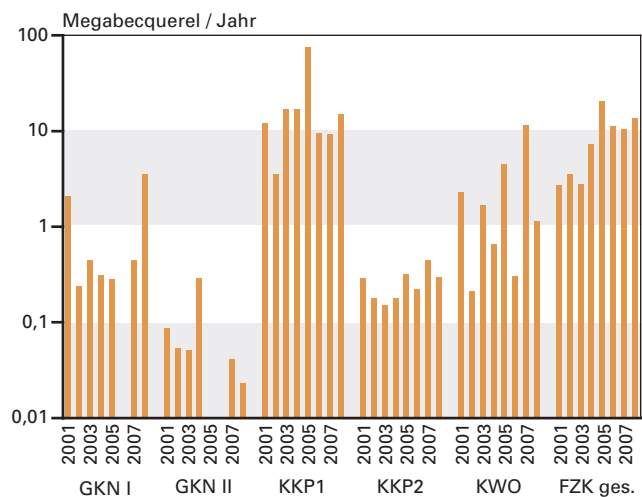


Abb. 11.1-2: Emissionen beta- und gammastrahlender Aerosole mit der Abluft 2001 bis 2008 (GKN II im Jahr 2005 unterhalb der Erkennungsgrenze). GKN: Kraftwerke Neckarwestheim; KKP: Kraftwerke Phillipsburg; KWO: Kraftwerk Obrigheim; FZK: Forschungszentrum Karlsruhe. Quelle: Betreiberdaten 2009

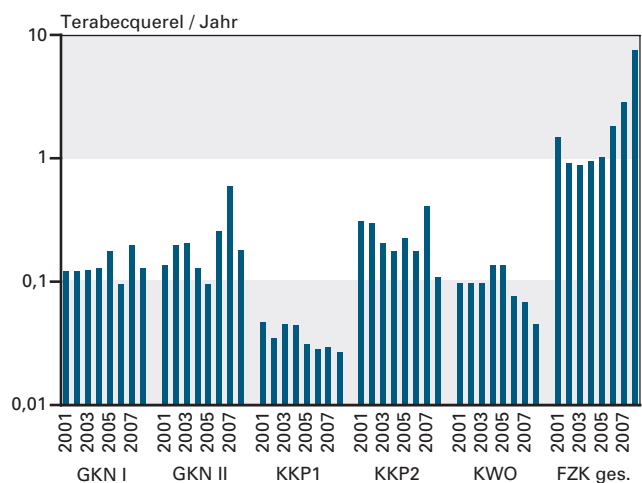


Abb. 11.1-3: Tritiumemissionen mit der Abluft 2001 bis 2008. GKN: Kraftwerke Neckarwestheim; KKP: Kraftwerke Phillipsburg; KWO: Kraftwerk Obrigheim; FZK: Forschungszentrum Karlsruhe. Quelle: Betreiberdaten 2008



belastung, die durch die natürlichen radioaktiven Edelgase Radon (Radon-222) und Thoron (Radon-220) bedingt ist. Die beta- und gammastrahlenden Aerosole können die unterschiedlichsten Spaltprodukte enthalten, wie Cäsium-137 oder Strontium-90. Sie können aber auch durch Aktivierung entstanden sein, wie Kobalt-60. Man spricht deshalb von Spalt- und Aktivierungsprodukten.

Bei Kernkraftwerken treten Emissionen von Spalt- und Aktivierungsprodukten 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.

Tritium, das schwerste Wasserstoffisotop, entsteht bei Kernreaktoren im Brennstoff und im Kühlwasser. Es wird sowohl mit dem Abwasser in Form von überschwerem Wasser 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. 11.1-3). Siedewasserreaktoren wie KKP 1 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 Jahren einen Sättigungswert. Der Anstieg der Tritiumemissionen beim FZK resultiert aus der Behandlung radioaktiver Abfälle für die Endlagerung. Die Werte liegen unterhalb der aufgrund der Strahlenschutzverordnung zulässigen und genehmigten Emissionen.

Bei der Bestimmung der aus den Abgaben mit der Abluft resultierenden Strahlenbelastung für die Bevölkerung sind neben den radioaktiven Edelgasen, den beta- und gammastrahlenden Aerosolen und dem Tritium als dosisrelevante Nuklide noch verschiedene Jodisotope und das Kohlenstoff-14 zu berücksichtigen. Insgesamt liegt die Strahlenbelastung 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 11.1-4 und 11.1-5 sind die Ableitungen der Nuklidgruppe der beta- bzw. gammastrahlenden Radionuklide sowie von Tritium dargestellt. Aufgrund ihrer Flüchtigkeit werden Edelgase über die Abluft emittiert. Der Abwasserpfad spielt hierbei keine Rolle.

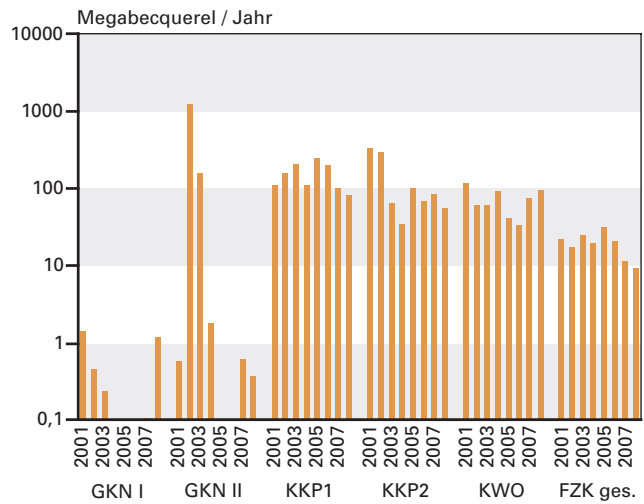


Abb. 11.1-4: Emissionen von Beta-/Gammastrahlern mit dem Abwasser 2001 bis 2008. GKN: Kraftwerke Neckarwestheim; KKP: Kraftwerke Phillipsburg; KWO: Kraftwerk Obrigheim; FZK: Forschungszentrum Karlsruhe. Quelle: Betreiberdaten 2009

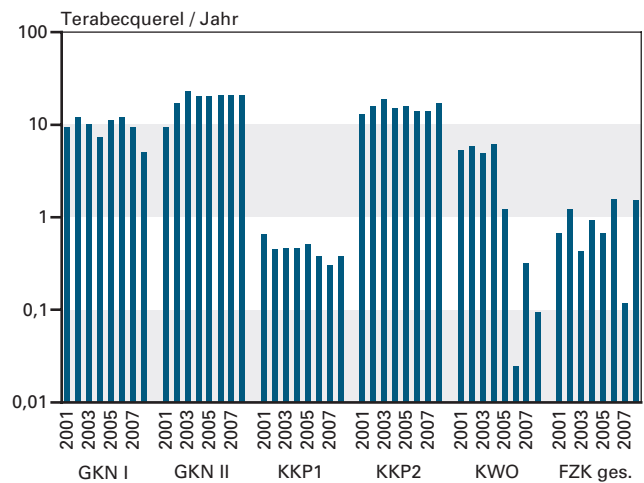


Abb. 11.1-5: Tritiumemissionen mit dem Abwasser 2001 bis 2008. GKN: Kraftwerke Neckarwestheim; KKP: Kraftwerke Phillipsburg; KWO: Kraftwerk Obrigheim; FZK: Forschungszentrum Karlsruhe. Quelle: Betreiberdaten 2009

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. Diese Spalt- und Korrosionsprodukte gelangen zum einen mittels Diffusion durch die Brennstabhüllrohre und zum anderen durch überwiegend korrosionsbedingten Materialabtrag 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. Die Abgaberaten der Kernkraftwerke schwankten über die Jahre stark, eine allgemeine Tendenz ist nicht feststellbar. Die Ableitungen der Kernkraftwerke sind mit denen des Forschungszentrums Karlsruhe nicht vergleichbar.

Die Druckwasserreaktoren geben typischerweise jeweils mehr Tritium ab als der Siedewasserreaktor KKP 1 (Abb. 11.1-5). Langfristig betrachtet ist Tritium das im Abwasserpfad am häufigsten nachgewiesene künstliche Radionuklid.

### 11.1.1.3 UMWELTBEOZUGENE RADIOAKTIVITÄTS- ÜBERWACHUNG

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 108 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 Kernkraftwerksstandort ist außerdem je eine moderne Radioaerosolmess-einrichtung in Betrieb, die rund um die Uhr vollautomatisch die Konzentrationen 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 Umweltbereichen festgestellt. Aus der näheren Umgebung der kerntechnischen Anlagen werden Luftproben sowie Nahrungsmittel, Milch, Grundwasser, Niederschläge und Oberflächenwasser im Radiochemielabor der LUBW auf ihren Gehalt an künstlicher Radioaktivität untersucht. Außerdem werden Böden, Bewuchs und Sedimente überprüft. Der Vergleich der hierbei gewonnenen Messwerte mit den Messwerten aus der umweltbezogenen Radioaktivitätsüberwachung zeigt, dass der Einfluss der kerntechnischen Anlagen auf die Umgebung aus radiologischer Sicht vernachlässigbar gering ist.

### NATÜRLICHE RADIOAKTIVITÄT

Im Boden, im Wasser und in der 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 11.1-1 dargestellt.

Tab. 11.1-1: Die wichtigsten Radionuklide im Menschen [KOELZER 2008].

Radionuklid	Aktivität in Becquerel
Kalium-40 ( <sup>40</sup> K)	4200
Kohlenstoff-14 ( <sup>14</sup> C)	3800
Rubidium-87 ( <sup>87</sup> Rb)	650
Blei-, Wismut-, Polonium-210 ( <sup>210</sup> Pb, <sup>210</sup> Bi, <sup>210</sup> Po)	60
Kurzlebige Radon-Zerfallsprodukte	45
Tritium-3 ( <sup>3</sup> H)	25
Beryllium-7 ( <sup>7</sup> Be)	25
Sonstige	10
Summe	8 815

### KÜNSTLICHE RADIONUKLIDE

Über verschiedene Messprogramme können Einträge künstlicher Radionuklide in die verschiedenen Umweltmedien nachgewiesen werden (Immissionsüberwachung). Deren Auswertung ergibt insgesamt einen nahezu gleich bleibenden Gehalt auf geringstem Niveau in allen überwachten Medien. Das von den Kernwaffentests der sechziger Jahre und vom Tschernobyl-Unfall herrührende Nuklid Cäsium-137 ist immer noch deutlich messbar, die Konzentrationen liegen heute allerdings um mehrere Größenordnungen niedriger als in den ersten Tagen nach dem Unfall von Tschernobyl.

### RADIOAKTIVE STOFFE IN DER LUFT

In der Luft kommen an künstlichen Radionukliden 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 Bq/m<sup>3</sup> auf über 1,5 Bq/m<sup>3</sup>. Dies entspricht jedoch

dem globalen Trend und zeigt, dass die Freisetzungsrates für Krypton-85 weltweit größer ist als seine radioaktive Zerfallsrate. Radiologisch sind 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 Oberflächenwasser 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 Bq/m<sup>2</sup> bis 70 Bq/m<sup>2</sup> eingependelt.

#### RADIOAKTIVE STOFFE IM WASSER

Wasser als Lebensgrundlage von Menschen, Tieren und Pflanzen wird intensiv überwacht. Besonders hervorzuheben ist hierbei, dass in allen Wasserproben Tritium enthalten ist. Sein Gehalt in oberflächennahen Wässern, die nicht durch aktuelle anthropogene Tätigkeit beeinflusst sind, liegt heute, bedingt durch Kernwaffentests, bei etwa 2 Bq/l bis 4 Bq/l. Ohne menschliches Zutun läge dieser Wert bei deutlich unter 1 Bq/l. Bei den oberirdischen Fließgewässern konnten mit wenigen Ausnahmen (Strontium-90 mit einer Aktivität zwischen 0,001 Bq/l und 0,010 Bq/l zwischen 2001 und 2008) im Wasser 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 kern-technischen 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 Tschernobyl stammt. Bei Kobalt-60 und Cäsium-134 sind die Nachweisgrenzen in den meisten Fällen unterschritten, Jod-131 wird vereinzelt gemessen, 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. Sie lassen jedoch gewisse Rückschlüsse auf mögliche Emittenten bzw. die Herkunft der Radioaktivität zu.

In den untersuchten Trink- und Grundwässern konnten außer gelegentlichen Spuren an Strontium-90 (zwischen 0,001 Bq/l und 0,013 Bq/l zwischen 2001 und 2008) keine künstlichen beta- oder gammastrahlenden radioaktiven Inhaltsstoffe nachgewiesen werden. Die Strontiumkonzentrationen liegen unterhalb der Gehalte, die an natürlichen Radionukliden anzutreffen sind: Trinkwasser weist in Deutschland Radium-226-Konzentrationen um die 0,004 Bq/l und Kalium-40-Konzentrationen um die 0,2 Bq/l auf. Beim Grundwasser liegen die entsprechenden Werte sowohl für Radium-226 als auch für Kalium-40 zwischen 0,004 Bq/l und 0,4 Bq/l.

Werden Wasser als Trinkwasser verwendet, so schreibt die Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) die Einhaltung einer Gesamtrichtdosis von 0,1 Millisievert pro Jahr infolge des Trinkwasserkonsums vor. Die Trinkwasserverordnung wird derzeit überarbeitet und EU-weit harmonisiert. Künftig soll u. a. auch ein Grenzwert für den maximal zulässigen Gehalt an Uran im Trinkwasser vorgeschrieben werden. Aufgrund der sehr langen Halbwertszeit von Uran-238 von mehreren Milliarden Jahren spielt die Radiotoxizität (Strahlenbelastung) des Urans gegenüber der chemischen Toxizität als Schwermetall eine untergeordnete Rolle.

Tab. 11.1-2: Typische Aktivitätskonzentrationen natürlicher Radionuklide in Wasser in Bq/l [VOLKMER 2007].

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 - 0,4
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

## **RADIOAKTIVE STOFFE IM BODEN**

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 2008 durch den radioaktiven Zerfall von Cäsium-137 (Halbwertszeit: 30,17 Jahre) erst auf knapp 60 % des Ausgangswertes 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 Cäsiumwerte stark, entsprechend dem seinerzeitigen Eintrag und der Verlagerung in andere Schichten. Diese Cäsiumaktivität 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.

## **RADIOAKTIVITÄT IN DER NAHRUNGSKETTE**

Am Beispiel essbarer Waldpilze lässt sich verdeutlichen, wie sich Cäsium-137 in der Nahrungskette anreichert. Pilze entnehmen ihre Nährstoffe den obersten Bodenschichten. Über 50 % des Cäsium-137 befindet sich in der rund 10 cm dicken oberen Bodenschicht. Bereits seit der Zeit der oberirdischen Kernwaffentests ist bekannt, dass einige Pilzsorten wie beispielsweise Maronnröhrlinge Cäsium besonders gut aufnehmen. Deutlich erhöhte Aktivitätswerte findet man aber auch in Semmelstoppelpilzen, Ockertäublingen, Erdritterlingen, Reispilzen und Perlpilzen. Auch Graublättrige Schwefelköpfe, Anisklumpfüße, Blassblaue Rötleritterlinge und Habichtspilze können erhöhte Aktivitätsgehalte aufweisen. Andere Arten wie Fuchsiger Rötleritterling, Safranschirmling, Mönchskopf, Riesenchampignon, Waldchampignon, Stadtchampignon, Schopftintling, Violettstieliger Täubling, Birkenpilz und Zinnobertäubling waren dagegen trotz exponierter Böden nur gering mit Cäsium-137 kontaminiert. Der Gehalt des natürlichen Radionuklids Kalium-40 variiert entsprechend dem Kaliumgehalt des Fruchtkörpers zwischen 40 Bq/kg Kalium-40 beim Echten Reizker bis zu 450 Bq/kg Kalium-40 beim Violetten Lacktrichterling. 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. Radiologisch betrachtet, führt ein nicht übermäßiger Verzehr von belasteten Pilzen oder Wildfleisch zu keiner nennenswerten gesundheitsgefährdenden Strahlenbelastung.

In Hirschtrüffeln – nicht essbare Pilze, die unterirdisch in der Humusschicht des Fichtenwaldbodens wachsen – reichert sich das Cäsium-137 besonders an. Zur Nahrungsergänzung werden diese Hirschtrüffel von Wildschweinen ausgegraben und aufgenommen. Deren Fleisch kann dann in Einzelfällen Cäsiumaktivitätskonzentrationen von bis zu einigen Tausend Becquerel pro Kilogramm Fleisch aufweisen.

## **RADIOAKTIVITÄT IN WILDFLEISCH**

Auch 23 Jahre nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl treten in einigen Teilen Baden-Württembergs z. T. noch deutliche Cäsium-137-Kontaminationen bei Wildschweinfleisch auf. Während in Rot- und Rehwild der Cäsium-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 nach dem Unfall von Tschernobyl 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 Hirschtrüffel 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 Kontamination des Wildschweinfleisches im Bereich Schwetzingen, Gaildorf, Schluchsee, Sankt Blasien sowie in einigen Landkreisen des

Nordschwarzwaldes hinzu. Um sicherzustellen, dass kein Wildschweinfleisch mit mehr als 600 Bq/kg Cäsium-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 Eigenkontrollmessungen der Jägerschaft untersucht werden. Weiterhin messen die Chemischen und Veterinäruntersuchungsämter (CVUA) Stuttgart und Freiburg Monitoringproben aus den bisher noch nicht beprobten umliegenden Gemeinden. Das CVUA Freiburg bereitet die Ergebnisdaten zentral für Baden-Württemberg auf und veröffentlicht diese im Internet [CVUA 2009].

Bezogen auf die Gesamtprobenzahl aus dem Zeitraum 01.04.2008 bis 31.03.2009 wurde der Grenzwert von 600 Bq/kg in 25,7 % der Fälle überschritten. Der gemessene Spitzenwert betrug 9 723 Bq/kg Cäsium-137 bei einem Wildschwein aus dem Kreis Biberach. Hohe Belastungen zeigten sich auch in den Kreisen Alb-Donau, Freudenstadt und Calw mit Überschreitungen des Grenzwertes von 600 Bq/kg Cäsium-137 in 50 % bis 33 % aller aus diesen Kreisen analysierten Proben.

Bei Rehwild ist die Grenze für die Verzehrbarkeit von 600 Bq/kg 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.

#### GESAMTNAHRUNG

Die Gesamtnahrung der Menschen setzt sich aus den unterschiedlichsten Lebensmitteln zusammen. Die Belastung mit künstlichen Radionukliden ist dabei so gering, dass in der überwiegenden Zahl unserer landwirtschaftlichen Produkte die künstlichen Radionuklide mit den üblichen Routinemessungen gar nicht mehr nachweisbar sind.

Wichtig für die Beurteilung des Radioaktivitätsgehalts in Nahrungsmitteln ist die Höhe der Strahlenexposition, die sich aus dem Verzehr für den Menschen ergibt. Als Faustregel gilt, dass die Aufnahme von 80 000 Bq Cäsium-137 mit Lebensmitteln bei Erwachsenen einer Strahlenexposition von etwa 1 Millisievert (mSv) entspricht. Die persönliche Strahlenexposition durch den Verzehr von Nahrungsmitteln hängt aber auch vom individuellen Ernährungsverhalten ab.

## 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 Ereignissen, die oberirdischen Kernwaffentests und den Reaktorunfall in Tschernobyl, bedingten Verlauf (Abb. 11.2-1). 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. Die durch natürliches Kalium-40 bedingte Aktivität des menschlichen Körpers liegt durchgehend sehr viel höher, nämlich bei etwa 50 Bq/kg bis 70 Bq/kg Körpergewicht.

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 11.2-1 dargestellten mittleren jährlichen Werte der effektiven Dosis.

Die gesamte mittlere effektive Dosis durch die natürliche Strahlenexposition beträgt in Deutschland 2,1 mSv pro Jahr.

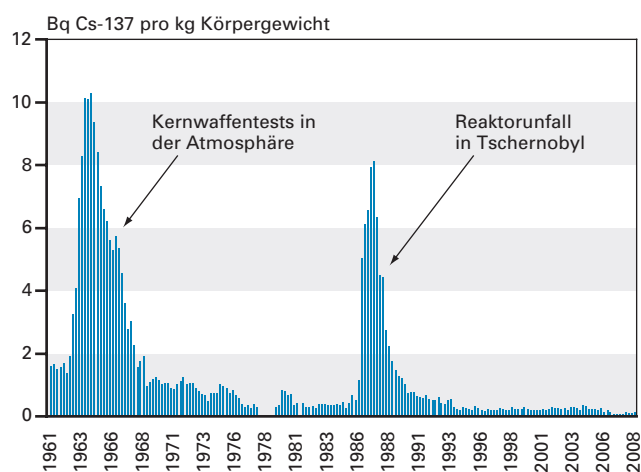


Abb. 11.2-1: Spezifische Aktivität von Cäsium-137 im menschlichen Körper im Raum Karlsruhe. Quelle: Forschungszentrum Karlsruhe (FZK) 2009



Tab. 11.2-1: Mittlere Strahlenbelastung natürlichen Ursprungs in Deutschland [KOELZER 2008].

	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>In den Körper gelangte 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 aus zivilisatorisch erhöhter Strahlenbelastung beträgt in Deutschland 1,9 mSv pro Jahr. Die effektive Dosis aus allen Strahlenquellen beträgt somit für einen Einwohner in Deutschland im Mittel ungefähr 4 mSv im Jahr. Demgegenüber sind Dosisbeiträge aus anderen zivilisatorischen Strahlenbelastungen faktisch zu vernachlässigen (Tab. 11.2-2, Abb. 11.2-2).

Mittlere Strahlenbelastung des Menschen: 4 mSv/Jahr

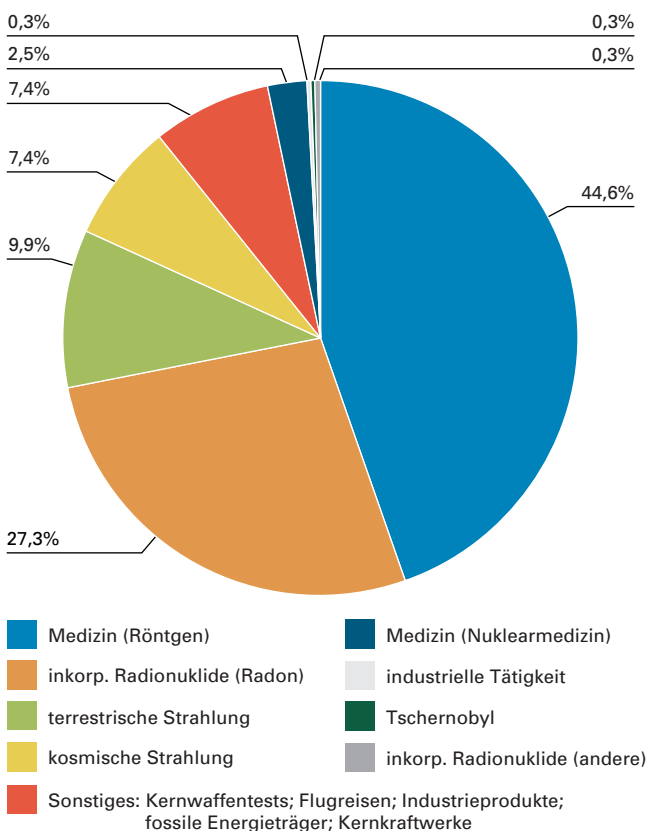


Abb. 11.2-2: Beiträge zur mittleren effektiven Jahresdosis der Bevölkerung [KOELZER 2008]. Stand 2008

Tab. 11.2-2: Mittlere effektive Dosis aus zivilisatorisch erhöhter Strahlenbelastung in Deutschland [KOELZER 2008].

Zivilisatorisch erhöhte Strahlenbelastung aus den Bereichen	mSv pro Jahr
Medizin (Röntgen 1,8; Nuklearmedizin 0,1)	1,9
industrielle Tätigkeit	0,01
Tschernobyl	0,01
Kernwaffentests	0,005
Flugreisen	0,005
Industrieprodukte	0,001
fossile Energieträger	0,001
Kernkraftwerke	0,001
Zivilisation gesamt	1,93

Von allen Anwendungsgebieten ionisierender Strahlen liefert die Röntgendiagnostik den bei weitem größten Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung. 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. 11.2-3).

Tab. 11.2-3: Bereiche durchschnittlicher effektiver Dosen für häufige Röntgenuntersuchungen [KOELZER 2008].

Untersuchungsart	effektive Dosis in mSv
Computertomographie Bauchraum	10 - 25
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

### 11.2.2 BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION

In Deutschland gab es im Jahr 2007 etwa 355 000 Personen, die als beruflich strahlenexponiert eingestuft und deshalb strahlenschutzüberwacht waren. Von diesen wurden 318 000 mit Dosimetern ausgestattet, 34 000 Personen (2004: 29 700) waren als fliegendes Personal tätig und 2 000 Personen wurden auf Inkorporation oder aufgrund natürlich vorkommender Stoffe am Arbeitsplatz überwacht. In der Gruppe der mit Dosimetern überwachten erhielten etwa 57 000 Personen – also nur etwa 18 % – eine messbare Dosis, die im Durchschnitt 0,79 mSv betrug, knapp 4 % weniger als vor drei Jahren. Der Personenkreis des fliegenden Personals war nahezu vollständig exponiert, deren mittlere Jahresdosis betrug 2,3 mSv, ein Anstieg von rund 19 % gegenüber 2004.

Mit 69 % war die große Mehrzahl aller mit Dosimetern Überwachten im medizinischen Bereich tätig. Die am höchsten strahlenexponierte Berufsgruppe in Deutschland ist jedoch weiterhin das fliegende Personal, weit höher als das beruflich strahlenexponierte Personal aus Industrie, Medizin oder kerntechnischen Anlagen [BFS 2009].

### RADONEXPOSITION IN WASSERWERKEN

Bei der Gewinnung von Wasser kann Radon in unterschiedlichen Mengen auch in die Wassergewinnungsanlagen gelangen. Durch Verwirbelung des Wassers bei der Wasseraufbereitung entweicht der überwiegende Teil an Radon innerhalb des Wasserwerkes. In einzelnen Bereichen der Wasserwerke können dadurch hohe Radonkonzentrationen in der Luft zustande kommen. Insbesondere in Hochbehältern sind Konzentrationen von einigen 10 000 Bq/m<sup>3</sup> und ohne Lüftung sogar bis zu 100 000 Bq/m<sup>3</sup> möglich.



Abb. 11.2-3: Radon im Grundwasser. Quelle: LfU Bayern

Da sich hieraus eine erhebliche Strahlenexposition des Personals ergeben kann, verlangt die Strahlenschutzverordnung seit 2001 eine Abschätzung der Radonexposition an solchen Arbeitsplätzen. Das Forschungszentrum Karlsruhe führte im Auftrag des Landes systematische Radonerhebungsmessungen in Wasserwerken in Baden-Württemberg durch. Den Wasserwerken wurden hierzu kostenlos Orts-exposimeter zur Verfügung gestellt, die über zwei Wochen in Hochbehältern und Wasseraufbereitungsanlagen ausgelegt wurden. Zusätzlich erhielten betroffene Beschäftigte Personenexposimeter, die beim Aufenthalt in diesen Bereichen über drei Monate getragen wurden.

Die gewonnenen Ergebnisse von 1163 Messorten bei 117 Wasserversorgungsunternehmen (WVU) zeigen, dass erhöhte Konzentrationen von Radon und seinen kurzlebigen Folgeprodukten an Arbeitsplätzen in Wasserwerken auftreten und damit das dort beschäftigte Personal einer Strahlenexposition ausgesetzt werden kann, die nicht mehr vernachlässigt werden darf.

Fast die Hälfte der Messwerte liegen zwar unter 1 000 Bq/m<sup>3</sup>, aber rund 29 % immerhin zwischen 1 000 Bq/m<sup>3</sup> und 5 000 Bq/m<sup>3</sup> und 14 % zwischen 5 000 Bq/m<sup>3</sup> und 10 000 Bq/m<sup>3</sup>. Bei 8 % der Messwerte wurde eine Radonkonzentration von über 10 000 Bq/m<sup>3</sup> festgestellt. Bei einer angenommenen Aufenthaltszeit von 220 Stunden (an jedem Arbeitstag eine Stunde am gemessenen Ort) würde bei einer Radonkonzentration von 10 000 Bq/m<sup>3</sup> der Eingreifwert erreicht, der einer Dosis von 6 mSv entspricht. Darüber liegende Werte entsprechen der Dosisbelastung einer beruflich strahlenexponierten Person der höchsten Kategorie A. Bis Ende 2008 wurden in Baden-Württemberg acht WVU gefunden, die den Eingreifwert von 6 mSv im Kalenderjahr zum Teil deutlich überschreiten. 17 Personen sind davon betroffen. Hier werden die WVU gemeinsam mit den atomrechtlichen Aufsichtsbehörden tätig, um die Strahlenexposition herabzusetzen. Bei weiteren 25 Personen aus 13 WVU wird eine Jahresdosis von 3 mSv überschritten, hier werden zumeist Belüftungsmaßnahmen und eine Wiederholungsmessung nach 2 Jahren empfohlen.

Die durchgeführten Ortsmessungen bestätigen, dass aus dem groben Raster der bisher durchgeführten Vorhaben zur Bestimmung der Radonkonzentration in Bodenluft und der Radonkonzentration in Wasser generell keine Aussagen über die Konzentrationen in den Anlagen der Wassergewinnung und damit eine Abschätzung der Personen-

dosis durchgeführt werden können. Gerade die Region um Heilbronn, wo gleich bei drei Wassergewinnungsanlagen Überschreitungen des Eingreifwertes auftraten, ragte bei vorangegangenen Untersuchungen nicht als ein Gebiet mit erhöhtem geogenen Radonpotenzial heraus [FZK 2009].

#### **INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN**

mehr Informationen und Messergebnisse zur Kernreaktor- und Radioaktivitätsüberwachung im Internet-Themenportal ‚Radioaktivität‘ der LUBW:

[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

Kernenergieaufsicht beim Umweltministerium Baden-Württemberg:

[www.um.baden-wuerttemberg.de](http://www.um.baden-wuerttemberg.de)

Bundesamt für Strahlenschutz:

[www.bfs.de](http://www.bfs.de)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:

[www.bmu.de/](http://www.bmu.de/)

Kernenergielexikon des Forschungszentrums Karlsruhe:

[www.fzk.de/kernenergielexikon](http://www.fzk.de/kernenergielexikon)

Chemische- und Veterinäruntersuchungsämter:

[www.ua-bw.de](http://www.ua-bw.de)

# 12 Elektromagnetische Felder

Jeder von uns benutzt täglich in vielfältigem Maße elektrische Geräte. All diese Geräte verursachen bei ihrem Betrieb mehr oder weniger starke elektromagnetische Felder.

Nach wie vor besteht jedoch ein gesellschaftliches Konfliktpotenzial bei den technischen Anwendungen, die elektromagnetische Felder erzeugen. Solche Felder, für die wir kein Sinnesorgan besitzen, erregen unter dem Begriff „Elektrosmog“ die Besorgnis eines Teils der Bevölkerung und sind daher immer wieder in der öffentlichen Diskussion.

Die Einwirkung starker elektromagnetischer Felder kann den menschlichen Organismus nachhaltig schädigen. Für sie liegen daher Grenzwerte zur Vermeidung gesundheitlicher Beeinträchtigungen vor, die in der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) niedergelegt sind. Die Allgemeinbevölkerung ist in der Umwelt und im Wohnbereich vergleichsweise schwachen elektromagnetischen Feldern ausgesetzt. Diese Felder bleiben weit unter den Grenzwerten. So genannte „akute Effekte“ treten nicht auf. Die Frage möglicher Langzeitwirkungen schwacher Felder ist noch nicht restlos geklärt, wird aber weiterhin intensiv erforscht.

Bereits im Jahr 2003 hat die LUBW die Einwirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern an insgesamt 895 Messpunkten erfasst. Im landesweiten Durchschnitt lagen die Einwirkungen bei etwa einem Prozent des Grenzwertes. Im Jahr 2009 werden erneut an 600 Messpunkten entsprechende Ermittlungen durchgeführt, um eventuelle Veränderungen, z. B. durch neue Technologien zu erfassen und zu dokumentieren.

## 12.1 VORKOMMEN IN DER UMWELT

Das Spektrum der elektromagnetischen Felder erstreckt sich von den statischen über die niederfrequenten und hochfrequenten Felder, die Wärmestrahlung und das sichtbare Licht bis in den Bereich der ionisierenden Strahlung (Röntgenstrahlung, Gammastrahlung vgl. Kap. 11). Abbildung 12.1-1 stellt die Bereiche des elektromagnetischen Spektrums dar, die der Mensch inzwischen technisch vielfältig nutzt.

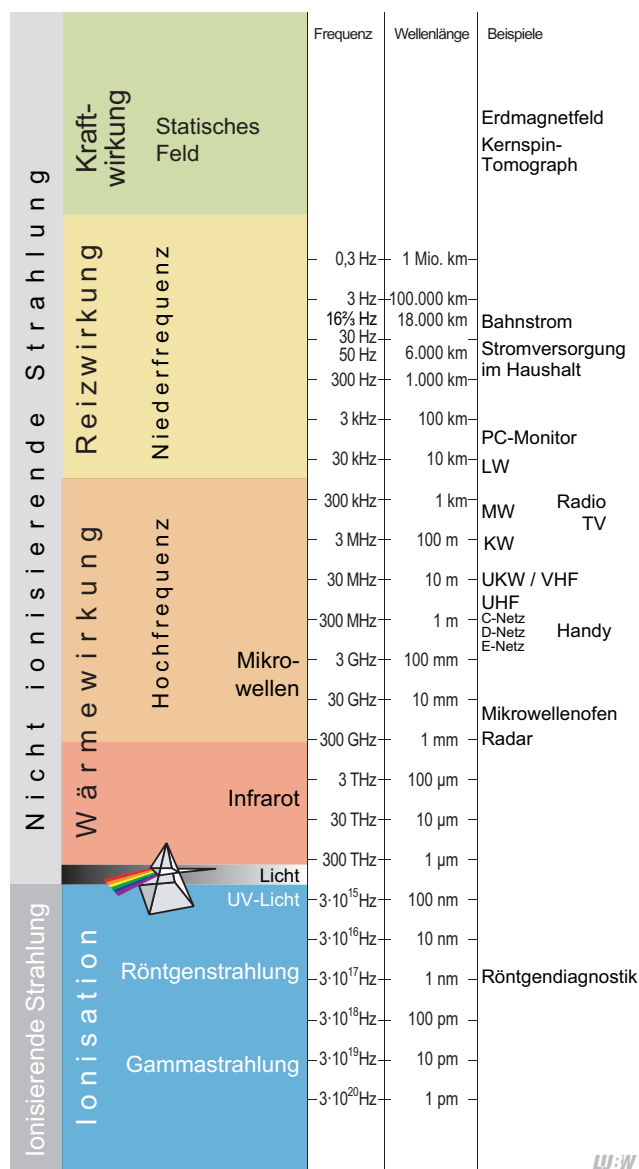


Abb. 12.1-1: Der physikalische Begriff der elektromagnetischen Welle (bzw. Felder oder Strahlen) umfasst einen weiten Frequenzbereich – hier mit Beispielen technischer Nutzung.

Elektromagnetische Felder sind seit jeher Bestandteil der natürlichen Umwelt des Menschen. Beispiele hierfür sind das Magnetfeld der Erde, das elektrische Feld zwischen Erdboden und höheren Atmosphärenschichten oder die Licht- und Wärmestrahlung der Sonne. Auch bei Blitzentladungen werden elektromagnetische Felder erzeugt, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten und noch in Hunderten von Kilometern Entfernung gemessen werden können. Dadurch lassen sich Blitze genau lokalisieren und bildlich darstellen. Es gibt auch Lebewesen, die in der Lage sind, elektrische Felder zu erzeugen. Sie besitzen zudem einen „Elektrosinn“ zur Wahrnehmung von Feldern und Feldän-

derungen. So nutzt etwa der Nilhecht schwache elektrische Felder zur Ortung von Beute und Hindernissen in trübem Wasser. Dabei treten Spannungen von einigen Volt auf. Andere Fische, wie etwa der Zitteraal, verwenden stärkere Felder zur Lähmung ihrer Beute. Dabei treten schlagartige Entladungen und Spannungen bis zu 800 Volt auf.

Niederfrequente Felder treten z. B. bei der öffentlichen Stromversorgung, im Haushalt sowie bei Bahnstromanlagen auf. Praktisch überall wo Elektrizität erzeugt, transportiert oder genutzt wird, entstehen als unvermeidliche Begleiterscheinung entsprechende Felder. Generell gilt: Je kleiner der Abstand zu den Strom führenden Teilen und je höher Stromstärke und Spannung, desto größer sind die resultierenden Felder.

Hochfrequente elektromagnetische Felder werden vor allem zur Übertragung von Informationen verwendet, wie z. B. beim Radio, Fernsehen oder Mobilfunk. Auch Schnurlostelefone (DECT – Digital Enhanced Cordless Telecommunications) und kabellose Verbindungen wie WLAN (Wireless Local Area Network) gehören hierher. In der zivilen und militärischen Flugüberwachung werden Radarsysteme verwendet, die im hochfrequenten Bereich arbeiten. Da elektromagnetische Wellen Energie transportieren, lassen sich mit ihnen auch Gegenstände oder Speisen erhitzen. Induktionsöfen, Hochfrequenz-Schweißgeräte oder Mikrowellengeräte sind Beispiele für solche Anwendungen.

## 12.2 GRENZWERTE

Die in Deutschland geltenden Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung vor der Einwirkung elektromagnetischer Felder, die von Nieder- und Hochfrequenzanlagen ausgehen, sind in der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) geregelt. 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. Im Niederfrequenzbereich regelt die Verordnung die Frequenzen von  $16^{2/3}$  Hertz (Hz) und 50 Hz (Tab. 12.2-1). Im Hochfrequenzbereich gilt sie für Anlagen mit einer Sendefrequenz zwischen 10 MHz und 300 000 MHz und einer Sendeleistung von mindestens 10 W (Tab. 12.2-2). Nicht einbezogen sind Rundfunksender der Lang-, Mittel- und Kurzwelle.

Für die hier wesentlichen Frequenzbereiche von 0,1 MHz bis 10 MHz kann auf die Empfehlung der Strahlenschutzkommission vom September 2001 zurückgegriffen werden. Die Anwendung der Verordnung ist auf wirtschaftlich bzw. gewerblich genutzte, ortsfeste Anlagen eingeschränkt. Das bedeutet, dass z. B. Anlagen des Amateurfunks oder elektrische Geräte und Handys nicht von der 26. BImSchV erfasst werden.

Die Einhaltung der Grenzwerte von ortsfesten Hochfrequenzanlagen und von Anlagen wie Rundfunksendern oder Amateurfunkanlagen, die nicht der 26. BImSchV unterliegen, wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Bundesnetzagentur geprüft. In verschiedenen Messkampagnen wurde gezeigt, dass die Grenzwerte in den Bereichen, in denen sich Menschen aufhalten, erheblich unterschritten werden.

Tab. 12.2-1: Grenzwerte für Niederfrequenzanlagen nach der 26. BImSchV.

Frequenz	Elektrische Feldstärke Effektivwert (kV/m)	Magnetische Flussdichte Effektivwert (µT)
50 Hz	5	100
$16^{2/3}$ Hz	10	300

Tab. 12.2-2: 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 - 2 000	$1,375\sqrt{f}$	$0,0037\sqrt{f}$
2 000 - 300 000	61	0,16

Nationale wie internationale Organisationen nehmen Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen sehr ernst. Bund und Länder unterstützen weiterhin die Forschung in diesem Bereich, um mögliche gesundheitliche Auswirkungen zu untersuchen und offene Fragen zu klären.

Um Kenntnislücken zu schließen und die Datenbasis für die Risikobewertung zu verbessern, wurde in den Jahren 2002 bis 2008 im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms insgesamt 54 Forschungsprojekte durchgeführt. Hinweise auf gesundheitsrelevante Wirkungen hochfrequenter Felder konnten nicht bestätigt werden. Dies betrifft z. B. auch die vermuteten Einflüsse auf den Schlaf, die Hirnleistung, die Blut-Hirn-Schranke, Immunparame-



ter, die Verarbeitung von visuellen oder akustischen Reizen oder die Verursachung von Krebserkrankungen, Tinnitus oder Kopfschmerzen. Es wurden keine neuen Hinweise auf mögliche gesundheitsrelevante Wirkungen gefunden, insbesondere auch keine athermischen Wirkmechanismen durch schwache elektromagnetische Felder. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm' dazu beigetragen hat, die Datenlage der wissenschaftlichen Erkenntnisse bezüglich hochfrequenter Felder und deren Auswirkungen auf den Menschen entscheidend zu verbessern. Offen blieb jedoch noch die Frage nach möglichen Langzeitriskien für Handynutzungszeiten von mehr als zehn Jahren. Außerdem existiert weiterhin Forschungsbedarf im Hinblick auf die Frage, ob Kinder empfindlicher auf hochfrequente elektromagnetische Felder reagieren als Erwachsene. Darum ist auch weiterhin ein vorsichtiger, vorsorglicher Umgang mit drahtlosen Kommunikationstechniken angebracht.

Die Exposition der Bevölkerung mit niederfrequenten Magnetfeldern liegt im Mittel weit unter den gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten. Bei vereinzelt statistischen Untersuchungen wurde 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 daher nicht klar ist, ob tatsächlich ein Zusammenhang zwischen Magnetfeldern und Krebs besteht, hat die 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 unmittelbaren Einwirkungsbereich von Hochspannungsleitungen vermieden werden.

## 12.3 EINWIRKUNGEN DURCH ELEKTRO-MAGNETISCHE FELDER

### 12.3.1 GROSSRÄUMIGE IMMISSIONSMESSUNGEN

Die LUBW hat im Rahmen eines umfangreichen Messprogramms die Einwirkungen durch elektromagnetische Wellen in mehreren repräsentativen Gebieten Baden-Württembergs flächenhaft an fast 900 Messpunkten erfasst. Dabei wurden alle wesentlichen Funkanwendungen im Frequenzbereich

von 9 kHz bis 3 GHz, insbesondere Rundfunk, Fernsehen und Mobilfunk, abgedeckt. Die Messungen deckten etwa 10 % der Landesfläche ab und umfassten 143 Gemeinden, in denen etwa ein Drittel der Bevölkerung des Landes lebt. Das Projekt wurde 2003 abgeschlossen. Im Jahr 2009 werden an 600 dieser Messpunkte erneut entsprechende Messungen in den Regionen Mannheim-Heidelberg, Freiburg, Stuttgart und Oberschwaben vorgenommen, um Veränderungen zu erfassen und zu dokumentieren. Die Ergebnisse aus dem Jahr 2003 sind in den Abbildungen 12.3-1 und 12.3-2 dargestellt. Die Einwirkungen durch elektromagnetische Felder lagen 2003 im landesweiten Durchschnitt bei etwa einem Hundertstel des Grenzwertes. An 60 % der Messpunkte war dieser Wert unterschritten.

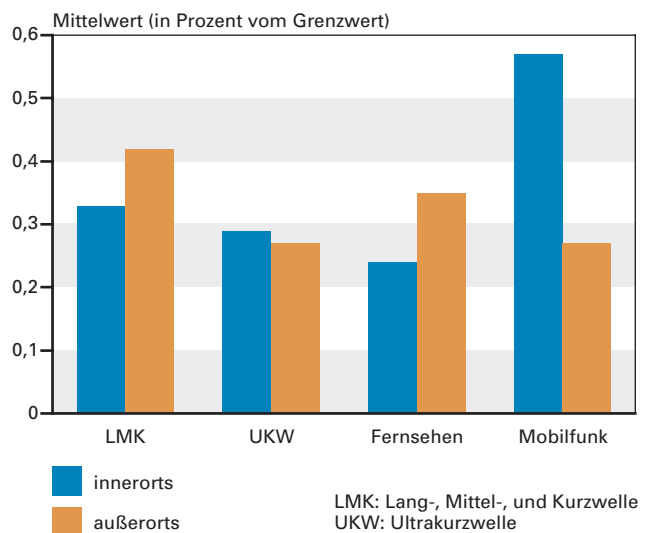


Abb. 12.3-1: Beiträge von Rundfunk, Fernsehen und Mobilfunk innerorts und außerorts im Vergleich – dargestellt sind die erreichten Prozentanteile des Grenzwertes [LFU 2003].

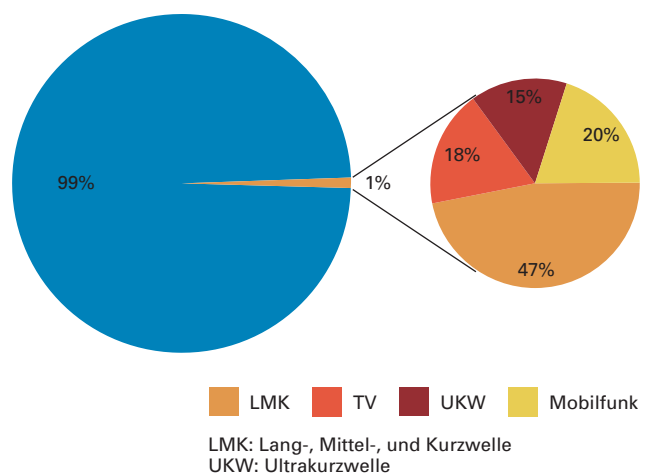


Abb. 12.3-2: Durchschnittliche Grenzwertausschöpfung aller Funkdienste zusammen (links) und über alle Messpunkte gemittelter Anteil der einzelnen Funkdienste an den Gesamtmissionen [LFU 2003].

### 12.3.2 NIEDERFREQUENTE FELDER IM HAUSHALT

In Wohnungen sind die im eigenen Haushalt betriebenen Elektrogeräte und die fest installierten elektrischen Hausinstallationen die größten Quellen elektromagnetischer Felder. Relativ starke Magnetfelder im Haushalt können Geräte zur Wärmeerzeugung mit hohem Stromverbrauch sein (z. B. Induktionsherd, Herd) oder Geräte mit Trafo oder Magnetspulen (Radiowecker, Halogenlampen, Röhren-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. Die Tabellen 12.3-1 und 12.3-2 stellen Felddaten einiger alltäglicher Geräte bei verschiedenen Abständen dar. Für die Versorgung mit elektrischer Energie wird in Deutschland Drehstrom mit einer Frequenz von 50 Hz eingesetzt. Da-

Tab. 12.3-1: Magnetfelder in der Nähe von elektrischen Haushaltsgeräten – angegeben sind die magnetischen Flussdichten in Mikrottesla ( $\mu\text{T}$ ). Quellen: Strahlenschutzkommission SSK, Bundesamt für Strahlenschutz BfS, Bundesamt für Umwelt BAFU (Schweiz), Bundesamt für Gesundheitswesen BAG (Schweiz), LUBW. Stand: 2005

Gerät	Magnetfeld ( $\mu\text{T}$ )		
	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 (Röhre)	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	0,01	
Halogen-Schreibtischlampe	25 - 80	0,5 - 2	
Niedervolt Halogenbeleuchtungssystem			bis 0,3

mit 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. Durch Umspannwerke und Niederspannungs-Netzstationen wird der Strom für den Endverbraucher auf die Niederspannungsebene von 400 V bzw. 230 V transformiert.

Tab. 12.3-2: Elektrische Feldstärken in Volt pro Meter (V/m) von elektrischen Haushaltsgeräten und der Hausinstallation im Abstand von 30 cm (1 cm bei Heizdecken). Quellen: Bundesamt für Strahlenschutz BfS, Bundesamt für Gesundheitswesen BAG (Schweiz), LUBW. Stand: 2008

Gerät	Elektrische Feldstärke (V/m)
Heizdecke	500
Bügeleisen	120
Kaffeemaschine	60
Kühlschrank	120
Haarfön	80
Staubsauger	50
Toaster	80
Glühbirne	< 80
Energiesparlampe	< 100
Steckdose	< 1
Netzkabel der Hausinstallation	< 0,1

### 12.3.3 NIEDERFREQUENTE FELDER DES STROMVERSORGUNGSNETZES

Im Bereich der Stromversorgung treten die stärksten Belastungen in unmittelbarer Nähe von Hochspannungsleitungen oder Transformatorenstationen auf. Bei Transformatoren treten höhere Magnetfeldstärken nur bei der Niederspannungsableitung und auch nur unmittelbar an der Außenwand auf. So hat die LUBW bei einer Transformatorenstation 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 der Erstellung von Hochspannungsfreileitungen werden die auftretenden Feldstärken berechnet und können auch optimiert werden. Dabei wird die höchste betriebliche Anlagenlast zugrunde gelegt. Die Hochspannungsleitungen werden in der Regel mit einer Auslastung von maximal 30 % betrieben. Entsprechend geringer sind dann die Felder.

Die elektrische Feldstärke in der Nähe von Hochspannungsfreileitungen (Abb. 12.3-3) 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. Die elektrischen Feldstärken nehmen mit zunehmender Entfernung von der Freileitung rasch ab. So treten in 50 m Abstand in Bodennähe nur noch Feldstärken von maximal 0,5 kV/m auf. Die magnetische Flussdichte an einer Hochspannungsfrei-

leitung hängt u. a. von der Stromstärke, der Leiteranordnung, dem Abstand der Leiter untereinander, der Phasenbelegung und insbesondere der Entfernung von den Leiterseilen ab. In Abbildung 12.3-4 ist der Verlauf der magnetischen Flussdichte im räumlichen Umfeld einer Freileitung dargestellt. Die höchsten magnetischen Flussdichten in Bodennähe treten direkt unterhalb der Leiterseile auf. Sie nehmen mit zunehmender Entfernung von der Freileitung sehr rasch ab. In 50 m Abstand werden in Bodennähe nur noch maximale Flussdichten von wenigen Mikrottesla registriert.

#### 12.3.4 HOCHFREQUENTE FELDER

Hochfrequente elektromagnetische Felder werden vor allem zur Übertragung von Informationen verwendet, wie z. B. beim Radio, Fernsehen, Mobilfunk, bei Schnurlostelefonen im Haushalt und bei Anwendungen zur kabellosen Verbindung verschiedener Geräte. Auch Mikrowellenkochgeräte arbeiten mit hochfrequenten Feldern.

In den letzten Jahren war es gerade die Anwendung des Mobilfunks, welche trotz aller Besorgnis in der Bevölkerung rasant zugenommen hat (Abb. 12.3-5 und 12.3-6).

Ende 2007 gab es in Deutschland über 62 000 Standorte mit Mobilfunksendern, an denen ca. 500 000 Sendeantennen installiert sind. Mit Hilfe eines Feldberechnungsprogrammes kann das Abstrahlverhalten einer solchen Mobilfunkantenne dargestellt werden (Abb. 12.3-7).

In Tabelle 12.3-3 sind Frequenzen, typische Sendeleistungen und Expositionen für die einzelnen Mobilfunknetze zusammengestellt. Mit diesen Sendeleistungen können Funkverbindungen über einige 100 Meter in Städten und einige Kilometer in der freien Landschaft erreicht werden. Eine flächendeckende Mobilfunkversorgung erfordert daher ein dichtes Netz von Basisstationen. Für die Aufstellung der Antennen werden vorrangig höher gelegene Masten

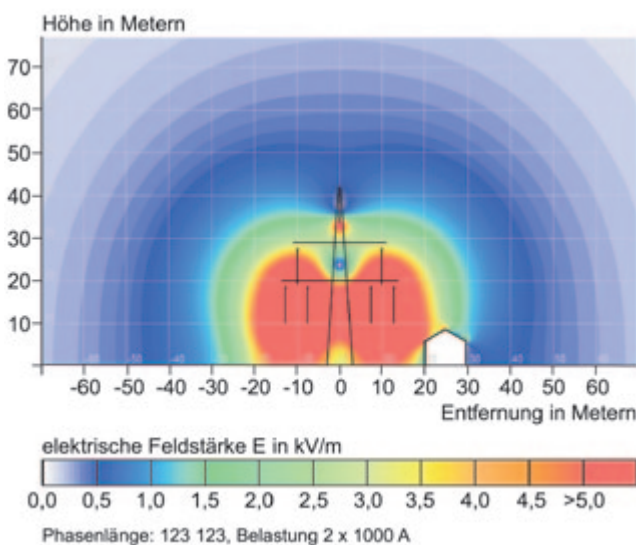


Abb. 12.3-3: Verlauf der elektrischen Feldstärke in der Umgebung einer 380-kV-Freileitung. Quelle: WinField, Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie – FGEU 2009

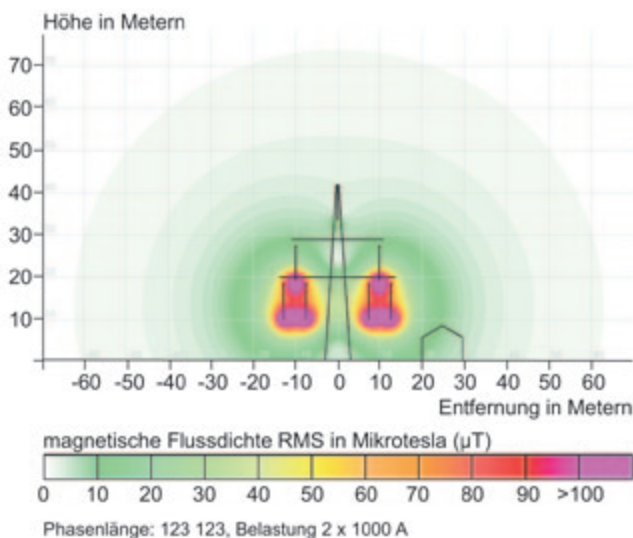


Abb. 12.3-4: Verlauf der magnetischen Flussdichte in der Umgebung einer 380-kV-Freileitung. Quelle: WinField, Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie – FGEU 2009

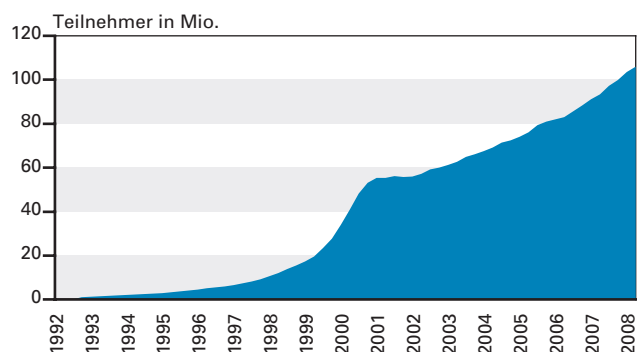


Abb. 12.3-5: Teilnehmerentwicklung im Mobiltelefondienst 1992 bis 2008. Quelle: Bundesnetzagentur 2009

oder höhere Gebäude gesucht, damit die einzelnen Basisstationen möglichst abschattungsfrei ihr Versorgungsgebiet abdecken können. In Städten werden Antennen auch an exponierten Orten (z. B. auf Litfasssäulen oder Telefonzellen)

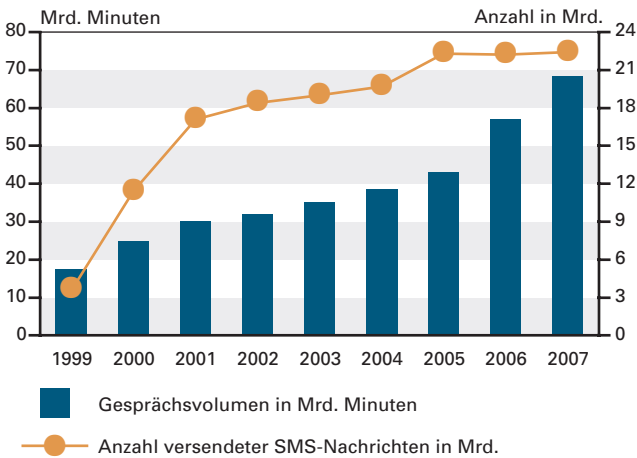


Abb. 12.3-6: Mobilfunknutzung – Entwicklung der Gesprächszeiten (von Mobilfunkgeräten abgehende Gespräche) und SMS-Nachrichten in Deutschland von 1999 bis 2007. Quelle: Bundesnetzagentur 2009

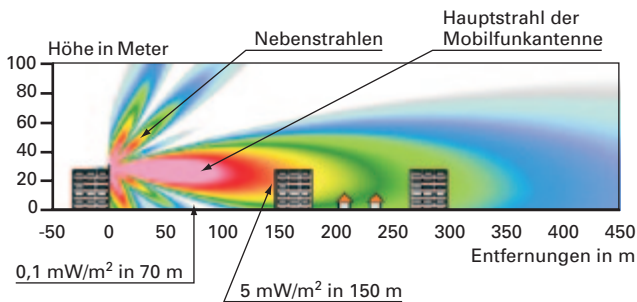


Abb. 12.3-7: Beispiel für das Abstrahlverhalten einer Mobilfunkantenne (Sektorantenne in 30 m Höhe). Die angegebenen Werte beziehen sich auf die Leistungsflussdichte (in Milliwatt pro m<sup>2</sup>). Quelle: LfU Bayern 2009

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 Handyantenne und dem Kopf des Anwenders.

Schnurlose Festnetztelefone übertragen mit Funkwellen im Gigahertzbereich Gespräche zwischen der am Festnetz angeschlossenen Basisstation und einem oder mehreren Mobilteilen. Dabei wird der sogenannte DECT-Standard verwendet. Die Handgeräte haben je nach Ausbreitungs- und Empfangsbedingungen unter Umständen eine Reichweite von mehreren hundert Metern. Angaben zur Exposition finden sich in Tabelle 12.3-3. Für den Aufbau kabelloser Verbindungen zwischen Geräten der Telekommunikation und der Datenverarbeitung werden die modernen Kommunikationstechnologien WLAN und Bluetooth verwendet. Die durch Bluetooth oder WLAN erzeugte Strahlung bleibt deutlich unter den Grenzwerten für die spezifischen Absorptionsraten (SAR, Teil- oder Ganzkörper) (Tab. 12.3-3). Rundfunk- und Fernsehsender tragen mit etwa drei Viertel am meisten zur durchschnittlichen Exposition der Bevölkerung mit hochfrequenten Funkwellen bei. In Baden-Württemberg gibt es eine Vielzahl von Standorten mit Rundfunk- und Fernsehsendeanlagen. Dies dient der flächendeckenden Versorgung der Bevölkerung. Die Gesamtsendeleistung liegt bei rund 10 MW. Nur eine geringe Anzahl von rund 25 Sendern sendet dabei mit Leistungen von über 100 kW.

In Tabelle 12.3-4 sind für weitere technische Anwendungen

Tab. 12.3-3: Frequenzbereiche von Mobilfunk, Schnurlostelefonen und drahtlosen Netzwerken mit typischen Expositionen. Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz BfS 2006

Quelle	Frequenz	Abstand	Typische Exposition	Bemerkungen
<b>Mobilfunk</b>				
D-Netz Basisstation	890 - 960 MHz	50 m	0,06 W/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	0,04 W/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	0,04 W/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

SAR: Spezifische Absorptionsrate

Tab. 12.3-4: Typische Werte der Exposition durch alltägliche Hochfrequenzfelder. Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz BfS 2006

Quellen	Frequenz	Abstand	Typische Expositionen	Bemerkungen
<b>Mikrowellenkochgeräte</b>	2,45 GHz	5 cm	0,5 W/m <sup>2</sup>	Mittelwert
		30 cm	< 0,05 W/m <sup>2</sup>	0,1-1,3 kW Leistung
<b>Radar-Systeme</b>				
Verkehrsradar	9-35 GHz	3 m	< 250 mW/m <sup>2</sup>	Leistung 0,5-100 mW
		10 m	< 10 mW/m <sup>2</sup>	
Wetterradar	1-10 GHz	100 m	10 W/m <sup>2</sup>	in Hauptstrahlrichtung bei 100-250 kW Leistung
Flugüberwachungsradar (zivil und militärisch)	1-10 GHz			0,2 kW bis 2,5 MW Leistung
<b>Warensicherungsanlagen</b>	1 MHz-10 GHz		< 2 mW/m <sup>2</sup>	im Nutzstrahl
<b>CB-Funk (Antennenanlage)</b>	26,6-27,4 MHz			wenige Watt Leistung
<b>CB-Funk (Handgerät)</b>	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
Kurzwellen	4-26 MHz	50 m	121,5 V/m	bei 750 kW Leistung
		220 m	27,5 V/m	
Mittelwellen	0,526-1,6 MHz	50 m	450 V/m	bei 1,8 MW Leistung
		300 m	90 V/m	

von Hochfrequenzfeldern Daten über Frequenzen und Expositionen (Mikrowellenkochgeräte, Warensicherungsanlagen im Kaufhaus, CB-Funk, Verkehrsradar, Flugsicherungsradar, Rundfunk- und Fernsehsender, u. a.) zusammengestellt.

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

mehr Informationen im Internet-Themenportal ‚Elektromagnetische Felder‘ und Veröffentlichungen im Internet-Angebot ‚Publikationen‘ der LUBW:  
[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

Deutsches Mobilfunkforschungsprogramm:  
[www.emf-forschungsprogramm.de/](http://www.emf-forschungsprogramm.de/)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:  
[www.bmu.de](http://www.bmu.de)

Bundesamt für Strahlenschutz:  
[www.bfs.de](http://www.bfs.de)

Bayerisches Landesamt für Umwelt:  
[www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

EMF-Portal der RWTH Aachen:  
[www.emf-portal.de](http://www.emf-portal.de)

Aktuelle Informationen über die Strahlenbelastung von Handy-Modellen:  
[www.handywerte.de](http://www.handywerte.de)

Schweizer Bundesamt für Umwelt:  
[www.bafu.admin.ch/elektrosmog/](http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/)

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection:  
[www.icnirp.de](http://www.icnirp.de)

Weltgesundheitsorganisation:  
[www.who.int/peh-emf](http://www.who.int/peh-emf)

Bundesnetzagentur:  
[www.bundesnetzagentur.de](http://www.bundesnetzagentur.de)

Standorte ortsfester Mobilfunksendeanlagen:  
[www.emf.bundesnetzagentur.de](http://www.emf.bundesnetzagentur.de)



# 13 Altlasten

Seit rund 20 Jahren ist das Land Baden-Württemberg damit beschäftigt, die Gefahren, die von ehemaligen Müllablagerungen und gewerblichen Standorten ausgehen können, zu erkennen und zu beseitigen. Diese Altlasten sind die Kehrseite des enormen technischen und industriellen Fortschritts der letzten 100 Jahre. Der allzu sorglose Umgang mit Chemikalien und Abfällen und die Unkenntnis der Auswirkungen führten häufig zu Verunreinigungen des Untergrunds. Das Gefahrenpotenzial für Mensch und Umwelt wurde dabei oft zu spät erkannt.

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“. 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.

Die Aufarbeitung der Hinterlassenschaften aus der Industriegeschichte ist sehr teuer. Für die kommunale Altlastenbearbeitung hat das Land bislang über 600 Mio. € zur Verfügung gestellt und damit direkte Investitionen von schätzungsweise 800 Mio. € ausgelöst. Aus heutiger Sicht

ist davon auszugehen, dass zur weitgehenden Aufarbeitung des Altlastenproblems noch mindestens 20 Jahre benötigt werden. Die Gesamtkosten zur Behandlung kommunaler und privater Altlasten werden mit 1 - 1,5 Mrd. € abgeschätzt, davon etwa ein Drittel für die kommunalen Altlasten.

## 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 altlastenrelevanten 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 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 2008 haben die unteren Bodenschutz- und Altlastenbehörden insgesamt rund 87 300 Flächen erfasst. Davon konnten bisher rund 37 300 Fälle (42 %) ohne Altlastenverdacht ausgeschieden werden. Im Altlastenkataster sind Ende 2008 13 987 Flächen als altlastverdächtig eingestuft, 2 020 Flächen (2 %) stehen als Altlasten fest (Abb. 13.1-1), insgesamt sind demnach 16 007 Flächen (18 %) registriert.

Nachdem zwischen 2002 und 2004 die Zahl der altlastverdächtigen Flächen eher rückläufig war, zeigt sich seit 2004 bedingt durch die Nacherfassungsaktivitäten eine deutliche Zunahme um etwa 3 900 Flächen bis Ende 2007 (Abb. 13.1-2). Aus den Ergebnissen der Nacherfassungen ist zu schließen, dass durch die Fortschreibung im Laufe der nächsten Jahre weitere altlastverdächtige Altstandorte dazukommen werden. Die Zahl der altlastverdächtigen Altablagerungen hat sich seit 2002 kontinuierlich verringert. Altablagerungen (ehemalige Müllkippen und Industrieabfalldeponien) machen 2008 nur noch 14,6 %

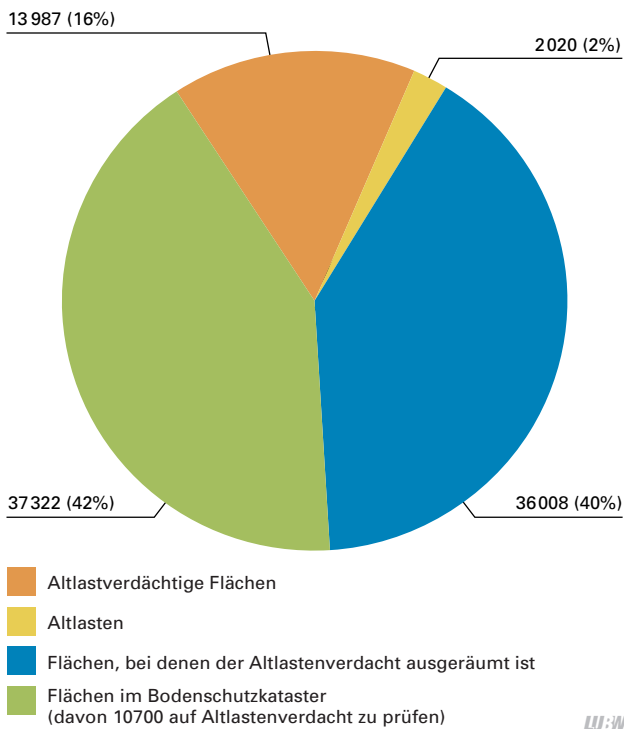


Abb. 13.1-1: Seit Beginn der Altlastenbearbeitung bis Ende 2008 erfasste Flächen. Stand: 12/2008

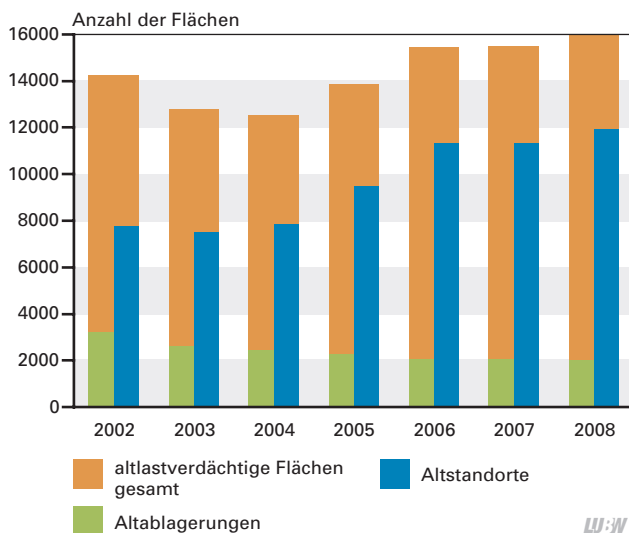


Abb. 13.1-2: Entwicklung der Zahl der altlastverdächtigen Flächen zwischen 2002 und 2008. Stand: 12/2008

(2 048 Flächen) der zu bearbeitenden altlastverdächtigen Flächen aus. 85,4 % der Flächen (11 939) sind Altstandorte. Das Bodenschutzkataster enthält Ende 2008 37 322 Alt-lagerungen und Altstandorte entsprechend 42 % aller erfassten Flächen (Abb. 13.1-1). Teilweise handelt es sich dabei um Flächen, die vor den bundesgesetzlichen Regelungen vorsorglich ohne konkrete Hinweise auf Schadstoffeinträge in den Boden dokumentiert wurden, da ein Verdacht nicht vollständig ausgeschlossen werden konnte. Derzeit müssen davon noch rund 10 742 Fälle im Zuge

der Nacherfassung 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 im Bodenschutzkataster geführt, da bei Baumaßnahmen entsorgungsrelevantes Bodenmaterial anfallen kann. Aufgrund günstiger Verhältnisse, die, wie z. B. eine Versiegelung, einen Schadstoffaustrag verhindern, wird bei ca. 10 % derzeit kein Handlungsbedarf erwartet, obwohl es sich um altlastverdächtige Flächen handelt. Ein weiterer Untersuchungsbedarf dürfte sich nur für ca. 15 % der Flächen ergeben. Abbildung 13.1-3 zeigt die punktuelle Verteilung der altlastverdächtige Flächen und festgestellten Altlasten im Land. Deutlich sieht man eine Häufung in den stark industriell geprägten Gebieten wie im Großraum Stuttgart oder im Rhein-Neckar-Kreis. Die Fälle umfassen insgesamt etwa eine Fläche von 220 km<sup>2</sup> (zum Größenvergleich: das Stadtgebiet von Mannheim beträgt 145 km<sup>2</sup>, das von Karlsruhe 173 km<sup>2</sup> und das von Stuttgart 207 km<sup>2</sup>).

Diese nicht unbedeutende Fläche macht deutlich, wie wichtig die Altlastenbearbeitung im Umfeld von Planungsvorhaben, wie z. B. Regional-, Bauleit- oder Verkehrspla-

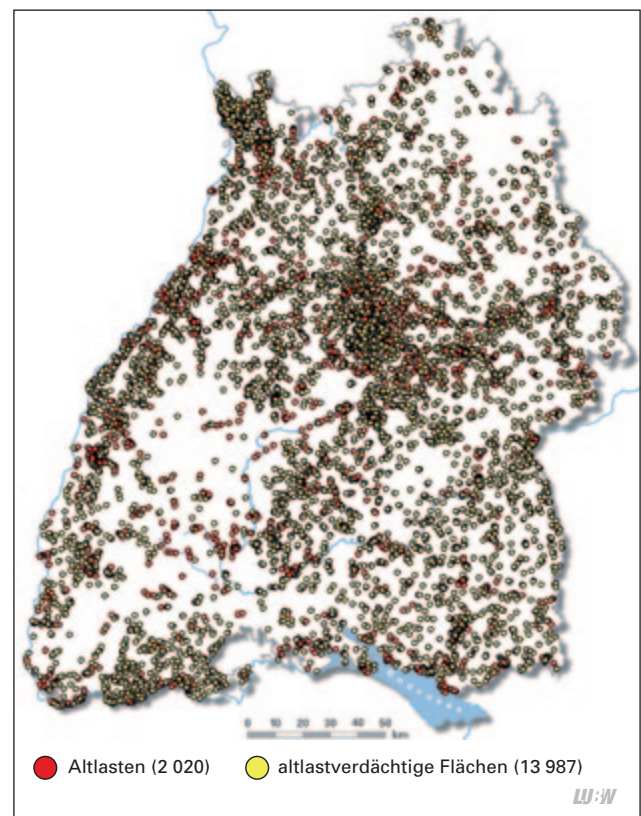


Abb. 13.1-3: Übersicht über die altlastverdächtigen Flächen und Altlasten im Land. Stand: 12/2008

nung, aber auch im Grundstücksverkehr und beim Industriebranchenrecycling 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 erfassen, zu untersuchen und gegebenenfalls zu sanieren und wieder zu nutzen anstatt mit hohen Kosten auf bisher unberührten Flächen neue Gewerbe- und Industriegebiete zu schaffen.

## 13.2 GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG

Durch Altlasten können die Schutzgüter Boden, Grundwasser, Oberflächengewässer, Flora und Fauna gefährdet sein. Da die Empfindlichkeit der verschiedenen Schutzgüter gegenüber Schadstoffen sehr unterschiedlich sein kann, nennt die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BBodSchV) 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 Einwirkungen aus Altlasten betroffen (Abb. 13.2-1).

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. Insgesamt ist bei 13 396 Fällen die Gefährdungsabschätzung abgeschlossen (Abb. 13.2-2)

Das systematische Vorgehen in Baden-Württemberg sieht am Ende jeder Bearbeitungsstufe vor, dass der Erkenntnisstand bewertet und dann 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.

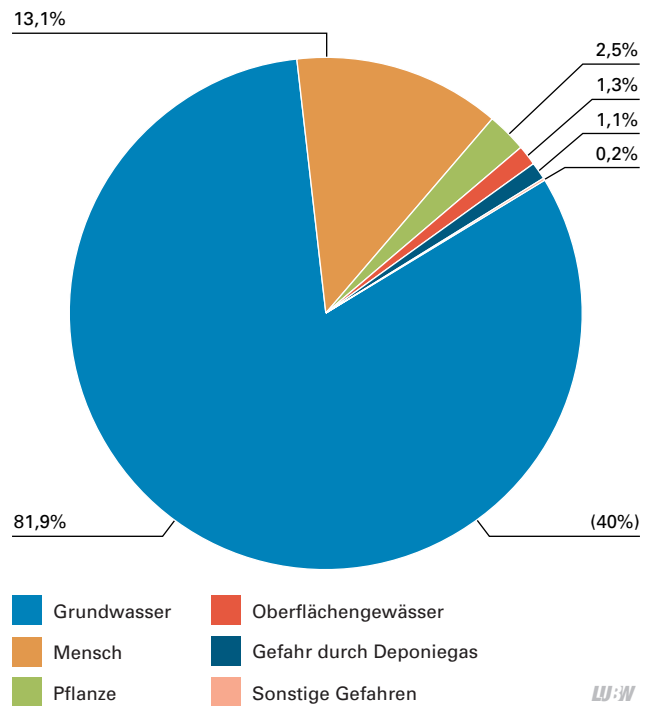


Abb. 13.2-1: Anteile verschiedener Wirkungspfade für Gefährdungen durch Altlasten. Stand: 12/2008

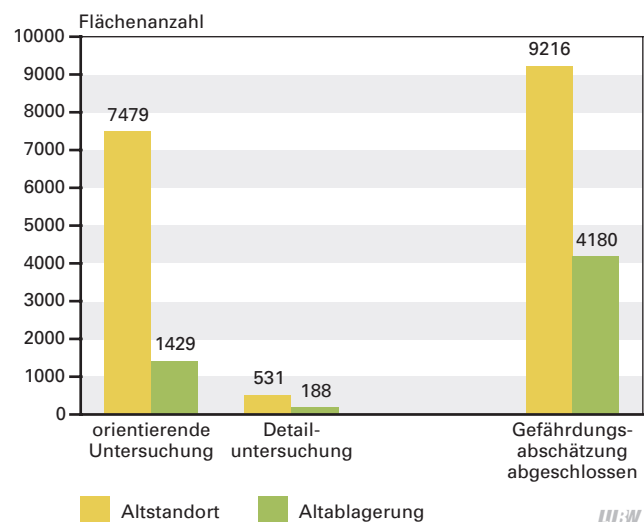


Abb. 13.2-2: Bis Ende 2008 in Bearbeitung befindliche (linke Seite) und abgeschlossene (rechte Seite) Gefährdungsabschätzungen. Stand: 12/2008

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. 13.2-3).

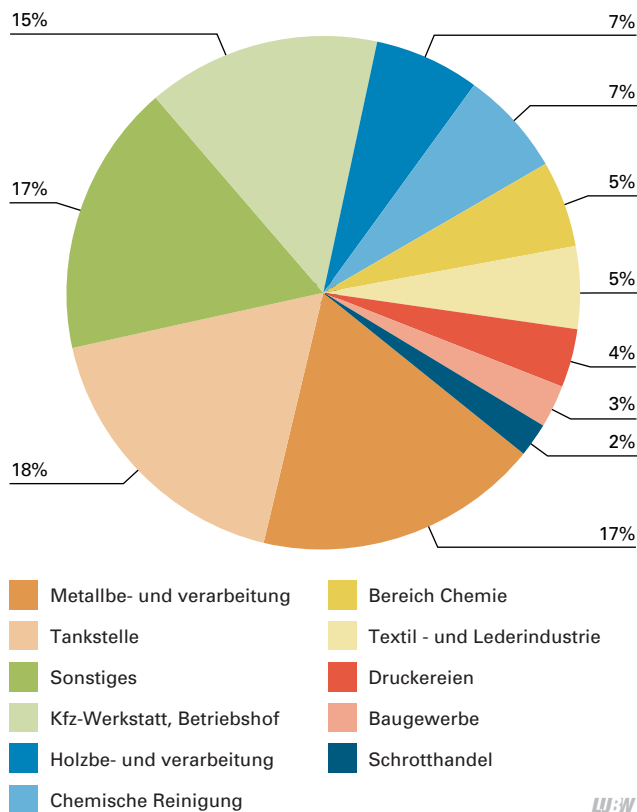


Abb. 13.2-3: Nutzungen, die zu einem Altlastenverdacht geführt haben. Stand: 12/2008

### 13.3 SANIERUNG

Seit Beginn der Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg wurde bei 2 920 Flächen ein Sanierungsbedarf festgestellt. Bis Ende 2008 konnten davon 2 278 Sanierungen abgeschlossen werden, allein 1 683 Fälle zwischen 2002 und 2008. Im Vergleich zur Gesamtzahl der altlastverdächtigen Flächen und der Zahl der abgeschlossenen Gefährdungsabschätzungen ist die Zahl der sanierten Fälle jedoch verhältnismäßig klein (Abb. 13.3-1).

889 Fälle konnten nach erfolgreicher Sanierung aus dem Altlastenkataster entfernt werden. Bei 924 Fällen verbleibt nach der Sanierung eine Restbelastung, wodurch bei Baumaßnahmen entsorgungsrelevantes Bodenmaterial anfallen kann. In 162 Fällen konnte trotz Sanierung der Sanierungszielwert für das Grundwasser nicht vollständig erreicht werden. Die Restverunreinigung wird aus Gründen der Verhältnismäßigkeit jedoch hingenommen, die Fälle verbleiben weiterhin im Altlastenkataster. 110 Fälle werden derzeit nach der Sanierung im Rahmen der Nachsorge weiter überwacht. Aus den Fällen, die derzeit und in den nächsten Jahren noch zu untersuchen sind, werden weitere Sanierungen resultieren.

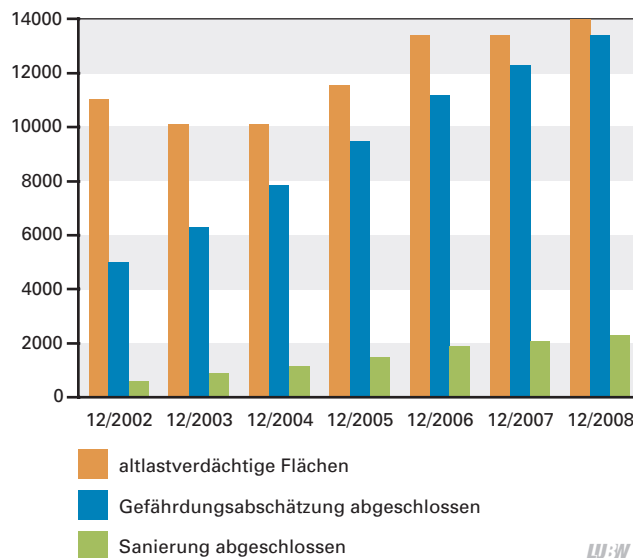


Abb. 13.3-1: Entwicklung der Sanierungen 2002 bis 2008. Stand: 12/2008

#### INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN

weitere Dokumente im Internet-Angebot ‚Dokumenten-  
dienst‘ der LUBW:

[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

Altlastenforum Baden-Württemberg e.V.:

[www.iws.uni-stuttgart.de/Sonstiges/ALTLASTENFORUM/  
index.html](http://www.iws.uni-stuttgart.de/Sonstiges/ALTLASTENFORUM/index.html)

Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e.V.:

[www.itv-altlasten.de](http://www.itv-altlasten.de)

# Literatur

- AGEB (2009): Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2008. [www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de)
- ÄRZTEBLATT (2007): Feinstaub – ein Problem, das alle angeht. Forum und Podiumsdiskussion zum Thema Feinstaub in Gießen unter Beteiligung des Ausschusses Umwelt und Medizin der Landesärztekammer Hessen Andreas Knaust, Thomas Eikmann, Caroline Herr, Hessisches Ärzteblatt 4/2007.
- BALKENHOL (2007): Balkenhol, B.; Russel, D.: Analyse und Bewertung der Collemboledaten aus Wald-Dauerbeobachtungsflächen des ökologischen Wirkungskatasters Baden-Württembergs. Studie im Auftrag der LUBW, Staatliches Museum für Naturkunde Görlitz, 111 Seiten, unveröffentlicht.
- BFS (2009): Bundesamt für Strahlenschutz: [www.bfs.de](http://www.bfs.de)
- BINOT ET AL. (1998): Binot, M., Bless, R., Boye, P., Gruttke, H.; Pretscher, P. (Bearb.): Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. – 434 S., Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz); Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, Heft 55. ISBN 3-89624-110-9.
- BLAG KLINA (2007): Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft „Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit“ (BLAG KliNa). Erfahrungsbericht Indikatoren der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Nachhaltige Entwicklung – BLAG-NE verabschiedet von der 69. Umweltministerkonferenz am 15. bis 16. November 2007 in Schloss Krickenbeck Stand: 16. November 2007.
- BMVBW (2008): Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 2007.
- BUNDESWALDINVENTUR (2005): Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: [www.bundeswaldinventur.de](http://www.bundeswaldinventur.de)
- BVL (2007): Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit: Absatz an Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland. Ergebnisse der Meldungen gemäß § 19 Pflanzenschutzgesetz für das Jahr 2007. [www.bvl.bund.de](http://www.bvl.bund.de)
- CARLOWITZ (1713): von Carlowitz, G. C.: „Sylvicultura oeconomica, oder haußwirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung zur wilden Baum-Zucht (1713)“. Zitiert aus Wikipedia.
- CLUB (1972): Club of Rome: „Die Grenzen des Wachstums.“ Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit 1972 von Dennis L. Meadows; Donella H. Meadows; Erich Zahn.
- CVUA (2009): Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Freiburg: „Wild-Überwachungsprogramm Baden-Württemberg“. Veröffentlicht unter [www.ua-bw.de](http://www.ua-bw.de)
- DESTATIS (2009): Statistisches Bundesamt Deutschland. [www.destatis.de](http://www.destatis.de)
- DEWI (2007): Molly, J. P. DEWI GmbH – Deutsches Windenergie Institut: Status der Windenergienutzung in Deutschland – Stand 31.12.2008.
- EBERT (1991): Ebert, G.; Rennwald, E.: Die Schmetterlinge Baden-Württembergs. Band 1 und 2 Tagfalter II. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 552 und 535 S.
- EBERT (1997): Ebert, G.: Die Schmetterlinge Baden-Württembergs. Band 5 Nachtfalter III. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 575 S.
- EEA (2008): European Environment Agency. Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment. EEA Report No 4/2008. ISBN-Nummer: 978-92-9176-372-8.
- ELLENBERG ET AL. (1992): Ellenberg H., H., Weber H.E., Düll R., Wirth V., Werner W.; Paulißen, D.: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scr. Geobot. 18, 258 S.
- EMAS (2009): Gemeinsame Stelle der EMAS-Registrie-



- rungsstellen in Deutschland: [www.emas-register.de](http://www.emas-register.de)
- EU (2007): Europäische Union. Anpassung an den Klimawandel in Europa – Optionen für Maßnahmen der EU. Grünbuch der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen vom 29.6.2007.
- FAL (2007): Ulrich Dämmgen, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): Landbauforschung Völkenrode, Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft – Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2007 für 2005, Einführung, Methoden und Daten. Sonderheft 304 und 304A.
- FLEISCHER (2000): Fleischer, G.: Gut Hören – Heute und Morgen; Median Verlag, Heidelberg
- FLUGLÄRMSCHUTZBEAUFTRAGTER (2007): Jahresberichte des Fluglärmschutzbeauftragten für den Flughafen Stuttgart.
- FNR (2009): Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.: „Bioenergie: Was kann sie 2010 leisten?“ [www.fnr.de](http://www.fnr.de)
- FZK (2009): Forschungszentrum Karlsruhe; persönliche Mitteilung der Inkorporationsmessstelle vom 20.01.2009.
- HBEFA (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1, INFRAS Bern, Februar 2004.
- IFEU (2005): Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg im Auftrag des Umweltbundesamtes: Direkte Emissionen des Straßenverkehrs in Deutschland; Berechnungen mit TREMOD.
- IFEU (2007): Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg: Zukünftige Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs und deren Auswirkung auf die NO<sub>2</sub>-Luftbelastung in Städten in Baden-Württemberg. 31.10.2007.
- IFLS (2007a): Institut für Ländliche Strukturforchung: Halbzeitbewertung des PLENUM-Programms im Projektgebiet Kaiserstuhl; 163 Seiten; Frankfurt.
- IFLS (2007b): Institut für Ländliche Strukturforchung: Halbzeitbewertung des PLENUM-Programms im Projektgebiet Heckengäu; 197 Seiten; Frankfurt.
- IGKB (2005): Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (Hrsg.): Bodensee-Richtlinien 2005.
- IGKB (2009): Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee: Aktionsprogramm Bodensee 2004 bis 2009, Schwerpunkt Ufer- und Flachwasserzone. Bregenz Mai 2004. ISBN 3-902290-05-6.
- IKSR (2002): Internationale Kommission zum Schutz des Rheins: Kontamination von Rheinfischen 2000. IKSR-Bericht 124, verabschiedet auf der 68. Plenarsitzung – 2./3. Juli 2002 in Luxemburg.
- INFRAS (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1. INFRAS Bern/Zürich, Februar 2004.
- IPCC (2007): Intergovernmental Panel on Climatic Change: Vierter Sachstandsbericht (AR4). Klimaänderung 2007: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. ISBN-Nummer: 978-3-907630-28-0. September 2007.
- KLIWA (2008): Klimaveränderung und Wasserwirtschaft. Klimawandel in Süddeutschland – Monitoringbericht 2008. Herausgeber: Arbeitskreis KLIWA: Deutscher Wetterdienst; Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg; Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz; Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- KOELZER (2008): Koelzer, W.: Die Strahlenexposition des Menschen. Herausgeber: Informationskreis KernEnergie. Berlin. 21 S.
- LABO (2003): Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz: Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden mit Datenanhang. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage, 2003.
- LAK (2008): Länderarbeitskreis Energiebilanzen. [www.lak-energiebilanzen.de](http://www.lak-energiebilanzen.de)
- LAWA (2000): Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.):

- Einsatzmöglichkeiten des Biomonitorings zur Überwachung von Langzeit-Wirkungen in Gewässern. LAWA-Arbeitskreis „Biomonitoring“: Becker, A.; Blübaum-Gronau, E.; von Danwitz, B.; Diehl, P.; Digel, K.; Herbst, V.; Höhne, L.; Küchler, L.; Marten, M.; Rechenberg, B. Kulturbuch, Berlin: 44 S.
- LAWA-AO (2007): Länderarbeitsgemeinschaft Wasser-Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer“: Rahmenkonzeption Monitoring. Teil B Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibungen. Arbeitspapier II Hintergrund- und Orientierungswerte für physikalisch-chemische Komponenten. Stand 07.03.2007.
- LFU (1994): Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Schwermetallgehalte in Böden aus verschiedenen Ausgangsgesteinen Baden-Württemberg. Materialien zum Bodenschutz Heft 3.
- LFU (2003): Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg. Ergebnisse des Funkwellenmessprojekts 2001 bis 2003.
- LFU (2004a): Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Lärm bekämpfen – Ruhe schützen. Eine Information zum Thema Lärm.
- LFU (2004b): Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Lärmbelästigung in Baden-Württemberg. Ergebnisse sozialwissenschaftlicher Untersuchungen. November 2004.
- LFU (2004c): Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Das Niedrigwasserjahr 2003. Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie 85. Karlsruhe 2004.
- LFU (2004d): Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Biologische Veränderungen im Rhein – Ergebnisse des Trendbiomonitoring 1995-2002. 45 S. Kurzfassung in: Naturschutz-Info 3/2004, Fachdienst Naturschutz: 27-28, Karlsruhe.
- LFU (2005): Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Signale aus der Natur – 20 Jahre biologische Umweltbeobachtung. 70 Seiten, Karlsruhe.
- LUBW (2006): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg und Umweltministerium Baden-Württemberg (Hrsg.): Umweltdaten 2006 Baden-Württemberg.
- LUBW (2007a): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Indikatoren zur Siedlungsentwicklung; Flächen gewinnen: Orientierungshilfen für Kommunen. Karlsruhe, März 2007.
- LUBW (2007b): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Abflusskennwerte 2007. Abflusskennwerte in Baden-Württemberg.
- LUBW (2008a): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2008: Luftschadstoff-Emissionskataster Baden-Württemberg 2006, Dokumentations-Nr. 73-01/2008.
- LUBW (2008b): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Wirkung einer ganztägigen Straßensperrung auf die Luftqualität. Abnahme der Konzentrationen von Feinstaub PM<sub>10</sub>, Ruß, NO/NO<sub>2</sub> und CO an der Verkehrsmessstation Karlsruhe anlässlich der Tour de France. Januar 2008.
- LUBW (2008c): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Bewirtschaftungsziele für Fließgewässer. Arbeitshilfe zur Erstellung der Maßnahmenprogramme im Rahmen des ersten Bewirtschaftungsplanes zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Juni 2008.
- LUBW (2008d): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg. Schriftenreihe Bodenschutz 21. Karlsruhe Dezember 2008.
- LUBW (2008e): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Handbuch zur Erstellung von Managementplänen für die Natura 2000-Gebiete in Baden-Württemberg. März 2008.
- LUBW (2009a): Landesanstalt für Umweltschutz, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Ökologischer

- Zustand des Federsees 2004-2008. In Vorbereitung.
- LUBW (2009b): Landesanstalt für Umweltschutz, Messungen und Naturschutz: Versauerungsbericht Baden-Württemberg - Eine medienübergreifende Bewertung der Versauerungssituation der letzten drei Dekaden.
- MARTEN (2001): Marten, M.: Environmental monitoring in Baden-Württemberg with special reference to biocoenotic trendmonitoring of Macrozoobenthos in rivers and methodical requirements for evaluation of longterm biocoenotic changes. *Aquatic Ecology* 35: 159-171.
- MARTEN (2007): Marten, M.: 10 Jahre Trendbiomonitoring in Baden-Württemberg. Ergebnisse biologischer Langzeituntersuchungen in Fließgewässern. Deutsche Gesellschaft für Limnologie e. V., Tagungsbericht 2006: 358-362.
- MR (1999): Ministerrat Baden-Württemberg. Beschluss des Ministerrates Baden-Württemberg vom 20. September 1999.
- ROLLER ET AL. (2008): Barginda, K.; Nuphaus, L.; Führ, M.; Roller, G.: Evaluation des Transfers der zwischen 1998 und 2008 vom Land Baden-Württemberg geförderten Umweltforschungsprojekte. Unveröffentlichte Studie. Karlsruhe 2009.
- ROSNER ET AL. (1998): Rosner, G.; Artelt, S.; Mangelsdorf, I.; Merget, R.: Platin aus Automobilabgaskatalysatoren: Umweltmedizinische Bewertung auf Basis neuer Expositions- und Wirkungsdaten. *Umweltmed. Forsch. Prax.* 3, 365-375.
- SRU (2004): Der Rat von Sachverständigenrat für Umweltfragen: Umweltgutachten 2004. Deutscher Bundestag Drucksache 15/3600. Berlin.
- STALA (2009): Statistisches Landesamt Baden-Württemberg: <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de>
- TESSERAUX ET AL. (2004): Tesseraux, I., Dezenter, S., Veith, A., Creutzmacher, H.: Immissionsmessungen von Schimmelpilzen in der Außenluft nach VDI 4252 Blatt 2 und VDI 4253 Blatt 2 im jahreszeitlichen Vergleich. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 64, 300-305.
- TÜV NORD (2005): Ermittlung der Geräuschemission von Kfz im Straßenverkehr. Forschungsauftrag 200 54 135. RW-TÜV Fahrzeug GmbH, Institut für Fahrzeugtechnik Im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA). Februar 2005.
- UBA (2005a): Umweltbundesamt (Hrsg.): Daten zur Umwelt. Der Zustand der Umwelt in Deutschland. Ausgabe 2005. Erich Schmidt Verlag, Berlin 358 S.
- UBA (2005b): Umweltbundesamt (Hrsg.): Feinstaubbelastung in Deutschland. Presse-Hintergrundpapier, Kennnummer 3565, März 2005.
- UBA (2008a): Umweltbundesamt: Deutschland weltweit Spitze beim Export von Umweltschutzgütern. „Hintergrund“ vom 22.09.2008.
- UBA (2008b): Umweltbundesamt (Hrsg.): Hintergrundpapier „Beschäftigung im Umweltschutz 2006“ vom Juni 2008.
- UBA (2008c): Umweltbundesamt. Presseinformation Nr. 29/2008 darin wird Bezug genommen auf: Beeinträchtigung durch Fluglärm: Arzneimittelverbrauch als Indikator für gesundheitliche Beeinträchtigungen. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes. Förderkennzeichen 205 51 100. November 2006 und Transportation Noise and Cardiovascular Risk Review and Synthesis of Epidemiological Studies Dose-effect Curve and Risk Estimation. Umweltbundesamt, Januar 2006 sowie auf Hypertension and Exposure to Noise Near Airports: the HYENA Study. Lars Jarup et al. *Environmental Health Perspectives*, Volume 116, Number, March 2008.
- UBA (2008d): Umweltbundesamt: Trinkwasserhygienische Bewertung stoffrechtlich „nicht relevanter“ Metaboliten von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln im Trinkwasser – Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 2008 51: 797-801.
- UBA/BfR 2009: Umweltbundesamt und Bundesinstitut für Risikobewertung: Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) für nicht relevante Metaboliten (nrM) von Wirkstoffen aus Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln.

- UGRD L (2009): Arbeitsgruppe Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder. www.ugrdl.de
- UM (2005): Umweltministerium Baden-Württemberg (Hrsg.): Klimaschutz 2010 – Konzept für Baden-Württemberg. 160 S. Stuttgart 2008.
- UM (2007): Umweltministerium Baden-Württemberg: Umweltplan Baden-Württemberg – Forschung 2007, beschlossen vom Ministerrat am 17.12.2007.
- UM (2008): Umweltministerium Baden-Württemberg: „Jetzt das Morgen gestalten“ Nachhaltigkeitsstrategie des Landes Baden-Württemberg. Ziele nachhaltiger Entwicklung in Baden-Württemberg.
- UM & WM (2009): Umweltministerium Baden-Württemberg und Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.): Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2008. Erste Abschätzung, Stand Juli 2009.
- UM, LUBW FZK (2008): Umweltministerium Baden-Württemberg, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg und Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe (Hrsg.): Einblicke 2008. Journal zur Umweltforschung und Umwelttechnik in Baden-Württemberg, Schwerpunkt Fläche.
- UMEG (2004): Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg: Stickstoffbilanz Baden-Württemberg – Einstieg in die Bilanzierungsarbeit, Karlsruhe, Mai 2004.
- UNECE (1992): UNECE-Übereinkommen über die grenzüberschreitenden Auswirkungen von Industrieunfällen (Industrieunfall-Konvention). Helsinki am 17. März 1992. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 326/5.
- VON DER TRENCK ET AL. (2004): von der Trenck, K.T.; Erhardt, W.: Environmental Platinum – A Current Problem? Poster presented at EuroBionet2002, Conference on “Urban Air Pollution, Bioindication and Environmental Awareness”, University of Hohenheim, 5-6 / 11 / 2002, proceedings p. 315-320; A. Klumpp, W. Ansel, G. Klumpp, eds., Cuvillier Verlag, Göttingen
- VON DER TRENCK ET AL. (2006): von der Trenck, K.T.; Baum, F.; Hartwig, H.; Malisch, R.; Schilling, F.; Straub, H.-P.; Zimmermann, R.-D.: Organochlorverbindungen in den Eiern von Wanderfalken und anderen wild lebenden Vogelarten in Baden-Württemberg – Gegenwärtige Belastungssituation und zeitlicher Trend. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 18(4), 228-241.
- VON DER TRENCK ET AL. (2007): von der Trenck, K.T.; Schilling, F.; Schmidt, D.: Bioindikation mit Wanderfalken – Neue Ergebnisse aus Baden-Württemberg. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 19(2), 75-82.
- VON DER TRENCK ET AL. (2008): von der Trenck, K.T.; Schilling, F.; Schmidt, D.; Behnisch, P.A.; Brouwer, A.; Kotz, A.; Malisch, R.; Wahl, K.: Organohalogen compounds in the eggs of peregrine falcons and other wild bird species in Baden-Württemberg – Present state and time trend. Oral contribution presented at the DIOXIN 2008 – 28th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (POPs), Birmingham, England, UK, 17-22 August 2008.
- VOLKMER, M. (2007): Volkmer, M.: Radioaktivität und Strahlenschutz. Herausgeber: Informationskreis KernEnergie. Berlin. 89 S.
- WECKESSER ET AL. (2008): Weckesser, M.; Breunig, Th.; Gebhardt, H.: Bestandessituation der Hohen Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia* L.) in Baden-Württemberg. Berichte der Botanischen Arbeitsgemeinschaft Südwestdeutschlands, 5, 97-116.
- WESTRICH (1989): Westrich, P.: Die Wildbienen Baden-Württembergs. Band 1 und 2. - Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 972 S.
- WM (2005): Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg: Landesentwicklungsbericht Baden-Württemberg 2005. Stuttgart. 252 S.
- WM (2007): Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.): Energiebericht 2007. September 2007.

## RICHTLINIEN DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS

67/548/EWF: Richtlinie des Rates vom 27. Juni 1967 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe.

79/409/EWG: „Vogelschutz-Richtlinie“. Richtlinie des Rates vom 2. April 1979 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten, zuletzt geändert durch die Richtlinie 2008/102/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008.

91/271/EWG: Richtlinie des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser.

91/2092/EWG: „EG-Öko-Verordnung“. Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 des Rates vom 24. Juni 1991 über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel.

92/43/EWG: „Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie)“. Richtlinie des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wild lebenden Tiere und Pflanzen (92/43/EWG), zuletzt geändert durch die Richtlinie 2006/105/EG des Rates vom 20. November 2006.

93/1836/EG: „EG-Öko-Audit-Verordnung“. Verordnung (EWG) des Rates vom 29. Juni 1993 über die freiwillige Beteiligung gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung.

96/62/EG: Richtlinie des Rates über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität vom 27. September 1996.

96/82/EG: „Seveso-II-Richtlinie“. Richtlinie des Rates zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen vom 09. Dezember 1996 zuletzt geändert am 16. Dezember 2003.

97/101/EG: Entscheidung des Rates vom 27. Januar 1997 zur Schaffung eines Austausches von Informationen und Daten aus den Netzen und Einzelstationen zur Messung der Luftverschmutzung in den Mitgliedstaaten vom 27. Januar 1997 geändert am 17. Oktober 2001.

EG/338/97: Verordnung des Rates vom 9. Dezember 1996 über den Schutz von Exemplaren wildlebender Tier- und Pflanzenarten durch Überwachung des Handels.

98/70/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 1998 über die Qualität von Otto- und Dieselmotoren und zur Änderung der Richtlinie 93/12/EWG des Rates.

1999/30/EG: „1. Tochterrichtlinie“. Richtlinie des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft.

2000/14/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2000 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über umweltbelastende Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen

2000/60/EG: „Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)“. Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.

2000/69/EG: „2. Tochterrichtlinie“. Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates vom 16. November 2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft.

2001/43/EG: Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Juni 2001 zur Änderung der Richtlinie 92/23/EWG des Rates über Reifen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern und über ihre Montage.

2001/761/EG: Verordnung (EG) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. März 2001 über die freiwillige Beteiligung von Organisationen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung (EMAS).

2002/3/EG: „3. Tochterrichtlinie“. Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt der Luft.

2002/49/EG: Richtlinie des europäischen Parlaments und



des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm.

2003/17/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. März 2003 zur Änderung der Richtlinie 98/70/EG über die Qualität von Otto- und Dieselmotoren.

2003/87/EG: „EU-Emissionshandels-Richtlinie“. Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003 über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates.

2004/73/EG: Richtlinie der Kommission vom 29. April 2004 zur neunundzwanzigsten Anpassung der Richtlinie 67/548/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe an den technischen Fortschritt.

2004/107/EG: „4. Tochterrichtlinie“. Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 über Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft.

2006/118/EG: „EU-Grundwasserrichtlinie“. Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung.

2006/166/EG: Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Januar 2006 über die Schaffung eines Europäischen Schadstofffreisetzung- und -verbringungsregisters und zur Änderung der Richtlinien 91/689/EWG und 96/61/EG des Rates Text von Bedeutung für den EWR.

2007/60/EG: „Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL)“: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken.

2008/50/EG: „Luftqualitätsrichtlinie (LQR)“. Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa.

2008/105/EG: Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien des Rates 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG.

## **BUNDES- UND LANDESGESETZE**

BBODSCHG (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz) vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 9. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3214) geändert worden ist.

BIMSCHG (1974): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 23. Oktober 2007 (BGBl. I S. 2470) geändert worden ist.

BNATSCHG (2002): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz) vom 25. März 2002 (BGBl. I S. 1193), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986) geändert worden ist.

„Kleine Novelle“ zum BNatSchG: Erstes Gesetz zur Änderung des Bundesnaturschutzgesetzes. BGBl. Nr. 63 vom 17.12.2007, Seite 2873.

BODSCHG (1991): Gesetz zum Schutz des Bodens (Bodenschutzgesetz Baden-Württemberg) zuletzt geändert durch das Euroumstellungsgesetz-BW vom 20.11.2001 (GBl. 01, S. 605) mit Wirkung vom 01.01.2002.

CHEMG (2007): Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikaliengesetz) vom 2. Juli 2008 (BGBl. I S. 1146).

EEWÄRMEG (2008): Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetz) vom 7. August 2008 (BGBl. I S. 1658).

EWÄRMEG (2007): Erneuerbare-Wärme-Gesetz. Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie Baden-Württemberg vom 20. November (GBl. Nr. 19 vom 23.11.2007 S. 531).

FLULÄRMG (2007): Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (Fluglärmgesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Oktober 2007 (BGBl. I S. 2550). Neugefasst durch Bek. v. 31.10.2007 I 2550.

KRW-/ABFG (1994): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz) vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986) geändert worden ist.

LBODSCHAG (2004): Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Landes-Bodenschutz- und Altlastengesetz) vom 14. Dezember 2004 (GBl. S. 908).

LPLG (2003): Landesplanungsgesetz in der Fassung vom 10.7.2003, zuletzt geändert durch Gesetz zur Änderung des Landesplanungsgesetzes, des Gesetzes über die Errichtung des Verbands Region Stuttgart, des Naturschutzgesetzes und des Wassergesetzes vom 14.10.2008.

LWALDG (1995): Waldgesetz des Landes Baden-Württemberg (Landeswaldgesetz) in der Fassung vom 31. August 1995, zuletzt am 14.10.2008 (GBl. S. 367, 370).

NATSCHG (2005): Gesetz zum Schutz der Natur, zur Pflege der Landschaft und über die Erholungsvorsorge in der freien Landschaft (Naturschutzgesetz) vom 13. Dezember 2005, zuletzt geändert durch Art. 2 G vom 14.10.2008 (GBl. W. 370, 379).

ROG (1997): Raumordnungsgesetz vom 18. August 1997 (BGBl. I S. 2081, 2102), zuletzt geändert durch Artikel 9 Nr. 2 Satz 2 der Verordnung vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986).

USTATG (2005): Umweltstatistikgesetz vom 16. August 2005 (BGBl. I Nr. 50 vom 19.8.2005) zuletzt geändert am 1. Januar 2009. Gl.-Nr.: 708-20.

ZUG 2012 (2007): Gesetz über den nationalen Zuteilungsplan für Treibhausgasemissionsberechtigungen in der Zuteilungsperiode 2008 bis 2012 (Zuteilungsgesetz) vom 7. August 2007 (BGBl. I S. 1788).

#### VERORDNUNGEN / VERWALTUNGSVORSCHRIFTEN

1. BIMSCHV (2003): Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes: Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. März 1997 (BGBl. I S. 490), die zuletzt durch Artikel 4 der Verordnung vom 14. August 2003 (BGBl. I S. 1614) geändert worden ist.

4. BIMSCHV (1997): Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes: Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. März 1997 (BGBl. I S. 504), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 23. Oktober 2007 (BGBl. I S. 2470).

10. BIMSCHV (2009): Zehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes: Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen vom 27. Januar 2009 (BGBl. I S. 123).

11. BIMSCHV (2007): Elfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes: Verordnung über Emissionserklärungen. Vom 05. März 2007 (BGBl. I, Nr. 9, S. 289).

12. BIMSCHV (1991): Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes: vom 20. September 1991 (BGBl. I S. 1891). (StörfallV-alt- außer Kraft 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).

13. BIMSCHV (2004): Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes: Verordnung über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen vom 20. Juli 2004 (BGBl. I S. 1717 (2847)), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 27. Januar 2009 (BGBl. I S. 129) geändert worden ist.

16. BImSchV (2006): Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes: Verkehrslärmschutzverordnung vom 12. Juni 1990 (BGBl. I S. 1036), die durch Artikel 3 des Gesetzes vom 19. September 2006 (BGBl. I S. 2146) geändert worden ist.
18. BImSchV (2006): Achtzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes: Sportanlagenlärmschutzverordnung vom 18. Juli 1991 (BGBl. I S. 1588, 1790), geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 9. Februar 2006 (BGBl. I S. 324).
22. BImSchV (2007): Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes: Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft in der Fassung der Bekanntmachung vom 4. Juni 2007 (BGBl. I S. 1006).
23. BImSchV (1996): Dreiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten vom 16. Dezember 1996 (BGBl. I 1996 S. 1962).
26. BImSchV (1996): 26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz: Verordnung über elektromagnetische Felder vom 16.12.1996 (BGBl. I, S. 1966ff.).
32. BImSchV (2002): Zweiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes: Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung vom 29. August 2002 (BGBl. I S. 3478), die zuletzt durch Artikel 6 Abs. 5 der Verordnung vom 6. März 2007 (BGBl. I S. 261) geändert worden ist.
33. BImSchV (2004): Dreiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes: Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen vom 13. Juli 2004 (BGBl. I S. 1612).
34. BImSchV (2006): Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes: Verordnung über die Lärmkartierung vom 6. März 2006 (BGBl. I S. 516).
35. BImSchV (2006): Fünfunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes: Verordnung zur Kennzeichnung der Kraftfahrzeuge mit geringem Beitrag zur Schadstoffbelastung vom 10. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2218), die durch die Verordnung vom 5. Dezember 2007 (BGBl. I S. 2793) geändert worden ist.
- ABFABLV (2001): Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (Abfallablagerungsverordnung) vom 20. Februar 2001 (BGBl. I S. 305).
- ABWV 2004: Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung) vom 17. Juni 2004 (BGBl. I S. 1108, 2625), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 19. Oktober 2007 (BGBl. I S. 2461) geändert worden ist.
- AVV (2001): Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung) vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), die zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 15. Juli 2006 (BGBl. I S. 1619) geändert worden ist.
- BARTSCHV (2005): Bundesartenschutzverordnung vom 16. Februar 2005 (BGBl. I S. 258 (896)), die durch Artikel 2 des Gesetzes vom 12. Dezember 2007 (BGBl. I S. 2873) geändert worden ist.
- BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), die durch Artikel 2 der Verordnung vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3758) geändert worden ist.
- CHEMVERBOTS V (2007): Chemikalien-Verbotsverordnung. Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz vom 13. Juni 2003 (BGBl. I Nr. 26, S. 867) in der Fassung vom 12. Oktober 2007.
- DEPV (2002): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung) vom 24. Juli 2002 (BGBl. I S. 2807), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 13. Dezember 2006 (BGBl. I S. 2860) geändert worden ist.
- DÜV (2006): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflan-

zenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) vom 10. Januar 2006 (BGBl. I S. 20).

GEFSTOFFV (2007): Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3758) in der Fassung vom 26. Oktober 2007 (BGBl. I S. 2494).

GEWÄSSERBEURTEILUNGSV (2004): Gewässerbeurteilungsverordnung. Verordnung zur Umsetzung der Anhänge II und V der Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Baden-Württemberg) vom 30. August 2004 (GBl. Nr. 13 vom 08.10.2004 S. 713; 25.4.2007 S. 252).

GRWV (1997): Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 80/68/EWG des Rates vom 17. Dezember 1979 über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe (Grundwasserverordnung) vom 18. März 1997 (BGBl. I S. 542).

ROKA (1993): Verordnung des Umweltministeriums zur Umsetzung der Richtlinie 91/271/EWG des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser (Reinhalteordnung kommunales Abwasser) vom 10. Dezember 1993. Zuletzt geändert durch Art. 134 Siebte AnpassungsVO vom 25. 4. 2007 (GBl. S. 252).

SCHALVO (2008): Verordnung des Umweltministeriums über Schutzbestimmungen und die Gewährung von Ausgleichsleistungen in Wasser- und Quellenschutzgebieten (Schutzgebiets- und Ausgleichs-Verordnung) vom 20. Februar 2001, GBl. S. 145, ber. S. 414, zuletzt geändert am 21. April 2009, GBl. S. 200.

StVZO (1937): Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. September 1988 (BGBl. I S. 1793), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 21. April 2009 (BGBl. I S. 872) geändert worden ist.

TA LÄRM (1998): Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm) vom 28.8.1998 (GMBL Nr. 26/98 S. 503).

TA LUFT (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) vom 24. Juli 2002 (GMBL. Nr. 25 - 29 vom 30.7. 2002 S. 511).

TRINKWV (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung) vom 21. Mai 2001 (BGBl. I S. 959), die durch Artikel 363 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407) geändert worden ist.

VBUF - Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Flugplätzen vom 22. Mai 2006 (BAnz. Nr. 154a vom 17.8.2006 S. 50).

VBUI - Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm durch Industrie und Gewerbe vom 22. Mai 2006 (BAnz. Nr. 154a vom 17.8.2006 S. 209).

VBUS - Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen vom 22. Mai 2006 (BAnz. Nr. 154a vom 17.8.2006 S. 30).

VBUSch - Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen vom 22. Mai 2006 (BAnz. Nr. 154a vom 17.8.2006 S. 6).

# Glossar

## § 32 Biotope

Lebensräume, die in § 32 Naturschutzgesetz als „Besonders geschützte Biotope“ aufgeführt sind und unmittelbaren gesetzlichen Schutz genießen. In diesen Biotopen sind alle Handlungen verboten, die zu einer Beeinträchtigung oder Zerstörung führen können.

## aerob

Eigenschaft von Organismen, molekularen Sauerstoff zur Atmung zu verbrauchen.

## Aerosol

Luftgetragene, feste oder flüssige Teilchen, die überwiegend aus einer oder mehreren anderen Substanzen als nur Wasser bestehen.

## Aktivierung (Radioaktivität)

Vorgang, durch den ein Material beim Beschuss mit Neutronen, Protonen oder anderen Teilchen durch Kernumwandlung radioaktiv wird.

## Aktivität (Radioaktivität)

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.

## Altlasten

Altlasten im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes sind stillgelegte Abfallbeseitigungsanlagen sowie sonstige Grundstücke, auf denen Abfälle behandelt, gelagert oder abgelagert worden sind.

## altlastverdächtige Flächen

Altlastverdächtige Flächen im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes sind Altablagerungen und Altstandorte, bei denen der Verdacht schädlicher Bodenveränderungen oder sonstiger Gefahren für den Einzelnen oder die Allgemeinheit besteht.

## athermische Wirkmechanismen

Neben der sog. Wärmewirkung („thermische Wirkmechanismen“) werden weitere akute Wirkungen von Hochfrequenzstrahlung oft als „athermische Wirkungen“ bezeichnet, um sie von den Wärmewirkungen abzugrenzen. Athermische Wirkmechanismen (von Hochfrequenzstrahlung) sind solche, die nicht mit einer Erwärmung des Gewebes einhergehen.

## Bannwald

Bannwälder sind Totalreservate, in denen jegliche Bewirtschaftung ruht. In ihnen entwickelt sich die Waldvegetation unter weitgehendem Ausschluss menschlicher Einflüsse.

## Belebtschlammstufe

In der Belebtschlammstufe einer Kläranlage werden die gelösten organischen Verunreinigungen durch Mikroorganismen umgebaut.

## Beurteilungspegel

Mittelungspegel für die Lärmbelastung in festen Beurteilungszeiträumen, 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 dem Vergleich mit Immissionsrichtwerten für Lärm.

## Biodiversität

Biodiversität oder biologische Vielfalt bezeichnet die Artenvielfalt, die genetische Vielfalt sowie die Vielfalt von Ökosystemen.

## 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. Die Ergebnisse werden in 7 Güteklassen bewertet, die von „un-



belastet bis sehr gering belastet“ (Klasse I) bis „übermäßig verschmutzt“ (Klasse IV) reichen.

#### Biota

Biota bezeichnet alle Lebewesen der Umwelt (Pflanzen, Tiere, Pilze u.a.).

#### Biotop

Der charakteristische Lebensraum von Pflanzen und Tieren in einem bestimmten Gebiet.

#### Biozönose

Lebensgemeinschaft aller Pflanzen und Tiere in einem Lebensraum.

#### Bruttoinlandsprodukt

Das Bruttoinlandsprodukt gibt den Gesamtwert aller Güter (Waren und Dienstleistungen) an, die innerhalb eines Jahres innerhalb der Landesgrenzen einer Volkswirtschaft hergestellt wurden.

#### Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)

Der CSB ist ein Maß für die Summe aller organischen Stoffe im Wasser, einschließlich der schwer abbaubaren Stoffe. Der CSB-Wert kennzeichnet die Menge an Sauerstoff in mg/l, welche zur Oxidation der gesamten im Wasser enthaltenen organischen Stoffe verbraucht wird.

#### DECT

DECT steht für „Digital Enhanced Cordless Telecommunications“ (Digital erweiterte schnurlose Fernsprechtechnik) und ist ein drahtloser digitaler Kommunikationsstandard, der bei Schnurlostelefonen eingesetzt wird. Dabei werden Funkfrequenzen um 1,9 GHz verwendet.

#### Degradierete Gewässermorphologie

Durch den Menschen bedingte Verarmung des Gewässer-Lebensraumes, z. B. durch Kanalisierung, Uferbefestigung oder Aufstauung.

#### Denitrifikation

Abbau von Nitrat zu Stickstoff und Sauerstoff durch Bakterien (Denitrifikanten).

#### Deposition

Ablagerung von Stoffen aus der Luft auf Böden, Pflanzen oder Gewässern.

#### Diffuser Eintrag

Belastungen bzw. Stoffeinträge, die aus der Fläche oder über die Luft eingetragen werden und daher nicht eindeutig bestimmten Schmutzquellen zuzuordnen sind. Hierzu zählen beispielsweise Einträge durch Bodenabtrag (Erosion), Abschwemmung oder Einträge über das Grundwasser.

#### Dioxine

Im allgemeinen Sprachgebrauch eine Bezeichnung für die Stoffgruppe der polychlorierten Dibenzodioxine und -furane (PCDD/PCDF). PCDD/PCDF sind langlebige toxische Stoffe, die vor allem bei der Verbrennung von organischen Stoffen in Gegenwart von Chlor entstehen. Das sogenannte „Sevesodioxin“ (2,3,7,8-PCDD) wird als die giftigste je vom Menschen hergestellte Substanz bezeichnet. Dioxine können schon in kleinsten Mengen die Entstehung von Krebs fördern.

#### Einwohnerwert (EW)

Der Einwohnerwert stellt eine Rechengröße für die Abwasserreinigung dar. Er ist die Summe aus der Anzahl der Einwohner (E) und der in Einwohnerequivalente (EGW) umgerechneten Belastung gewerblicher und industrieller Abwässer:  $EW = E + EGW$ . Ein Einwohnerequivalent gibt die Belastung aus Industrie und Gewerbe wieder und entspricht der täglich von einem Einwohner in das Abwasser abgegebenen Menge an organischen Verbindungen.

#### 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

Zu den elektromagnetischen Wellen gehören z. B. Radiowellen, Mikrowellen, Licht und Röntgenstrahlung, die sich in ihrer Wellenlänge bzw. spezifischen Energie unterscheiden. Elektromagnetische Wellen benötigen, im Gegensatz etwa zu Schallwellen, kein Medium zur Ausbreitung. Sie bewegen sich im Vakuum mit Lichtgeschwindigkeit fort.

Physikalisch betrachtet ist ein elektromagnetisches Feld ein Zustand des Raumes, der von verschiedenen Phänomenen verursacht wird (z. B. bewegte Ladungen). Eine elektromagnetische Welle ist eine sich ausbreitende Schwingung des elektromagnetischen Feldes. Dabei sind die elektrischen und magnetischen Felder aneinandergelockt.

#### Emission

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. Da sich Emissionen systembedingt selten direkt messen lassen, sind Emissionsangaben und Emissionskataster meist das Ergebnis aufwändiger Modellrechnungen.

#### Emittent

Emittent nennt man im Umweltschutz die Quelle, von der Substanzen, Schall, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlung, Gerüchen oder ähnlichen Erscheinungen ausgehen (und unter Umständen andere Bestandteile der Umwelt schädigen können). Im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes versteht man unter Emittent nur eine Anlage, von der Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnlichen Erscheinungen ausgehen.

#### eutroph, Eutrophierung

Trophiegrad, der eine hohe Produktion durch hohe Verfügbarkeit von Nährstoffen in einem Gewässer anzeigt. Weitere Merkmale: starke Algenentwicklung, geringe Sichttiefe, ggf. Wasserblüten, regelmässiger starker Sauerstoffmangel im Tiefenwasser gegen Ende des Sommers. Je nach Nährstoffkonzentration wird zwischen eutroph 1 und eutroph 2 unterschieden. Die Eutrophierung bezeichnet einen Anstieg der Nährstoffzufuhr in Gewässern, der ein übermässiges Pflanzenwachstum zur Folge hat. Im umgangssprachlichen Gebrauch wird mit der Eutrophierung die Überdüngung von Gewässern oder terrestrischen Ökosystemen bezeichnet.

#### Feinstaub

Kleine Partikel, die tief in die Atemwege eindringen können. Siehe auch Partikel.

#### FFH-Gebiete

Gebiete gemeinschaftlicher Bedeutung, die zusammen mit

den Schutzgebieten der Vogelschutzrichtlinie ein europäisches ökologisches Netz ‚Natura 2000‘ bilden. Sie dienen dem Schutz der Lebensraumtypen nach Anhang I und Arten nach Anhang II der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (92/43/EWG).

#### Fossile Energie

Energie, die durch Umwandlung aus fossilen Energieträgern, wie z. B. Erdöl, Erdgas oder Kohle, gewonnen wird.

#### 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.

#### Fungizide

Fungizide sind chemische oder biologische Wirkstoffe, die Pilze oder ihre Sporen abtöten oder ihr Wachstum verhindern.

#### Halbwertszeit

Zeitspanne, nach der die Hälfte der Atome einer ursprünglichen Menge eines radioaktiven Stoffes zerfallen ist bzw. sich umgewandelt hat.

#### Herbizide

Substanzen zur Abtötung störender Pflanzen (Unkrautbekämpfungsmittel). Man unterscheidet dabei zwischen selektiven Herbiziden, die gegen bestimmte Pflanzen wirken und Totalherbiziden, die gegen alle Pflanzen wirken.

#### Homothermie

Zustand, bei dem sich die Temperatur eines Wasserkörpers nicht mit der Wassertiefe ändert.

#### Immission

Immission ist die Einwirkung von Schadstoffen, Strahlung oder Geräuschen auf Pflanzen, Tiere und Menschen sowie Gebäude.

#### Insektizide

Insektizide sind Substanzen zur Abtötung von Insekten und deren Entwicklungsstadien. Insektizide werden in der

Landwirtschaft, zum Vorrats- und Materialschutz sowie im Hygienebereich angewendet. Einige Insektizide wirken u. a. als Nervengifte auf das Nervensystem der Insekten ein.

Isophonen, Isophonenbänder

Linien gleicher Lautstärkepegel ([griechisch] iso...gleich, phone...Laut).

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.

Jahresisotherme

Isothermen sind Linien gleicher Temperatur. In der Meteorologie werden Isothermen verwendet, um auf den meteorologischen Wetterkarten die Gebiete zu kennzeichnen, in denen die gleiche Temperatur herrscht. Jahresisothermen werden auf Basis der Jahresdurchschnittstemperaturen erstellt.

Kongenerere

Moleküle mit gleichem Grundgerüst, die einer Gruppe angehören. Sie unterscheiden sich in der Stellung und Zahl an Atomen oder Atom-Gruppen, die ein Atom des Grundgerüsts ersetzen. Kongenerere können unterschiedliche chemische, physikalische und toxikologische Eigenschaften haben.

Lysimeter

Gerät zur Ermittlung des versickernden Anteils des Niederschlags.

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

Wasserpflanzen (Gefäßpflanzen, Moose, Armeleuchteralgen und Großalgen), die als einzelnes Individuum mit bloßem

Auge erkennbar sind. Die Makrophyten sind Teil der biologischen Qualitätskomponente nach Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG).

Makrozoobenthos

Mit dem bloßen Auge erkennbare wirbellose Tiere, die auf oder in der Gewässersohle leben. Das Makrozoobenthos ist Teil der biologischen Qualitätskomponente nach Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG).

Metabolit

Ein Metabolit ist ein Zwischenprodukt oder Abbauprodukt in einem meist biochemischen Stoffwechselfvorgang, z. B. im menschlichen Körper.

MISKAM

Mikroskaliges, d. h. kleinräumiges Strömungs- und Ausbreitungsmodell für Luftschadstoffe. MISKAM dient der kleinräumigen Prognose von Windverteilungen und Immissionskonzentrationen in Straßenabschnitten bis hin zu Stadtteilen.

Mittelungspegel

siehe Beurteilungspegel

Nachwachsende Rohstoffe

Unter den Begriff der nachwachsenden Rohstoffe fallen alle biogenen Stoffe pflanzlicher und tierischer Herkunft, die nicht als Nahrungs- oder Futtermittel eingesetzt werden, sondern einer stofflichen oder energetischen Nutzung zugeführt werden.

Naturverjüngung

Aufwuchs des Waldes aus den Samen der Waldbäume.

Neozoen / Neophyten

Tierarten, die nach dem Jahr 1492 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.

NMVOG

Non-Methane Volatile Organic Compounds sind flüchtige organische Verbindungen ohne Methan.

## Ökologischer Zustand

Die Qualität von Struktur und Funktionsfähigkeit aquatischer, in Verbindung mit Oberflächengewässern stehender Ökosysteme gemäß der Einstufung nach Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG).

## PAK

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe bilden eine Stoffgruppe von organischen Verbindungen, die aus mindestens zwei und mehreren miteinander verbundenen Benzolringen bestehen. Fast alle PAK, die aus mehr als vier Benzolringen bestehen, sind nachweislich krebserregend. Hierzu zählt Benzo(a)pyren.

## Partikel

Partikel sind feste Teilchen unterschiedlicher Größe und chemischer Zusammensetzung. Sie entstehen auf natürliche Weise (Pollen, Aufwirbelung), bei Verbrennungsvorgängen und 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. Der inhalierbare Schwebstaub umfasst Partikel < 10µm (PM10). Der lungengängige Feinstaub umfasst Partikel < 2,5 µm (PM2,5). Die ultrafeinen Partikel (UP) umfassen Partikel < 0,1 µm. Sie können nicht nur tief in die Atemwege eindringen, sondern auch in die Blutbahn übertreten.

## PCB

Polychlorierte Biphenyle sind giftige und krebserregende Chlorverbindungen. Sie wurden bis in die 80er Jahre als Weichmacher, in Hydraulikanlagen, in Trafos und Kondensatoren eingesetzt. Trotz des Verwendungsverbots werden PCB immer noch aus Baumaterialien und elektrischen Geräten in die Umwelt abgegeben.

## Persistenz

Eigenschaft von Stoffen, unverändert durch physikalische, chemische oder biologische Prozesse in der Umwelt zu verbleiben.

## Perzentil

Ein Perzentil (lat. „Hundertstelwert“) ist ein Punkt einer nach Rang oder Größe der Einzelwerte sortierten Grundge-

samtheit. Ein „90. Perzentil“ Wert bedeutet beispielsweise, dass 90% aller Werte unterhalb des angegebenen Wertes liegen. Das 50. Perzentil ist der Median, d. h. die Hälfte aller Werte ist größer bzw. kleiner als das 50. Perzentil.

## PFT

Perfluorierte Tenside sind organische oberflächenaktive Verbindungen, bei denen die Wasserstoffatome am Kohlenstoffgerüst vollständig durch Fluoratomer ersetzt worden sind. Perfluorierte Tenside haben keine natürliche Quelle. Wegen ihrer besonderen physikalisch-chemischen Eigenschaften werden sie industriell hergestellt und in einer Vielzahl von Produkten verwendet. Sie reichern sich in der Umwelt sowie im menschlichen und tierischen Gewebe an. PFT stehen im Verdacht, krebserregend zu sein.

## Phänologie

Im Jahresverlauf periodisch wiederkehrende Entwicklungserscheinungen in der Natur (z. B. Apfelblüte).

## Photooxidantien

Gruppe von reaktiven organischen und anorganischen Luftverunreinigungen, welche sich unter dem Einfluss intensiver Sonneneinstrahlung in der Atmosphäre aus Vorläufersubstanzen wie Stickstoffoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) bilden. Zu dieser Stoffgruppe gehören u. a. Ozon und Peroxyacetylnitrat (PAN).

## Phytobenthos

Algenaufwuchs auf dem Gewässerboden.

## Phytoplankton

Im Freiwasser lebende, mit der Wasserbewegung treibende bzw. schwebende pflanzliche Organismen; z. B. Kieselalgen, Grünalgen, Blaualgen.

## 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

Gemäß EG-Richtlinie 2008/105/EG Schadstoffe, welche in die Bewertung des chemischen Zustandes von Gewässern eingehen; zu diesen gehören auch die prioritär gefährlichen Stoffe, für die gemäß der Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) weitergehende Maßnahmen ergriffen werden müssen.

### PROKAS

Berechnungsverfahren zur Bestimmung verkehrserzeugter Schadstoffbelastungen.

### Radar

Das „Radio Detection and Ranging“ ist ein Fernortungsverfahren. Die Echos von ausgesendeten kurzen Hochfrequenzimpulsen werden bezüglich Laufzeit und anderer Eigenschaften ausgewertet und ermöglichen so die Lokalisierung und Geschwindigkeitsmessung von Objekten.

### Radioaktivität

Eigenschaft instabiler Atomkerne (Nuklide), sich ohne erkennbare äußere Einwirkung spontan umzuwandeln und dabei ionisierende Strahlen auszusenden.

### Radionuklide

Instabile Atomkerne (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 Radionuklide.

### Residualanreicherung

Anreicherung im Lösungsrückstand der Gesteinsverwitterung

### Retention

Zurückhaltung, Zwischenspeicherung z. B. von Hochwasserabflüssen in einem Fließgewässer oder von Regenwasserabflüssen versiegelter Siedlungsflächen zur späteren gedrosselten Ableitung.

### Ruß

Partikelförmige, kohlenstoffhaltige Produkte aus unvollständiger Verbrennung; umfasst elementaren Kohlenstoff (EC) und organischen Kohlenstoff (OC). Hauptquelle sind Dieselmotoren und Feststoffheizungen.

### Saprobie

Die Saprobie ist eine anhand von Indikatororganismen definierte semiquantitative Aussage über die biologische Gewässergüte. Sie zeigt die Belastung der Fließgewässer mit organischen, biologisch abbaubaren Stoffen an. Diese werden von Bakterien, Pilzen und Einzellern, Würmern, Kleinkrebsen und Insektenlarven unter Verbrauch von Sauerstoff abgebaut.

### SAR

Die Spezifische Absorptionsrate (SAR) beschreibt, wie viel Leistung pro Kilogramm Körpergewicht absorbiert wird (Watt/kg), wenn der Körper einem hochfrequenten elektromagnetischen Feld ausgesetzt ist.

### Säurebildner

Stoffe, aus denen durch chemische Umwandlung Säuren werden.

### 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.

### Schneeretention

In Form von Schnee gespeicherte und zurückgehaltene Wassermenge.

### Schonwald

Schonwälder sind Waldreservate mit eingeschränkter Nutzung, die der Erhaltung bestimmter Pflanzen- und Tiergesellschaften dienen. Sie eignen sich auch als „Waldmuseen“ zur exemplarischen Erhaltung historischer Waldnutzungsformen wie die Mittel- und Niederwaldwirtschaft.

### Schwebstaub

Schwebstäube sind sämtliche festen und flüssigen Teilchen in der Aussenluft, die nicht sofort zu Boden sinken, son-



dern eine bestimmte Zeit in der Atmosphäre verbleiben, siehe Partikel.

#### Siedlungsdispersion

Die Zersiedelung der Fläche bzw. das unkontrollierte Wachstum von Siedlungsbereichen in die Landschaft hinein.

#### SMS

Steht für „Short Message Service“ (dt.: Kurzmitteilungsdienst) und ist ein Kommunikationsdienst zur Übertragung von Textnachrichten per Handy. Umgangssprachlich werden die Kurzmitteilungen selbst als „SMS“ bezeichnet.

#### Spotmessstelle

Spotmessungen werden in Straßenabschnitten durchgeführt, in welchen Grenzwertüberschreitungen zu vermuten sind und Menschen sich längere Zeit aufhalten.

#### Sukzession

In der Ökologie versteht man unter Sukzession die Abfolge ineinander übergehender (System-)Zustände von Pflanzen- oder Tiergesellschaften (Biozönose) an einem Standort. Die Vegetationsentwicklung endet in einem „Reife“-Stadium, das in Mitteleuropa zum größten Teil von einem Laubmischwald - entsprechend der potenziellen natürlichen Vegetation - gebildet wird.

#### Temperaturregime

Ablauf und Ausmaß der Temperaturen eines Gebietes im Tages- und Jahresverlauf.

#### Toleranzmarge

Ein in jährlichen Stufen abnehmender Wert, um den der Immissionsgrenzwert innerhalb der festgesetzten Fristen überschritten werden darf, ohne dass ein Luftreinhalteplan erstellt werden muss.

#### Toxin

Toxine sind von Lebewesen gebildete Giftstoffe.

#### Treibhauseffekt

Durch den Treibhauseffekt werden die unteren Schichten der Atmosphäre aufgewärmt. Er wird durch Gase in der Atmosphäre verursacht, die ähnlich wie die Glasscheiben eines Treibhauses, die kurzweilige Strahlung der Sonne

hindurch lassen, die von der Erde ausgehende langwellige Wärmestrahlung aber absorbieren bzw. reflektieren. Ohne diesen natürlichen Treibhauseffekt wäre es auf der Erde deutlich kälter. Die wichtigsten natürlichen Treibhausgase sind Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan, Distickstoffoxid und Methan. Steigt nun deren Anteil in der Atmosphäre durch menschliche Aktivitäten an und kommen zusätzliche Treibhausgase wie Halogenkohlenwasserstoffe oder Schwefelhexafluorid hinzu, verstärkt sich der Treibhauseffekt und man spricht zusätzlich zum natürlichen vom anthropogenen Treibhauseffekt.

#### Trophie

Nährstoffangebot eines Standortes.

#### UMTS

Das „Universal Mobile Telecommunication System“ ist ein Mobilfunksystem, das aufgrund hoher Übertragungsraten neben Sprachkommunikation auch Multimedia-Anwendungen erlaubt. UMTS nutzt Frequenzen zwischen 1920 und 1980 MHz, sowie zwischen 2110 und 2170 MHz und erreicht Übertragungsraten bis 384 kbit/s.

#### VOC

Volatile Organic Compounds. Internationale Abkürzung für flüchtige organische Verbindungen.

#### Wasserkörper

Gemäß Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) 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.

#### 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 hauptsächlichliche 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 <sup>-1</sup>	dezi	d	10	deka	da
10 <sup>-2</sup>	zenti	c	10 <sup>2</sup>	hekto	h
10 <sup>-3</sup>	milli	m	10 <sup>3</sup>	kilo	k
10 <sup>-6</sup>	mikro	μ	10 <sup>6</sup>	mega	M
10 <sup>-9</sup>	nano	n	10 <sup>9</sup>	giga	G
10 <sup>-12</sup>	pico	p	10 <sup>12</sup>	tera	T
10 <sup>-15</sup>	femto	f	10 <sup>15</sup>	peta	P

## Gesetzliche Einheiten

Physikalisches Maß	Name	Symbol	Beziehungen
Kraft	Newton	N	
Druck	Pascal	Pa	
Leistung	Watt	W	
Energie, Arbeit	Joule Kilowattstunde	J 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	Kubikmeter	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 ≈ 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> )



