



# Umweltdaten 2015 Baden-Württemberg



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

# Umweltdaten 2015 Baden-Württemberg

Die vorliegende Broschüre erfüllt die Funktion des Umweltzustandsberichtes nach § 28 des Gesetzes zur Vereinheitlichung des Umweltverwaltungsrechts und zur Stärkung der Bürger- und Öffentlichkeitsbeteiligung im Umweltbereich vom Dezember 2013.

<b>HERAUSGEBER</b>	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft 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 Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg Statistisches Landesamt Baden-Württemberg Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) im Regierungspräsidium Freiburg
<b>REDAKTION</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Referat 21 – Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung
<b>BEZUG</b>	Die Broschüre ist gedruckt oder als Download im PDF-Format kostenlos erhältlich bei der 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>ISBN-NUMMER</b>	978-3-88251-386-8
<b>STAND</b>	Oktober 2015
<b>DRUCK</b>	medialogik GmbH Karlsruhe Gedruckt auf Recyclingpapier mit dem Blauen Engel (RAL-UZ 14)
<b>BERICHTSUMFANG</b>	168 Seiten
<b>TITELBILD</b>	Rheinmessstation: LUBW Trockenrasen NSG Stiegelesfels: M. Witschel Autobahnzubringer: LUBW S. Herzig Windpark: LUBW O. Bayer



Der Nachdruck ist – auch auszugsweise – nur mit Zustimmung der Herausgeber mit Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

# Vorwort



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

Eine alte Indianerweisheit lehrt uns, dass wir die Erde nicht von unseren Eltern geerbt, sondern nur von unseren Kindern geliehen haben. Die Erde hält für uns bereit, was wir zum Leben brauchen: saubere Luft, fruchtbare Böden, Nahrung und Trinkwasser. Dieses Lebensumfeld gilt es für nachfolgende Generationen zu bewahren.

Es geht um die Reinhaltung der Luft, die Begrenzung der Erderwärmung, den Gewässerschutz, die Reduzierung der Lärmbelastung und der Flächeninanspruchnahme, den Erhalt der biologischen Vielfalt und vieles mehr. Unser Ziel ist es, unseren Kindern eine weitgehend intakte Erde zu überlassen.

Seit Jahrzehnten greift der Mensch jedoch in die Umwelt ein. Treibhausgasemissionen, Stickstoffüberschuss, Boden-erosion und der Verlust an biologischer Vielfalt haben ein Ausmaß erreicht, das nicht mehr nur das natürliche ökologische Gleichgewicht beeinträchtigt, sondern inzwischen auch die ökologische Belastbarkeitsgrenze unserer Erde überschreitet. So ist beispielsweise die Zahl der so genannten „heißen Tage“ pro Jahr, mit Temperaturen über 30 Grad, in Deutschland von drei auf acht gestiegen – mit erheblichen Folgen für die Gesundheit der Menschen, die Landwirtschaft und auch die Wirtschaft.

Hier ist entschlossenes Handeln zum Schutz unserer Natur und Umwelt notwendig. Umweltdaten bieten die Grundlage für die Abschätzung des tatsächlichen Ausmaßes der Umweltinanspruchnahme. Sie dienen als Steuerungsinstrument, um Handlungsempfehlungen zu formulieren und konkrete Maßnahmen einzuleiten. Darüber hinaus geben Umweltdaten Informationen über die Wirksamkeit getrof-

fener Maßnahmen und ermöglichen damit eine rechtzeitige Nachsteuerung.

Neben der Managementunterstützung auf politischer Seite schaffen Umweltdaten auch Transparenz für Wirtschaft und Gesellschaft. Bürgerschaft und Unternehmen können auf dieser Basis ihre Verhaltensweisen anpassen und ihren Beitrag zu einer intakten Umwelt leisten.

Umweltdaten sind zugleich nur ein Teilaspekt einer ganzheitlichen Betrachtung. Die Landesregierung hat den Nachhaltigkeitsgedanken in das Zentrum ihres Handelns gestellt. Wenn wir die Erfüllung der Bedürfnisse zukünftiger Generationen nicht gefährden wollen, dann gilt es neben der Ökologie auch das nachhaltige Wirtschaften sowie soziale Aspekte zu berücksichtigen und ihre Wechselwirkungen in den Blick zu nehmen.

Im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie Baden-Württemberg haben die Ministerien in Baden-Württemberg bereits 2013 eine Energiezertifizierung durchgeführt. Darauf aufbauend ist nun eine Öko-Auditierung vorgesehen. Zudem haben wir neben Umweltindikatoren auch Nachhaltigkeitsindikatoren entwickelt und im Indikatorenbericht 2014 vorgelegt. Jedes Ministerium in Baden-Württemberg hat darüber hinaus für das Jahr 2014 einen Nachhaltigkeitsbericht erstellt, in dem politische Nachhaltigkeitsziele sowie Maßnahmen zu deren Umsetzung dargestellt sind.

Mit der Einführung strategischer Instrumente zur Steuerung einer nachhaltigen Entwicklung im Land und der Umsetzung konkreter Maßnahmen nimmt das Land eine Vorbildfunktion in Deutschland und Baden-Württemberg ein. Viele Kommunen und Unternehmen im Land haben sich ebenfalls bereits auf den Weg gemacht.

In den letzten Jahren haben wir viel erreicht. Wir werden den eingeschlagenen Weg auch weiterhin fortsetzen. Dabei werden die Umweltdaten auch zukünftig ein wichtiger Baustein für die Steuerung nachhaltiger Entwicklung im Land sein.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'F. Untersteller'.

Franz Untersteller MdL

Minister für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft  
des Landes Baden-Württemberg

# Vorwort



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

das Erscheinungsjahr der Umweltdaten 2015 ist ein besonderes Jahr für die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg – sie feiert in diesem Jahr ihr 40-jähriges Jubiläum. 1975 wurde mit der Landesanstalt für Umweltschutz die Vorläuferinstitution der heutigen LUBW gegründet. Seit 40 Jahren stellt die LUBW nun geballtes Expertenwissen und ihre Erfahrungen im Umwelt- und Naturschutz zur Verfügung.

Eine regelmäßige Berichterstattung über den Zustand von Umwelt und Natur gehörte bereits in den Anfängen zu unseren Aufgaben. Den ersten Umweltzustandsbericht veröffentlichte die Umweltverwaltung des Landes Baden-Württemberg bereits im Jahr 1979. Seit 25 Jahren trägt der Umweltzustandsbericht den auch heute noch gültigen Titel „Umweltdaten“. Die Bedeutung der Umweltdaten als Instrument zur Information der Öffentlichkeit wurde durch das seit Anfang 2015 gültige „Gesetz zur Vereinheitlichung des Umweltverwaltungsrechts und zur Stärkung der Bürger- und Öffentlichkeitsbeteiligung im Umweltbereich“ noch unterstrichen – dort ist die regelmäßige Herausgabe eines Berichts mit Informationen über die Umweltqualität und vorhandene Umweltbelastungen festgeschrieben.

In den Umweltdaten 2015, die wir zusammen mit dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg herausgeben, finden Sie für die Umweltmedien Wasser, Luft, Boden sowie Natur und Landschaft eine ausführliche Darstellung des aktuellen Zustandes, aber auch der Entwicklungen in den letzten Jahren und Jahrzehnten. Gleichfalls berücksichtigt werden eher technisch geprägte Bereiche wie Radioaktivität, elektromagne-

tische Felder und Lärm. Die Umweltindikatoren, die Sie im ersten Kapitel der Umweltdaten finden, veranschaulichen Trends in verschiedenen umweltrelevanten Themenfeldern. Eine Übersicht über die verschiedenen Überwachungs- und Warndienste der LUBW rundet die Umweltdaten 2015 ab.

Die Umweltdaten veranschaulichen, in welchen Bereichen Baden-Württemberg auf seinem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung in den letzten Jahren Erfolge erzielen konnte. Sie zeigen aber auch die Bereiche auf, in denen es weiterer Anstrengungen bedarf, um die natürliche Umwelt zu erhalten und ihren Zustand weiter zu verbessern.

Beispielhaft sei hier die Luftqualität genannt – während die klassischen Verunreinigungen wie Kohlenmonoxid und Blei stetig zurückgingen, sind die hohen Stickstoffdioxidkonzentrationen, die wir 2014 an verkehrsnahen Luftmessstationen gemessen haben, Anlass zum Handeln. Ein weiteres Beispiel sind unsere Gewässer, die in den letzten Jahrzehnten zwar deutlich sauberer geworden sind, bei denen aus ökologischer Sicht aber weiterhin Defizite zu beklagen sind. Als neue Herausforderung rücken Spurenstoffe in den Fokus. Auch im Natur- und Artenschutz besteht weiterhin Handlungsbedarf: Der abnehmende Bestand an Feldvogelarten ist nur ein Beispiel für einen Rückgang an Artenvielfalt. Ein Thema, das zunehmend Beachtung erfährt, ist der anthropogene Eintrag von Stickstoff in die Umwelt. Auch der Klimawandel mit seinen Folgen für Mensch und Natur und eine umweltverträgliche Energiewende bleiben zentrale Herausforderungen für die Zukunft.

Mein herzlicher Dank gilt dem Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz, dem Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, dem Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau im Regierungspräsidium Freiburg und dem Statistischen Landesamt für ihre Beiträge zu den Umweltdaten 2015.

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	7
1.2	Natürliche Ressourcen	18
1.3	Energieerzeugung und -verbrauch	22
1.4	Umweltschutz in Wirtschaft und Kommunen	26
<b>2</b>	<b>KLIMA</b>	<b>30</b>
2.1	Emission von Treibhausgasen	30
2.2	Klimawandel und seine Folgen	35
<b>3</b>	<b>LUFT</b>	<b>40</b>
3.1	Erhebung der Emissionen	40
3.2	Immissionsmessnetze und Depositionsmessnetz	42
3.3	Luftverunreinigungen	43
3.4	Depositionen	59
<b>4</b>	<b>BODEN</b>	<b>62</b>
4.1	Moore	62
4.2	Bodendauerbeobachtung	63
4.3	Böden mit geogen erhöhten Spurenelementgehalten	67
4.4	Altlastenbearbeitung	68
4.5	Die Bodenkarte von Baden-Württemberg	70
<b>5</b>	<b>WASSER</b>	<b>72</b>
5.1	Grundwasser	72
5.2	Zustand der Fließgewässer	80
5.3	Stehende Gewässer	93
5.4	Abwasser	97
5.5	Hydrologie der Oberflächengewässer	100
<b>6</b>	<b>NATUR UND LANDSCHAFT</b>	<b>103</b>
6.1	Flächenschutz	103
6.2	Artenschutz	108
6.3	Europäischer Naturschutz	113
6.4	Naturschutzrechtliche Eingriffsregelung	116
6.5	Medienübergreifende Umweltbeobachtung	117
6.6	Wald	124

<b>7</b>	<b>LÄRM</b>	<b>128</b>
7.1	Belästigung durch Lärm	129
7.2	Lärmkartierung und Lärmaktionsplanung	129
7.3	Straßenverkehrslärm	130
7.4	Schienenverkehrslärm	132
7.5	Fluglärm	133
7.6	Anlagenlärm (Industrie und Gewerbe)	135
7.7	Lärm im Wohnumfeld	136
7.8	Lärm in Kindergärten und Schulen	136
<b>8</b>	<b>ABFALLWIRTSCHAFT</b>	<b>139</b>
8.1	Abfallaufkommen	137
8.2	Entsorgung von Abfällen	139
<b>9</b>	<b>RADIOAKTIVITÄT</b>	<b>142</b>
9.1	Anlagenbezogene Emissionsüberwachung	143
9.2	Anlagenbezogene Immissionsüberwachung	145
9.3	Umweltbezogene Immissionsüberwachung	145
9.4	Strahlenexposition des Menschen	148
<b>10</b>	<b>ELEKTROMAGNETISCHE FELDER</b>	<b>150</b>
10.1	Quellen hochfrequenter Felder	151
10.2	Monitoring hochfrequenter Felder in der Umwelt	152
10.3	Niederfrequente Felder	154
<b>11</b>	<b>ÜBERWACHUNG UND WARNDIENSTE</b>	<b>155</b>
11.1	Kernreaktor-Fernüberwachung	155
11.2	Anlagensicherheit	157
11.3	Informationsdienst zu Luftschadstoffen	159
11.4	Hochwasservorhersagezentrale	160
11.5	Warn- und Alarmplan Rhein	161
11.6	Sauerstoffreglement Neckar	162
<b>INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN IM INTERNET</b>		<b>163</b>
<b>LITERATUR</b>		<b>164</b>

# 1 Nachhaltiges Baden-Württemberg

## Das Wichtigste in Kürze

Vier der 19 dargestellten **Umweltindikatoren** sind hinsichtlich Zustand und Entwicklungstrend negativ zu bewerten, drei davon aus dem Bereich Natur und Landschaft. Der verschlechterte Vitalitätszustand der Wälder und der abnehmende Bestand von Feldvogelarten belegen einen weiteren Verlust der Landschaftsqualität. Auch Landwirtschaftsflächen mit einem hohen Naturwert verzeichnen gegenüber dem Vergleichsjahr 2009 einen Rückgang. Positiv zu bewerten sind die weitere Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien am Primär- bzw. Endenergieverbrauch auf jeweils rund 12 % sowie der in den letzten zehn Jahren leicht rückläufige Endenergieverbrauch.

Die **Flächeninanspruchnahme** für Siedlung und Verkehr lag 2013 und 2014 mit 5,3 Hektar pro Tag noch erheblich über dem Zielwert von 3 Hektar pro Tag für das Jahr 2020, allerdings, bei Fortbestehen des abnehmenden Trends, in etwa auf dem Zielkorridor. Um die angestrebte Reduktion des **Endenergieverbrauchs** um 16 % von 2010 bis 2020 zu erreichen, muss eine Reduktion des Verbrauchs auch bei den privaten Haushalten erreicht werden. Sie tragen etwa zu einem Drittel zum Endenergieverbrauch bei. Der **Primärenergieverbrauch** erreichte im Jahr 2006 mit über 470 Terawattstunden einen Höhepunkt und ging seitdem deutlich zurück. Im Jahr 2013 lag er bei knapp 400 Terawattstunden. Der Einsatz fossiler Energieträger wie Steinkohle und Erdgas ging zurück, während erneuerbare Energien vermehrt zum Einsatz kommen. Ihr Anteil am Primärenergieverbrauch hat sich von 2,8 % im Jahr 2000 auf fast 12 % im Jahr 2013 mehr als vervierfacht. **Biomasse** trägt ca. 8,3 % zum gesamten Primärenergieverbrauch Baden-Württembergs bei. Den größten Anteil hat hierbei der Einsatz von Holz als Brennstoff in Feuerungen. Etwa 1,6 % des Primärenergieverbrauchs werden insgesamt aus Solar- und Windkraft erzeugt.

Der **Potenzialatlas Erneuerbare Energien Baden-Württemberg** stellt für das Land raumbezogene Informationen zu erneuerbaren Energien zur Verfügung. Er beinhaltet die Themen Solar-, Wasser- und Windenergie. Bereits bestehende Erzeugungsanlagen und das Ausbaupotenzial für weitere Anlagen werden dargestellt und analysiert.

Der **Nachhaltigkeitsatlas** zeigt die vielfältigen kommunalen Nachhaltigkeitsaktivitäten und Themenfelder der engagierten Kommunen in Baden-Württemberg.

Mit dem Kabinettsbeschluss vom 13.12.2011 wurde die Nachhaltigkeitsstrategie in Baden-Württemberg neu aufgelegt. Neben konkreten Maßnahmen zur Umsetzung von Nachhaltigkeit in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft wurde ein strategischer Rahmen für die nachhaltige Entwicklung im Land beschlossen. Darauf aufbauend wird ab dem Jahr 2014 in einem Turnus von zwei Jahren ein Indikatorenbericht der Landesregierung mit Statusindikatoren einer nachhaltigen Entwicklung publiziert. Darüber hinaus veröffentlichen die Landesministerien einmal in der Legislaturperiode einen indikatorengestützten Nachhaltigkeitsbericht. Das Prinzip der Nachhaltigkeit ist mit vielen Projekten in der Bevölkerung verankert, um Innovationsprozesse zu beschleunigen. Im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie werden ökonomische, soziale und ökologische Aspekte berücksichtigt.

## 1.1 Umweltindikatoren

Umweltindikatoren sind Mess- oder Kenngrößen für die Bewertung und Trendbeschreibung der Umweltsituation. Mit wenigen Schlüsselgrößen werden Belastungen und Zustand der Umwelt in einer komprimierten und generalisierten Form dargestellt.

Zum Großteil wurden die Indikatoren von der Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI) entwickelt, einer Arbeitsgemeinschaft von Umweltfachbehörden der Länder und des Bundes ([www.liki.nrw.de](http://www.liki.nrw.de)). Diese Indikatoren werden von der Umweltministerkonferenz zur Anwendung empfohlen. Grundlage ist außerdem das jährlich erscheinende Falblatt „Daten zur Umwelt – Umweltindikatoren Baden-Württemberg“ [LUBW, STA LA 2014] mit ausgewählten Umweltindikatoren und der „Indikatorenbericht 2014 – Statusindikatoren einer nachhaltigen Entwicklung in Baden-Württemberg“ [UM 2014a].

Die mit den Umweltdaten 2015 vorgestellten Indikatoren sind als langjährige Trendlinien dargestellt und gehen auf die Themenbereiche Klima und Energie, Natur und Landschaft, Umwelt und Verkehr sowie Ressourcen ein.

Tab. 1.1-1: Übersicht über die Bewertungen der insgesamt 19 dargestellten Indikatoren. Stand 2015

Klima und Energie	
Erneuerbare Energien	●
Energieverbrauch	●
Treibhausgasemissionen	●
Klimawandel und Vegetationsentwicklung	○
Natur und Landschaft	
Zustand der Fließgewässer	●
Waldzustand	●
Naturschutzflächen	●
Artenvielfalt und Landschaftsqualität	●
Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert	●
Säure- und Stickstoffeintrag	○
Umwelt und Verkehr	
Güterverkehrsaufwand	●
Öffentlicher Personennahverkehr	●
Lärmbelastung	○
Luftqualität	●
Nitrat im Grundwasser	●
Ressourcen	
Flächeninanspruchnahme	●
Abfall	●
Ökologische Landwirtschaft	●
Rohstoffverbrauch	○

- Trend ist positiv und deutliche Verbesserung des Zustands und/oder Erreichen des Zielwerts ist bereits jetzt oder in absehbarer Zeit möglich
- Trend ist positiv aber deutliche Verbesserung des Zustands und/oder Erreichen des Zielwerts ist in absehbarer Zeit noch nicht möglich
- Trend ist negativ und deutliche Verbesserung des Zustands und/oder Erreichen des Zielwerts ist in absehbarer Zeit nicht möglich
- keine abschließende Bewertung möglich

Wo es sinnvoll und aufgrund der Datenverfügbarkeit möglich ist, werden neben den Trendlinien für Baden-Württemberg die Werte für Deutschland dargestellt. Die Indikatoren werden auf Basis des erkennbaren Trends und – dem Indikatorenbericht 2014 des Landes folgend – anhand des aktuell erreichten Zustandes bewertet. Die Darstellung erfolgt nach dem Ampelschema in den Farben Grün, Gelb und Rot. So ist es beispielsweise möglich, dass der langjährige Verlauf eines Trends zwar positiv zu bewerten ist, der angestrebte Zielwert jedoch bei gleichbleibender Entwicklung nicht erreicht werden kann. Solch ein Indikator wird mit der Farbe Gelb gekennzeichnet. Bei einigen Indikatoren ist keine Bewertung möglich. Hier sind entweder die Datenreihen zu kurz oder es liegt keine konkrete Zielaussage vor.

### 1.1.1 Klima und Energie

#### Erneuerbare Energien

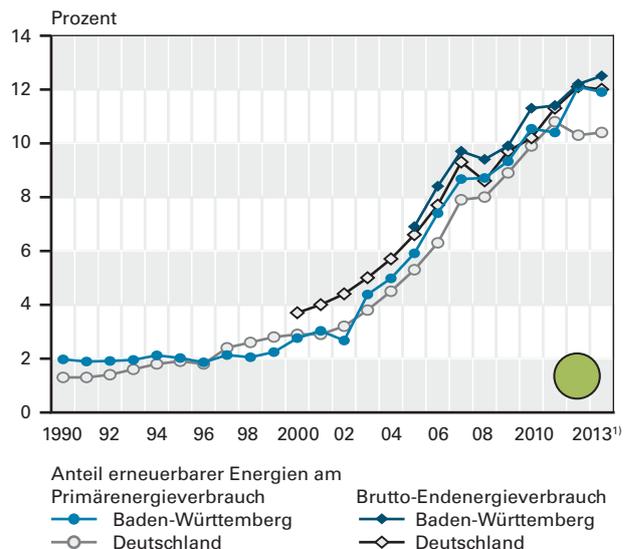
Durch die Umstellung auf erneuerbare Energieträger kann der Ausstoß von Treibhausgasen reduziert und die Importabhängigkeit von fossilen Energieträgern gesenkt werden.

**Ziel:** Im Jahr 2020 soll der Anteil regenerativ erzeugter Energien am Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg 25 % betragen [UM 2014b].

**Bewertung:** Der Anteil erneuerbarer Energien sowohl am Primärenergieverbrauch als auch am Endenergieverbrauch hat in den letzten 20 Jahren stark zugenommen. Damit dieser Trend anhält, sind weitere Anstrengungen erforderlich. Neben dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien ist dies durch eine weitere Reduktion des Endenergieverbrauchs erreichbar.

Insgesamt liegt der Anteil erneuerbarer Energien am Energieverbrauch in Baden-Württemberg in etwa auf bundesweitem Niveau.

Weiterführende Informationen in Kapitel 1.3



1) vorläufige Daten

Abb. 1.1-1: Anteil erneuerbarer Energien am Primär- und am Endenergieverbrauch in Prozent. Quellen: Länderinitiative Kernindikatoren, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

## Energieverbrauch

Die Bereitstellung von Energie ist mit erheblichen Umweltbelastungen wie Schadstoff- und Treibhausgasemissionen, Boden- und Gewässerbelastungen, Ressourcenverbrauch und radioaktivem Abfall verbunden.

**Ziel:** Der absolute Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg soll im Vergleich zum Jahr 2010 bis 2020 um 16 % gesenkt werden [UM 2014b].

**Bewertung:** Nach vorläufigen Daten für 2013 liegt der Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg bei 99 Gigajoule pro Einwohner (GJ/(E·a)) und damit etwas höher als im Vorjahr. Insgesamt ist der Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg in den letzten zehn Jahren jedoch rückläufig. Um die angestrebte Senkung des Endenergieverbrauchs um 16 % bis 2020 zu erreichen (bezogen auf den absoluten Endenergieverbrauch), sind jedoch weitere Anstrengungen nötig. Die privaten Haushalte (ohne Kleinverbraucher) tragen zu etwa einem Drittel zum Endenergieverbrauch bei. Ein Rückgang des Endenergieverbrauchs ist bei dieser Quellengruppe nicht zu beobachten.

Weiterführende Informationen in Kapitel 1.3

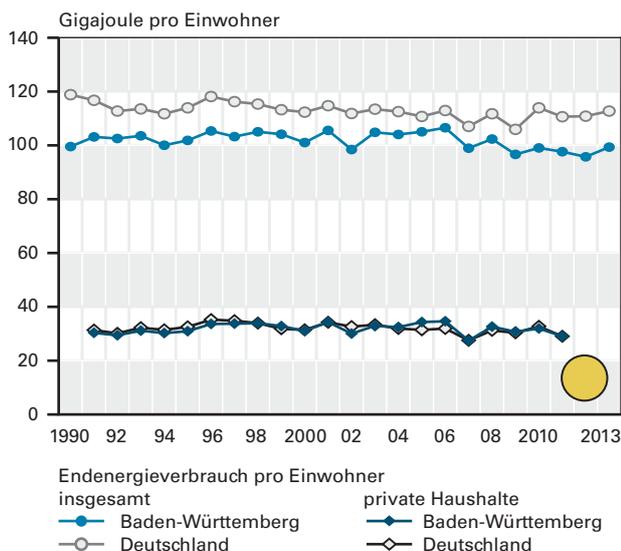


Abb. 1.1-2: Endenergieverbrauch in Gigajoule pro Einwohner und Jahr (GJ/(E·a)). Quellen: Länderinitiative Kernindikatoren, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

## Treibhausgasemissionen

Treibhausgase (THG) sind verantwortlich für die Erwärmung der Erdatmosphäre. Vom Menschen verursachte THG-Emissionen verstärken diesen Effekt und führen zu einer Klimaveränderung. Den größten Anteil an den durch den Menschen verursachten THG-Emissionen hat mit fast 90 % das Kohlendioxid.

**Ziel:** Bis zum Jahr 2020 sollen die THG-Emissionen in Baden-Württemberg im Vergleich zum Jahr 1990 um 25 % abnehmen [UM 2014b].

**Bewertung:** Die vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg erhobenen Treibhausgasemissionen in Baden-Württemberg zeigen in den letzten 20 Jahren – bei jährlichen, vorrangig witterungsbedingten und konjunkturellen Schwankungen – insgesamt einen rückläufigen Trend. Seit 2010 stagnieren die Treibhausgasemissionen, 2013 kam es sogar wieder zu einem leichten Anstieg. Gegenüber dem Jahr 1990 konnte bei den Pro-Kopf-Emissionen von Treibhausgasen eine Reduktion um 17,5 % erreicht werden.

Weiterführende Informationen in Kapitel 2.1

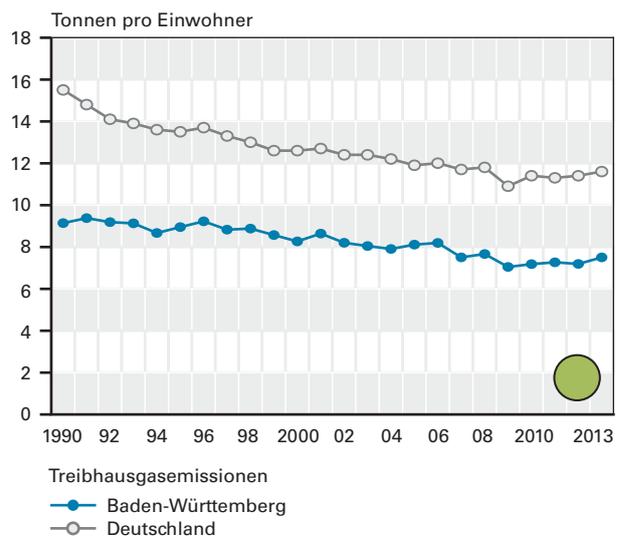


Abb. 1.1-3: Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid, Methan und Lachgas) in Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Einwohner und Jahr (t/(E·a)). Quellen: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Umweltbundesamt.

## Klimaentwicklung

Beginn und Ende pflanzlicher Entwicklungsphasen wie Blattaustrieb, Blüte oder Blattfall sind u. a. von Witterung und Klima abhängig. Aus der Veränderung solcher phänologischer Phasen können vor allem Temperaturveränderungen abgelesen werden. Der Beginn der Apfelblüte dient als Anzeiger des Eintritts des Vollfrühlings, zusätzlich wird durch den Indikator die Verlängerung der Vegetationsperiode abgebildet.

**Ziel:** Die Klima-Anpassungsstrategie Baden-Württembergs soll auf die in naher Zukunft (2021 bis 2050) zu erwartenden Folgen des Klimawandels vorbereiten und auf mögliche weitere Entwicklungen in der fernen Zukunft (2071 bis 2100) hinweisen. So soll ein Prozess angestoßen werden, der dazu beiträgt, die Verwundbarkeit des Landes zu mindern, mögliche Klimafolgen zu erkennen und dabei entstehende Kosten zu senken und sich ergebende Chancen zu nutzen [UM 2015].

**Bewertung:** Die dargestellten jeweils über 30 Jahre gerechneten gleitenden Mittelwerte zeigen eine deutliche Vorverlegung des Beginns der Apfelblüte sowie eine Verlängerung der Vegetationsperiode um etwa sechs Tage.

Weiterführende Informationen in Kapitel 2.1

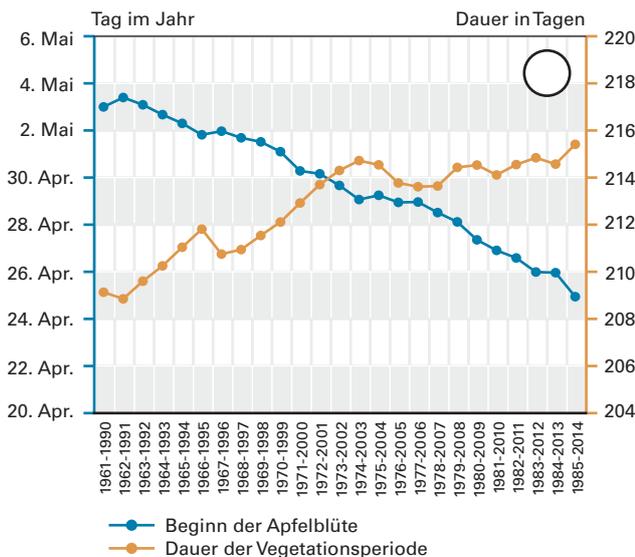


Abb. 1.1-4: Veränderung des Beginns der Apfelblüte und Veränderung der Dauer der Vegetationsperiode in Tagen für Baden-Württemberg. Quelle: Länderinitiative Kernindikatoren.

## 1.1.2 Natur und Landschaft

### Saprobieller Zustand der Fließgewässer

Der saprobielle Zustand, der mit Hilfe von auf dem Gewässergrund lebenden Organismen bestimmt wird, indiziert die Belastung der Fließgewässer mit leicht abbaubaren organischen Stoffen und dem daraus resultierenden Sauerstoffgehalt.

**Ziel:** Erreichen einer mindestens guten Zustandsklasse gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG).

**Bewertung:** Über 90 % der Untersuchungsstellen haben aufgrund der verbesserten Abwasserreinigung und Regenwasserbehandlung mindestens den guten saprobiellen Zustand erreicht.

Weiterführende Informationen in Kapitel 5.2

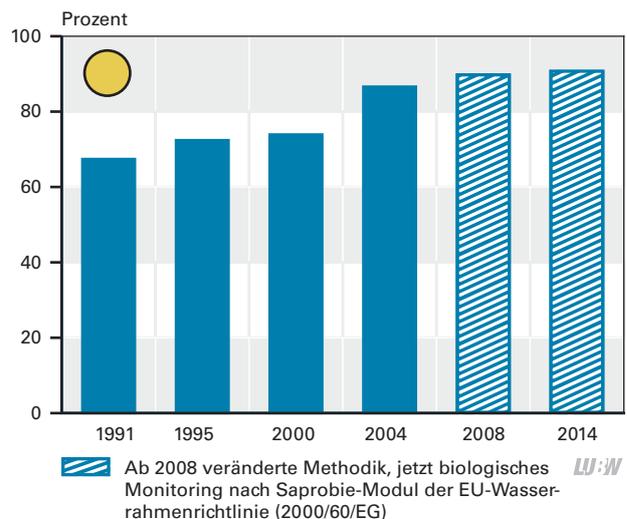


Abb. 1.1-5: Anteil der Fließgewässerstrecke, die die saprobielle Zustandsklasse 2 oder besser erreicht hat, in Prozent.

### Waldzustand

Ein gesunder Wald ist für den Naturhaushalt und eine nachhaltige Rohstoffversorgung von großer Bedeutung. Die Erfassung der Waldschäden basiert auf einer Beurteilung der Baumkronen. Dargestellt wird der Anteil der deutlich geschädigten Bäume in Prozent.

**Ziel:** Der Anteil deutlich geschädigter Waldflächen soll reduziert werden [BMEL 2015]. Ein konkretes Ziel ist für diesen Indikator nicht definiert.

**Bewertung:** Der Vitalitätszustand der Wälder Baden-Württembergs hat sich im Jahr 2014 deutlich verschlechtert. Als belastend für die Waldbäume wirkte sich landesweit das stark ausgeprägte Niederschlagsdefizit in der ersten Jahreshälfte 2014 aus. In der bisherigen Zeitreihe der Waldschadensinventur wurde nur in den Jahren 2005 bis 2007 als Folge der damals extrem trockenen und warmen Sommerwitterung ein derart hohes Schadenniveau der Wälder registriert [FVA 2014].

Weiterführende Informationen in Kapitel 6.6

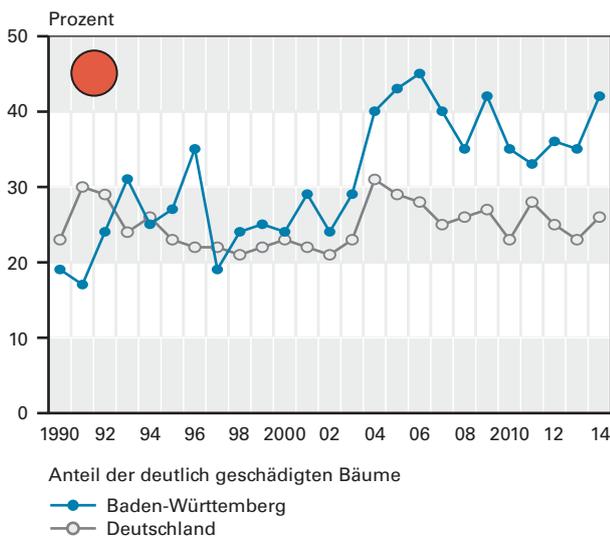


Abb. 1.1-6: Anteil der deutlich geschädigten Bäume der Stufe 2 („mittelstark geschädigt“) und höher in Prozent. Quelle: Länderinitiative Kernindikatoren.

### Naturschutzflächen

Um die biologische Vielfalt nachhaltig zu sichern, sind ausreichend große Flächen erforderlich, auf denen sich die Natur ohne belastende Eingriffe des Menschen entfalten kann.

**Ziel:** In Baden-Württemberg werden verstärkt Naturschutzgebiete ausgewiesen, wenn die jeweiligen Schutzziele über einen rein freiwilligen Naturschutz nicht oder weniger gut erreicht werden [MLR 2013]. Ein konkreter Zielwert ist für diesen Indikator nicht definiert.

**Bewertung:** Der Anteil der Flächen für den Naturschutz oder für die Natur an der Landesfläche hat sich seit über zwanzig Jahren stetig erhöht. Die Ausweisung des Nationalparks Schwarzwald im Jahr 2014 führte zu einer deutlichen Ausweitung der Naturschutzflächen auf 2,66 % der Landesfläche. Im bundesweiten Vergleich ist der Anteil streng geschützter Gebiete des Naturschutzes an der Landesfläche in Baden-Württemberg eher niedrig.

Weiterführende Informationen in Kapitel 6.1

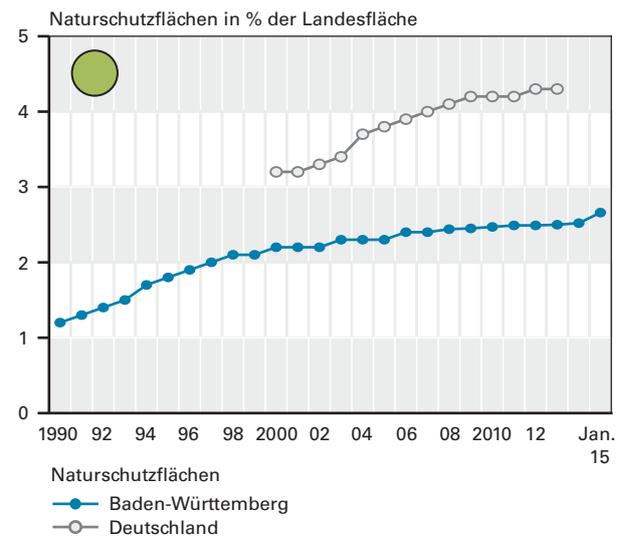


Abb. 1.1-7: Anteil der bundeseinheitlich nach Naturschutzrecht streng geschützten Gebiete (Naturschutzgebiete, Kern- und Pflegezonen der Nationalparke und der Biosphärenreservate) an der Landesfläche in Prozent. Quelle: Länderinitiative Kernindikatoren ergänzt durch LUBW.

### Artenvielfalt und Landschaftsqualität

Die Bestandsentwicklungen ausgewählter Vogelarten stehen stellvertretend für den Zustand der Artenvielfalt in unterschiedlichen Landschaftstypen und spiegeln mittelbar die Nachhaltigkeit der Landnutzung wider. In Baden-Württemberg sind die Landschaftstypen Agrarland, Wald und Siedlung sowie Binnengewässer relevant. Für das Agrarland ist eine landesweite Auswertung zur Bestandsentwicklung der 14 Indikatorvogelarten verfügbar.

**Ziel:** Der Rückgang der Biodiversität in den Agrarökosystemen des Landes soll gestoppt und für die typischen Arten der Agrarlandschaft soll ein Aufwärtstrend erreicht werden. Ziel bis 2020 ist es, einen „günstigen Erhaltungszustand“ aller für die Kulturlandschaft des Landes typischen Arten zu erreichen [MLR 2013].

**Bewertung:** Das gesetzte Ziel wurde bisher nicht erreicht. Die drei dargestellten Trendkurven der häufigsten Feldvogelarten dokumentieren von 1999 bis 2012 einen deutlichen Rückgang der Bestände. Von den 14 Indikatorarten zeigen zehn Arten eine Abnahme, drei Arten einen gleichbleibenden Trend und nur eine Art eine Zunahme. Diese negativen Bestandsentwicklungen werden analog sowohl auf Bundes- als auch auf europäischer Ebene festgestellt.

Weiterführende Informationen in Kapitel 6.2.4

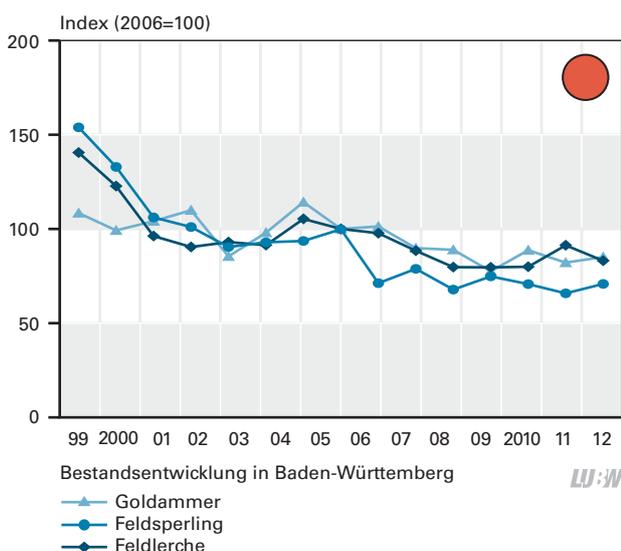


Abb. 1.1-8: Bestandsindex von Feldlerche, Feldsperling und Goldammer für Baden-Württemberg.

### Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert

In der Agrarlandschaft sind naturnahe Landschaftselemente sowie extensiv genutzte Flächen von großer Bedeutung für den Schutz der biologischen Vielfalt. Durch die systematische Erfassung von Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert können Auswirkungen u. a. der Agrarpolitik im Hinblick auf die Erhaltung und Förderung der biologischen Vielfalt in der Landwirtschaft aufgezeigt werden.

**Ziel:** Baden-Württemberg will die Landwirtschaft noch stärker im Sinne der Nachhaltigkeit sowie der Erhaltung der Biodiversität entwickeln [MLR 2013]. Ein Zielwert ist für Baden-Württemberg nicht definiert.

**Bewertung:** In Baden-Württemberg liegt der Anteil von Agrarflächen mit einem hohen Naturwert bei rund 15 % der Agrarfläche. Gegenüber 2009 ist jedoch ein leichter Rückgang zu beobachten. Der Verlust liegt im Rückgang von naturschutzfachlich wertvollen Ackerflächen und Grünland begründet und weniger im Verlust von Landschaftselementen wie z. B. Hecken oder Staudenfluren.

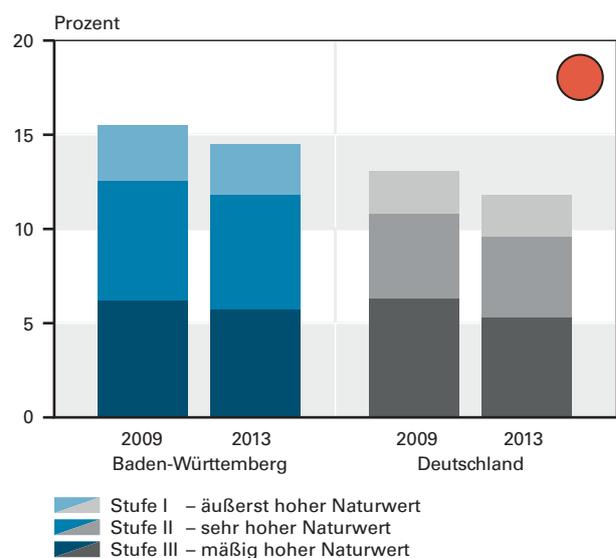


Abb. 1.1-9: Anteil der Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert an der gesamten Landwirtschaftsfläche in Prozent. Quelle: Länderinitiative Kernindikatoren.

### Säure- und Stickstoffeintrag

Ein Überangebot an säurebildenden Stoffen und Nährstoffen verursacht Veränderungen chemischer und biologischer Bodenparameter, die u. a. Vegetation und Grundwasser beeinflussen und zur Destabilisierung empfindlicher Ökosysteme führen können. Diese „Versauerung und Eutrophierung“ bewirkt z. B., dass Biotope wie Magerrasen oder Moore mit ihren einmaligen Pflanzen- und Tiergesellschaften, aber auch Wasser- und Klimaschutzfunktionen, gefährdet sind. Aus Probenahmen an ca. 50 bis 60 Standorten bundesweit wird die Hintergrundbelastung durch Säure- und Stickstoffeinträge auf Freiflächen im Wald anhand der sogenannten nassen Deposition ermittelt.

**Ziel:** Zur Reduktion des Eintrags von Säurebildnern und Stickstoff ist kein konkreter Zielwert definiert. In der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes sind jedoch Emissionshöchstmengen für Schwefeldioxid, Stickstoffoxide und Ammoniak festgelegt.

**Bewertung:** Die Einträge werden überwiegend über die Emissionsmenge und den Niederschlag bestimmt. In den Jahren 1996/97 und 2003/04 mit geringen Einträgen lagen die Niederschlagsmengen unter dem Durchschnitt. Die Werte für Baden-Württemberg zeigen nur zum Teil einen ähnlichen Verlauf wie für Deutschland.

Weiterführende Informationen in Kapitel 3.4

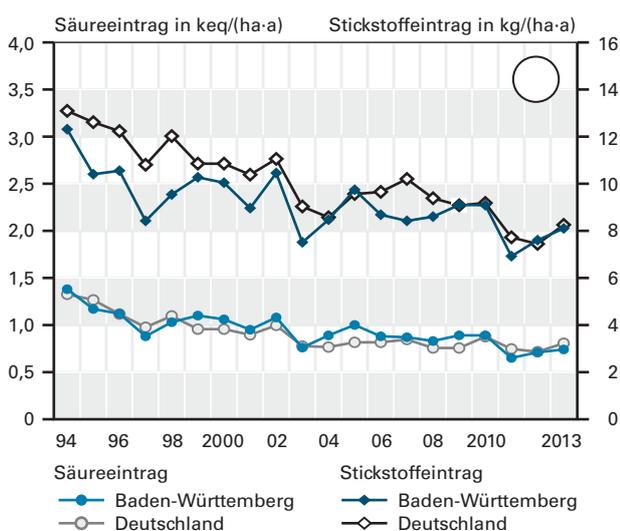


Abb. 1.1-10: Säure- und Stickstoffeintrag auf Freiflächen im Wald durch nasse Deposition in Kilogramm Säureäquivalenten pro Hektar (keq/(ha-a)) bzw. Kilogramm Stickstoff pro Hektar und Jahr (kg/(ha-a)). Quellen: Forstliches Umweltmonitoring der Länder, Länderinitiative Kernindikatoren.

### 1.1.3 Umwelt und Verkehr

#### Güterverkehrsaufwand

Der Transport von Gütern auf der Schiene oder mit Binnenschiffen führt bei gleicher Transportleistung zu geringeren Umweltbelastungen als der Transport auf der Straße. Eine Verschiebung des Güterverkehrsaufwandes weg vom energie- und schadstoffärmeren Schienen- und Binnenschiffsverkehr hin zum Straßenverkehr kann in der Regel mit einer Erhöhung der Umweltbelastung gleichgesetzt werden.

**Ziel:** Ziel des Bundes ist es, bis zum Jahr 2015 den Anteil des Schienenverkehrs auf 25 % und den Anteil der Binnenschifffahrt auf 14 % zu steigern [BPA 2012]. Für Baden-Württemberg ist kein gesondertes Ziel ausgewiesen.

**Bewertung:** Der Anteil des Schienen- und Binnenschiffsverkehrs stieg in den letzten zwei Jahren auf zusammen knapp 25 % im Jahr 2013 an. Mit knapp 28 % liegt der Anteil auf Bundesebene etwas höher, jedoch noch weit vom Ziel entfernt.

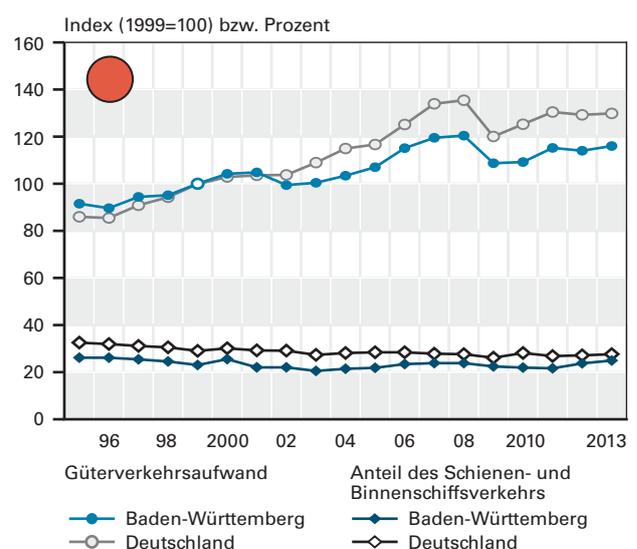


Abb. 1.1-11: Güterverkehrsaufwand als Index und Anteil des Schienen- und Binnenschiffsverkehrs an der Güterverkehrsleistung in Prozent. Quelle: Länderinitiative Kernindikatoren.

### Öffentlicher Personennahverkehr

Die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel entlastet besonders Innenstädte, Hauptverkehrsstraßen und Wohngebiete mit Durchgangsstraßen von Lärm und Abgasen. Eine Reduktion des motorisierten Individualverkehrs könnte auch den Flächenverbrauch für den Straßenausbau und für Parkraum verringern.

**Ziel:** Bis 2020 soll der Anteil umweltverträglicher Verkehrsarten am Verkehrsaufkommen spürbar steigen. Verkehrsträgerübergreifende Konzepte sollen den Verkehr effizienter und bequemer für die Nutzer machen und seine Auswirkungen auf Anlieger und Umwelt abmildern. Dabei muss Mobilität für alle bezahlbar bleiben [MVI 2015]. Ein konkreter Zielwert ist für diesen Indikator nicht definiert.

**Bewertung:** Die Nutzung des öffentlichen Personennahverkehrs zeigt in Baden-Württemberg insgesamt einen positiven Trend, bleibt in den letzten Jahren aber hinter der bundesweiten Entwicklung zurück.

### Lärmbelastung

Lärm ist ein nahezu flächendeckendes Umweltproblem. Er ist in weiten Teilen des Landes fast ständig präsent. Bei Dauerbelastungen oberhalb von 65 dB(A) am Tag und 55 dB(A) während der Nacht besteht ein signifikant höheres gesundheitliches Risiko. Diese Risiken entstehen unter anderem durch Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Bluthochdruck, unabhängig davon, ob die Geräusche von den Betroffenen bewusst als störend wahrgenommen werden oder nicht.

**Ziel:** Laut der EU-Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm (2002/49/EG) sollen vorhandene Belastungen gesenkt und ruhige Gebiete vor Verlärmung geschützt werden. Ein konkreter Zielwert für diesen Indikator ist für Baden-Württemberg nicht definiert.

**Bewertung:** Hauptlärmquelle in Baden-Württemberg ist der Straßenverkehr. Daneben zählen der Schienen- und Flugverkehr sowie laute Nachbarn zu den Lärmquellen, die die Anwohner am meisten beeinträchtigen.

Weiterführende Informationen in Kapitel 7

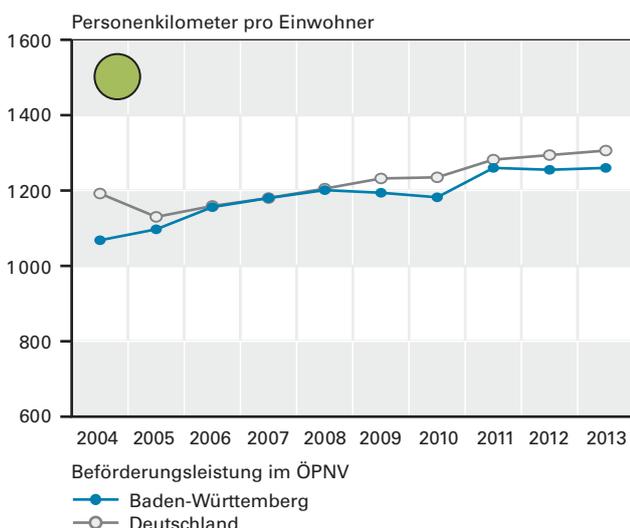


Abb. 1.1-12: Personenkilometer pro Einwohner und Jahr im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). Quellen: Länderinitiative Kernindikatoren, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

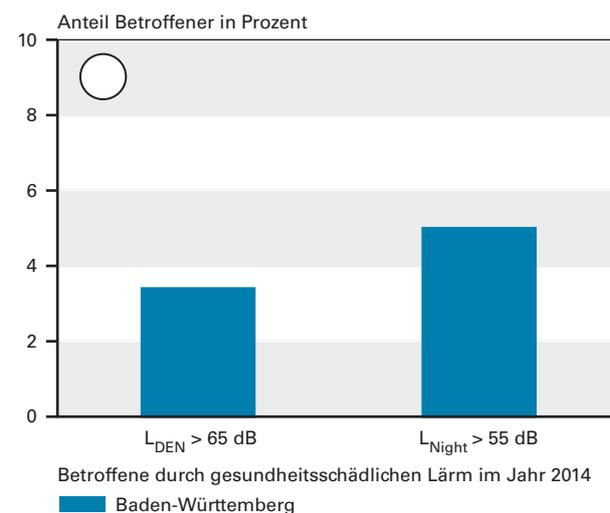


Abb. 1.1-13: Anteil Betroffener von Lärm-Dauerbelastungen am Tag ( $L_{DEN}$ ) und in der Nacht ( $L_{Night}$ ) in Prozent der Gesamtbevölkerung im Jahr 2014. Quelle: Länderinitiative Kernindikatoren.

### Luftverunreinigungen

Hauptquelle für das gesundheitsschädigende Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) ist der Straßenverkehr. Daneben spielen industrielle Feuerungen und vor allem in der kalten Jahreszeit auch Emissionen aus Hausheizungen eine Rolle.

**Ziel:** Der Immissionsgrenzwert für Stickstoffdioxid nach der 39. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchV) von 40 Mikrogramm pro Kubikmeter (µg/m<sup>3</sup>) im Jahresmittel soll eingehalten werden.

**Bewertung:** Die höchsten Stickstoffdioxidbelastungen treten an den verkehrsnahen Messstellen auf. Die hier gemessenen Jahresmittelwerte liegen alle über dem Immissionsgrenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup>.

Seit Anfang der 1990er-Jahre ist in Verkehrsnähe sowie im städtischen Hintergrund ein leicht abnehmender Trend der Immissionsbelastung erkennbar.

Weiterführende Informationen in Kapitel 3.3

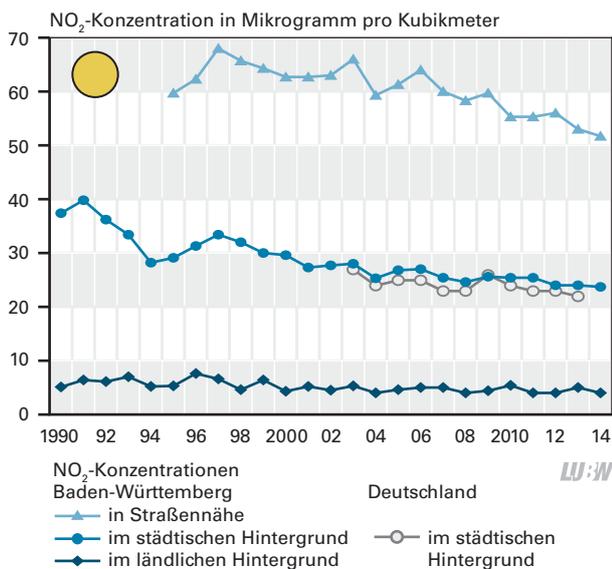


Abb. 1.1-14: Jahresmittelwerte für Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) in Mikrogramm pro Kubikmeter. Quellen: LUBW, Länderinitiative Kernindikatoren.

### Nitratgehalt des Grundwassers

Stickstoff aus der landwirtschaftlichen Düngung kann im Grundwasser erhöhte gesundheitsschädliche Nitratgehalte verursachen.

**Ziel:** Das Ziel in Baden-Württemberg ist die Erhaltung eines guten Zustands des Grundwassers gemäß Wasser-Rahmenrichtlinie bzw. der Grundwasserverordnung. Dazu darf die Nitratkonzentration 50 mg/l nicht überschreiten.

**Bewertung:** Betrachtet wird eine Auswahl von 80 Messstellen. Insgesamt zeigt die Nitratbelastung des Grundwassers einen rückläufigen Trend, auch wenn im Jahr 2014 der Anteil von Messstellen mit einer erhöhten Nitratbelastung gegenüber dem Vorjahr angestiegen ist. Im Jahr 2014 wurde der Schwellenwert der Grundwasserverordnung an sechs Messstellen überschritten.

Weiterführende Informationen in Kapitel 6.1

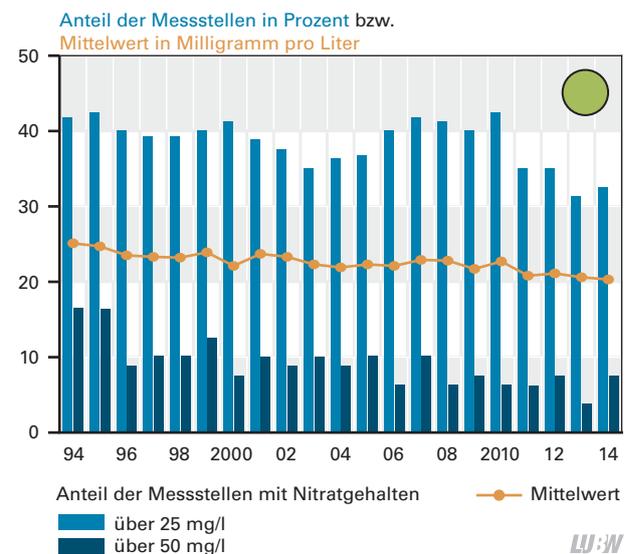


Abb. 1.1-15: Anteil der Messstellen mit einem Nitratgehalt über 25 mg/l bzw. über 50 mg/l sowie Mittelwert über alle betrachteten 80 Messstellen in Baden-Württemberg.

### 1.1.4 Ressourcen

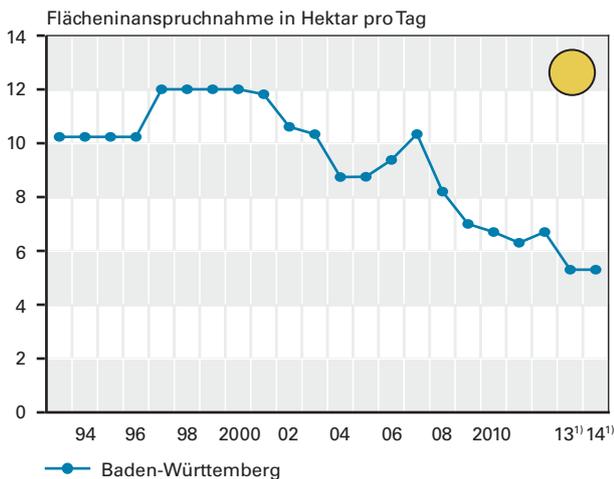
#### Flächeninanspruchnahme

Boden ist eine endliche Ressource. Mit der Inanspruchnahme von Flächen für Siedlung und Verkehr werden Lebensräume für Flora und Fauna ebenso beeinträchtigt wie die Funktionen des Bodens.

**Ziel:** In Deutschland hat man sich mit 30 Hektar (ha) maximaler täglicher Flächenneuanspruchnahme im Jahr 2020 ein anspruchsvolles Ziel gesetzt [u. a. BUNDESREGIERUNG 2002]. Für Baden-Württemberg leitet sich daraus aufgrund seines Flächenanteils am Bundesgebiet von 10 % für 2020 ein Zielwert von 3 ha pro Tag ab. Langfristiges Ziel für Baden-Württemberg ist die Netto-Null [REGIERUNGSKLÄRUNG 2006; MVI 2014].

**Bewertung:** Nach 6,7 ha pro Tag im Jahr 2012 lag die Flächeninanspruchnahme in den Jahren 2013 und 2014 bei etwa 5,3 ha pro Tag. Insgesamt liegt die Flächeninanspruchnahme noch erheblich über dem Zielwert von 3 ha pro Tag.

Weiterführende Informationen in Kapitel 1.2.3



1) Für die Jahre 2013 und 2014 liegt jeweils nur der Durchschnittswert über den gesamten Zeitraum vor. Die daraus abgeleiteten vorläufigen Jahreswerte liegen bei ca. 5,3 ha/Tag. Aus abgeschlossenen Flurbereinigungsverfahren sind einige Daten noch nicht enthalten. Diese dürften sich auf max. ca. 0,5 ha pro Tag belaufen und werden sich erst in der Statistik für 2015 niederschlagen.

Abb. 1.1-16: Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen in Hektar pro Tag (ha/d). Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

#### Abfallaufkommen

Ein hoher Verbrauch von Rohstoffen und Energie kann zu Ressourcenmangel führen. Eine abfallarme Produktion soll Ressourcen schonen; Rohstoffe und Energie sollen aus Abfällen zurückgewonnen werden. Das Aufkommen an häuslichen Abfällen beschreibt den Bereich des privaten Konsums. Mögliche Verwertungswege ergeben sich aus den unterschiedlichen Abfallfraktionen.

**Ziel:** Baden-Württemberg strebt bis zum Jahr 2020 an, die Sammelmengen an Wertstoffen aus Haushalten sowie Abfällen aus der Biotonne auf 175 bzw. 60 Kilogramm pro Einwohner und Jahr (kg/(E·a)) zu steigern. Gleichzeitig soll die Gesamtmenge an Haus- und Sperrmüll auf 120 kg/(E·a) gesenkt werden [UM 2014c].

**Bewertung:** Das gesamte Abfallaufkommen ist seit Jahren nahezu konstant. Durch die flächendeckende Einführung der Biotonne soll eine erhebliche Steigerung des Bioabfallaufkommens von derzeit 45 kg/(E·a) auf 60 kg/(E·a) erreicht werden. Im Vergleich zum Bundesdurchschnitt ist das Aufkommen von Abfällen aus Haushalten in Baden-Württemberg niedrig.

Weiterführende Informationen in Kapitel 8

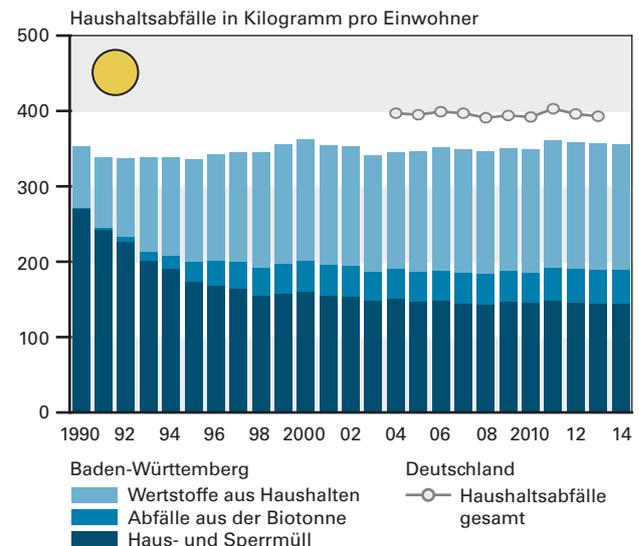


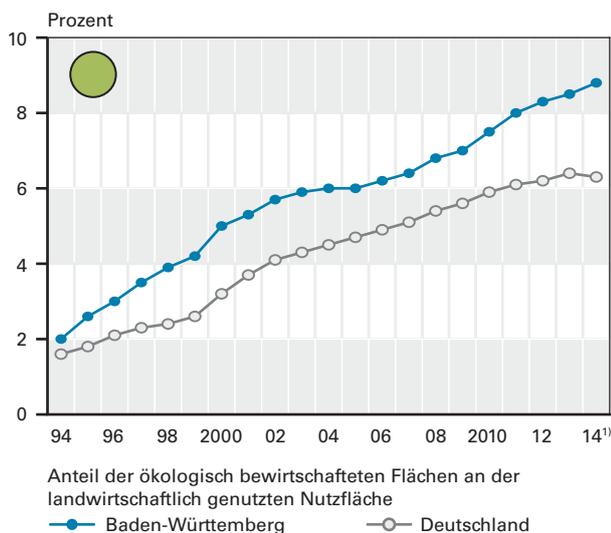
Abb. 1.1-17: Mengenentwicklung von Haus- und Sperrmüll sowie Abfällen aus der Biotonne und Wertstoffen aus Haushalten in Kilogramm pro Einwohner und Jahr (kg/(E·a)). Quellen: Länderinitiative Kernindikatoren, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

## Ökologische Landwirtschaft

Ökologische Landwirtschaft erhält und schont die natürlichen Ressourcen in besonderem Maße. Zu den Anbauregeln gehören insbesondere möglichst geschlossene Betriebskreisläufe und der Verzicht auf synthetische Mineraldünger und Pflanzenschutzmittel.

**Ziel:** Das Land Baden-Württemberg fördert den ökologischen Landbau gezielt mit dem 2012 aufgelegten Aktionsplan „Bio aus Baden-Württemberg“ [MLR 2015]. Ein konkretes Ziel ist für diesen Indikator nicht definiert.

**Bewertung:** Der Anteil der ökologisch bewirtschafteten Fläche an der landwirtschaftlich genutzten Fläche steigt in Baden-Württemberg unvermindert an. Mit inzwischen 8,8 % liegt Baden-Württemberg deutlich über dem Bundesdurchschnitt von 6,3 % ökologisch bewirtschafteter Fläche.



1) vorläufige Daten

Abb. 1.1-18: Anteil der Flächen mit ökologischer Landwirtschaft nach EG-Öko-Verordnung an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche in Prozent. Quelle: Länderinitiative Kernindikatoren.

## Rohstoffverbrauch

Die Gewinnung und Nutzung von nicht erneuerbaren Rohstoffen ist begrenzt und mit Umweltbelastungen und Schadstoffemissionen verbunden. Der Rohstoffverbrauch setzt sich zusammen aus den verwendeten, in Baden-Württemberg entnommenen abiotischen Rohstoffen zusätzlich des Imports abiotischer Güter sowie dem Saldo zwischen den Bundesländern.

**Ziel:** Die Ressourceneffizienzpolitik soll dazu beitragen, die globale Verantwortung für die ökologischen und sozialen Folgen der Ressourcennutzung wahrzunehmen. Ziel muss dabei sein, die Inanspruchnahme von Rohstoffen zu reduzieren [BMU 2012].

**Bewertung:** Der Verbrauch an nicht erneuerbaren Rohstoffen in Baden-Württemberg ist von 1994 bis zum Jahr 2012 um etwa 15 % zurückgegangen. Der im Vergleich zum Bundesdurchschnitt niedrigere Anteil von Energieträgern wie Kohle oder Öl am Rohstoffverbrauch ist auf das Fehlen von energieintensiven Industriezweigen zurückzuführen.

Weiterführende Informationen in Kapitel 1.2.1

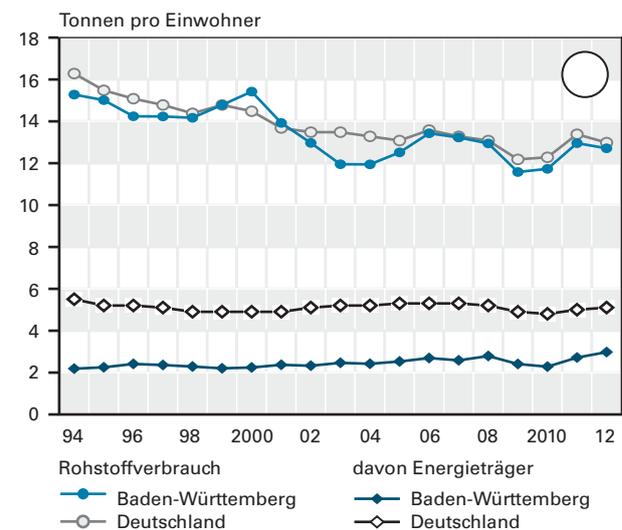


Abb. 1.1-19: Rohstoffverbrauch in Tonnen pro Einwohner. Quellen: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Statistisches Bundesamt.

## 1.2 Natürliche Ressourcen

### 1.2.1 Nicht erneuerbare Rohstoffe

Nicht erneuerbare Rohstoffe sind Fest- und Lockergesteine, Salze und Metallerze sowie die fossilen Energieträger Erdöl, Erdgas und Kohle. In Baden-Württemberg werden vor allem Steine- und Erden-Rohstoffe wie Kiese und Sande, Natursteine für den Verkehrswegebau, für Baustoffe und als Betonzuschlag, Zement- und Ziegeleirohstoffe und Industriemineralien wie Gips, Anhydrit, Kalk, Quarz, Steinsalz, Fluss- und Schwerspat gewonnen (Abb. 1.2-1).

Die große Vielfalt an hochwertigen Naturwerksteinen ist besonders für die Baudenkmalpflege von Bedeutung, wird aber auch für die moderne Architektur sowie den Garten- und Landschaftsbau eingesetzt. Die Gesamtförderung mineralischer Rohstoffe beträgt in Baden-Württemberg durchschnittlich rund 90 Mio. Tonnen pro Jahr (Betrachtungszeitraum 2004 bis 2013). Im Jahr 2013 wurden in Baden-Württemberg 91 Mio. Tonnen mineralische Rohstoffe abgebaut, wovon 80 Mio. Tonnen verarbeitet wurden; der nicht verwertbare Anteil, der für Rekultivierungs- und Verfüllungsmaßnahmen genutzt wird, betrug rund 11 Mio. Tonnen. Haupteinsatzbereiche der mineralischen Produkte sind Hoch- und Tiefbau, Straßenbau, Landwirtschaft und Umweltschutz sowie die chemische Industrie. Nach den Erhebungen des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) werden bei den aktuell 516 Gewinnungsbetrieben im Land zwei Drittel der benötigten Rohstoff-

mengen aus heimischen Lagerstätten gewonnen. Die Gewinnungsstellen für Massenrohstoffe sind relativ gleichmäßig über die Landesfläche verteilt und ermöglichen dadurch kurze Transportwege [LGRB 2013].

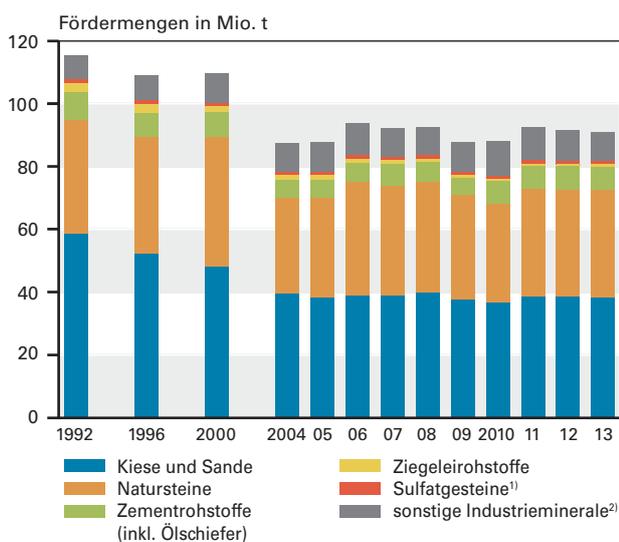
### 1.2.2 Nutzung von Biomasse als Rohstoff

#### Holz für die stoffliche und energetische Nutzung

Basis der Holzvorräte in Baden-Württemberg ist die hohe Zuwachsleistung. Im Durchschnitt wachsen pro Hektar und Jahr 12,3 Kubikmeter (m<sup>3</sup>) Holz. Dieser Zuwachs an Holz war in der Summe stets höher als Nutzung und Verluste, so dass die Holzvorräte stiegen. Statistisch belegt ist eine kontinuierliche Zunahme der Holzvorräte im Land über alle Waldeigentumsarten durch die Bundeswaldinventuren 1987, 2002 und 2012.

Der Holzeinschlag in Baden-Württemberg (Gesamtwald) lag im Forstwirtschaftsjahr 2012 bei 8,8 Mio. m<sup>3</sup>. Davon waren 2,4 Mio. m<sup>3</sup> (27,4 %) Energieholz (z. B. Hackschnitzel), Brennholz (stückiges Holz) und nicht verwertbares Stamm- und Astholz (Abb. 1.2-2).

Das theoretische Waldenergieholzpotenzial lässt sich aus den Ergebnissen forstlicher Inventurmethode ermitteln (Abb. 1.2-3). Aufgrund von ökologischen und technischen Nutzungseinschränkungen wie Schutzgebieten, Alt- und Tothholzkonzentration oder Ernteverlusten reduziert sich das theoretische Potenzial auf das technische Waldenergieholzpotenzial. Das wirtschaftliche Potenzial wird vom Verhältnis zwi-



1) Sulfatgesteine gehören zu den Industriemineralien, sind hier aber gesondert ausgewiesen  
2) hochreine Kalksteine, Steinsalz/Sole und Fluss-/Schwerspat

Abb. 1.2-1: Fördermengen von mineralischen Rohstoffen in Baden-Württemberg seit 1992. Quelle: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg.

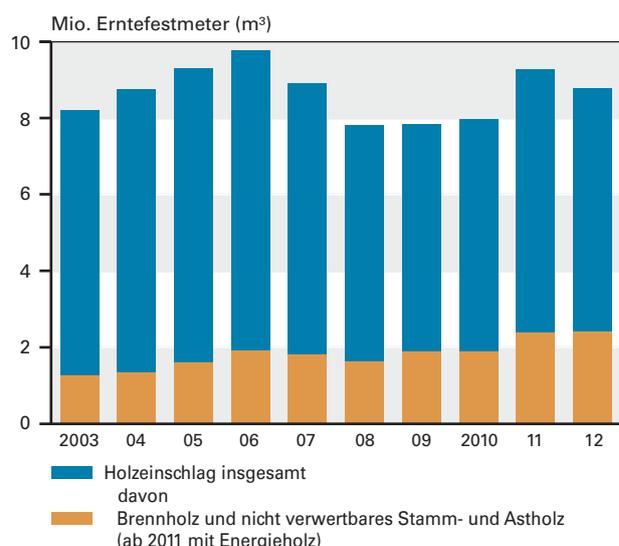


Abb. 1.2-2: Holzeinschlag in Baden-Württemberg. Quelle: Landesbetrieb ForstBW [FORSTBW 2012].

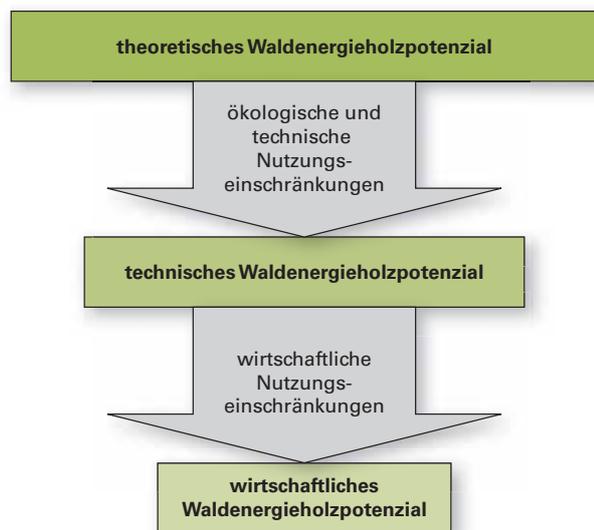


Abb. 1.2-3: Waldenergieholzpotenzial [SIGMUND ET AL. 1999; KALTSCHMITT ET AL. 2001].

schon den Bereitstellungskosten und den jeweils aktuellen Marktpreisen für Energieholz bestimmt, daher sind pauschale Aussagen zum wirtschaftlichen Potenzial sehr schwierig. Zur Abschätzung des maximalen Beitrags des Waldes zur Energieerzeugung hat die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg einen methodischen Ansatz entwickelt, der konkrete Nutzungsrestriktionen für einzelne Forstbetriebe oder Regionen berücksichtigt.

Beispielhaft wurde für den Staatswald im Landkreis Biberach das Waldenergieholzpotenzial ermittelt. Bei der herkömmlichen Aufarbeitung und Einteilung des Holzes in die Sortimente Stammholz, Industrieholz und Energieholz beträgt das jährliche theoretische Waldenergieholzpotenzial rund 49 000 m<sup>3</sup> und damit etwa 0,37 Petajoule pro Jahr (PJ/a). Das entspricht einem flächenbezogenen Waldenergieholzpotenzial von rund 4,8 m<sup>3</sup>/(ha·a). Das technische Waldenergieholzpotenzial liegt bei rund 17 000 m<sup>3</sup>/a (rund 0,13 PJ/a); das wirtschaftliche Waldenergieholzpotenzial bei rund 11 000 m<sup>3</sup>/a (rund 0,08 PJ/a).

#### Anbaubiomasse

Das technische Gesamtpotenzial der zur Energieerzeugung nutzbaren Biomasse reicht je nach Berechnungsgrundlage und zugrunde gelegter Annahmen von rund 130 PJ/a bis 200 PJ/a. Insgesamt wird Biomasse in einem Umfang von ca. 100 PJ/a (Stand 2008) energetisch genutzt, davon stammen gut 80 PJ der Bioenergieträger aus Baden-Württemberg. Aus anderen Bundesländern und dem Ausland werden vor allem flüssige Brenn- und Treibstoffe wie auch

deren Rohstoffe importiert. Anbaubiomasse, das sind Energiepflanzen als nachwachsende Rohstoffe, kann zum technischen Gesamtpotenzial der Energieerzeugung aus Biomasse nur zu 14 PJ/a bis 34 PJ/a beitragen. Das entspricht einem Anteil von 10 % bis 20 % [WM 2010].

Derzeit werden in Baden-Württemberg Mais, Raps, Gerste, Weizen, Zuckerrüben und verschiedene Grünfuttermischungen als Energiepflanzen angebaut. Dazu kommt der Anbau von Riesen-Chinaschilf (*Miscanthus*) und schnellwachsenden Baumarten wie Pappeln und Weiden auf Ackerflächen zur Herstellung von Hackschnitzeln und Pellets. Weitere energetische Nutzungen von schnellwachsenden Baumarten und *Miscanthus* werden vom Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Außenstelle Rheinstetten-Forchheim, getestet und ausgewertet ([www.ltz-augustenberg.de](http://www.ltz-augustenberg.de)).

In den vergangenen acht Jahren hat sich die Anzahl der Biogasanlagen in Baden-Württemberg von 400 im Jahr 2005 auf rund 890 Anlagen im Jahr 2014 mehr als verdoppelt. Die Rohstoffe für Biogas stammen in der Regel aus Baden-Württemberg. Es werden vorwiegend Reststoffe aus der Landwirtschaft und Energiepflanzen als Substrat eingesetzt. Für die Erzeugung von Biogas wurden im Jahr 2014 für rund 890 Biogasanlagen etwa 67 000 ha Silomais, 12 000 ha Ganzpflanzensilage und 16 000 ha sonstige Ackerfrüchte angebaut. Zusätzlich wurde Grassilage von 36 000 ha Dauergrünland eingesetzt [MESSNER, J. 2015].

In nicht landwirtschaftlichen Anlagen werden Inhalte aus der Biotonne, Speisereste und sonstige Bioabfälle als Energieträger verwendet.

#### 1.2.3 Bodennutzung und Flächeninanspruchnahme

Um die verfügbare Fläche konkurrieren unterschiedliche Nutzer wie die Landwirtschaft zum Anbau von Nahrungsmitteln oder nachwachsenden Rohstoffen, die Forstwirtschaft für eine stoffliche und energetische Holznutzung sowie die Kommunen und deren Bürger für Wohnen, Arbeiten, Freizeitaktivitäten und Mobilität. Außerdem besteht ein Flächenbedarf für den Naturschutz. Die Folgen der Inanspruchnahme von Flächen für Siedlung und Verkehr, auch Flächenverbrauch genannt, sind vielfältig: Böden werden versiegelt, Landschaften werden zerschnitten, natürliche Lebensräume werden zerstört und landwirtschaftliche Nutzfläche geht verloren.

Die Daten zur Flächennutzung werden jährlich erhoben.

Die bisher getrennten Verfahrenslösungen für raumbezogene Daten (Automatisierte Liegenschaftskarte - ALK) und für nicht raumbezogene Daten (Automatisiertes Liegenschaftsbuch - ALB) wurden mit der Umstellung auf das Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) in den Jahren 2013 und 2014 zusammengeführt. Damit löst ALKIS die alten Verfahrenslösungen ALK und ALB als Datengrundlage für die Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung ab.

In Folge der Umstellung auf ALKIS war es nicht möglich, alle laufenden Fortschreibungen zur Siedlungs- und Verkehrsfläche (etwa im Rahmen von Flurbereinigungsverfahren) im Kataster zeitnah einzuarbeiten. Dies bedeutet, dass weder die Flächennutzung zum Stichtag 31.12.2013 nachgewiesen werden kann, noch dass die Ergebnisse zum Stichtag 31.12.2014 die Flächennutzung zu diesem Zeitpunkt vollständig widerspiegeln.

Ende 2014 wurden von den 3,6 Mio. ha Bodenfläche des Landes 45,5 % als Landwirtschaftsfläche und 38,3 % als Waldfläche genutzt. Damit sind Land- und Forstwirtschaft die größten Flächennutzer in Baden-Württemberg. Die Siedlungs- und Verkehrsfläche liegt mit 513 984 ha oder 14,4 % Anteil an der Landesfläche auf dem dritten Rang. Vor zehn Jahren lag dieser Wert noch bei 13,6 %.

Von der Siedlungs- und Verkehrsfläche entfallen Ende 2014 197 371 ha oder 38,4 % auf Verkehrsflächen, also Straßen, Wege, Plätze und Anlagen des Schienen- und Luftverkehrs. Bei 277 144 ha, das sind etwa 54 % der Siedlungs- und Verkehrsfläche, handelt es sich um Gebäude- und Freiflächen, bei weiteren 31 359 ha (6,1 %) um Erholungsflächen. Die Siedlungs- und Verkehrsfläche umfasst damit in erheblichem Umfang auch Grün- und Freiflächen. Nach Schätzungen des Statistischen Landesamtes sind landesweit in Baden-Württemberg knapp die Hälfte der Siedlungs- und Verkehrsfläche, also etwa 237 622 ha oder 6,6 % der Landesfläche, tatsächlich versiegelt (Abb. 1.2-4).

Zuwächse verzeichnet in Baden-Württemberg vornehmlich die Siedlungs- und Verkehrsfläche. Diese gehen hauptsächlich zu Lasten der Landwirtschaftsfläche. Die Waldfläche, die in den letzten 20 Jahren ebenfalls einen erheblichen Zuwachs verzeichnete, blieb dagegen seit nunmehr zwei Jahren nahezu konstant (Abb. 1.2-5).

Die Bundesregierung möchte die bundesweite Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr bis zum Jahr 2020 auf 30 ha pro Tag reduzieren [BUNDESREGIERUNG 2002].

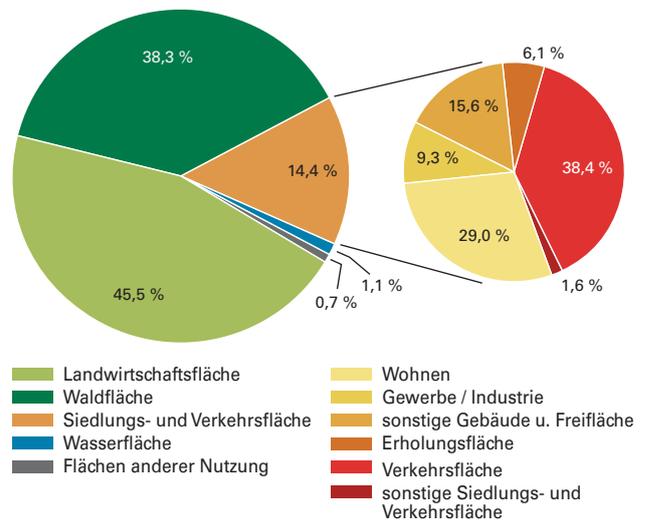


Abb. 1.2-4: Flächennutzung in Prozent der Bodenfläche sowie Anteile der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Baden-Württemberg zum 31.12.2014. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

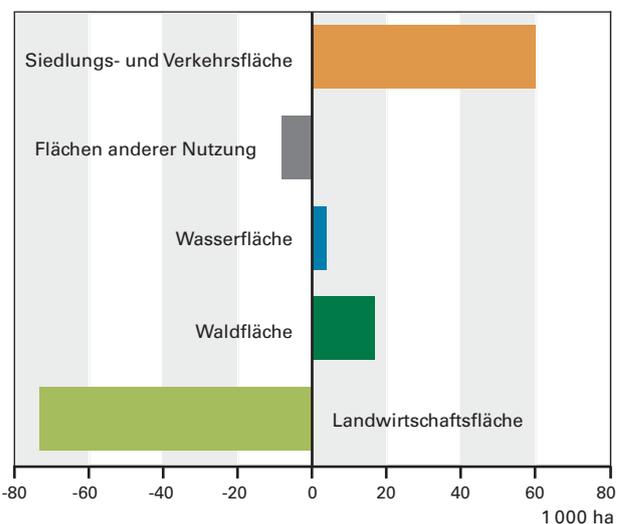
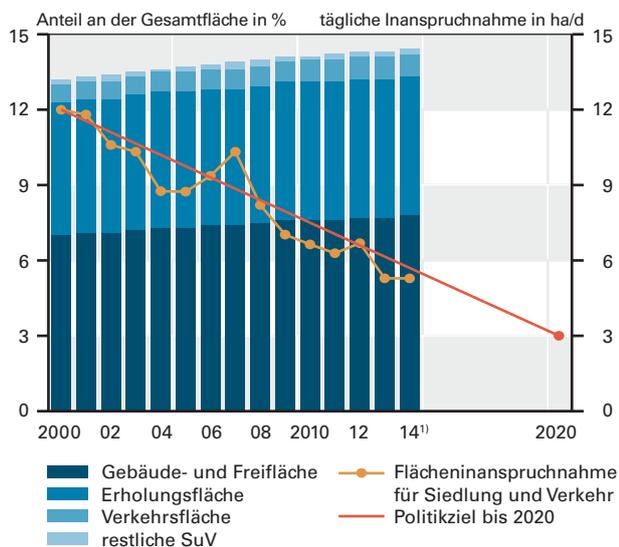


Abb. 1.2-5: Veränderung der Bodennutzungen in Baden-Württemberg in 1 000 Hektar im Zeitraum von 1993 bis 2014. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand 2015

Dieses Ziel haben die Chefinnen und Chefs der Staatskanzleien der Länder und der Chef des Bundeskanzleramts in einem Beschluss vom November 2013 bekräftigt. Umgerechnet auf den Anteil Baden-Württembergs an der Fläche des Bundesgebiets von 10 % leitet sich daraus im Land das Ziel von etwa 3 ha Flächeninanspruchnahme pro Tag im Jahr 2020 ab. In den Jahren 2013 und 2014 lag diese in Baden-Württemberg bei ca. 5,3 ha pro Tag (vgl. Abb. 1.1-16). Wegen der zeitaufwendigen Arbeiten zur Umstellung auf ALKIS stellt die angegebene tägliche Flächeninanspruchnahme für die zurückliegenden zwei Jahre einen Näherungswert dar, der wegen statistisch noch nicht erfasster abgeschlossener Flurbereinigungsmaßnahmen mit einem Zuschlag von bis zu ca. 0,5 ha pro Tag behaftet sein



1) 2013 und 2014: tägliche Zunahme berechnet als Mittelwert der Jahre 2013 und 2014  
SuV: Siedlungs- und Verkehrsfläche

Abb. 1.2-6: Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr sowie Anteil an der Gesamtfläche ab dem Jahr 2000 in Baden-Württemberg in Hektar pro Tag und Politikziel bis 2020. Quellen: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg [BUNDESREGIERUNG 2002].

kann. Auch eine genaue Aufteilung auf die Einzeljahre 2013 und 2014 ist nicht möglich.

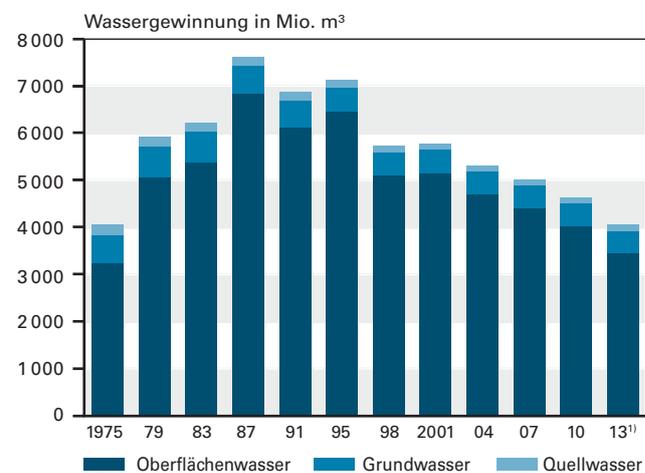
Insgesamt liegt die Flächeninanspruchnahme noch erheblich über dem Zielwert von 3 ha pro Tag, allerdings gegenüber der Situation um das Jahr 2000 mit 12 ha pro Tag in einem günstigeren Bereich und, bei Fortbestehen des Trends, in etwa auf dem Zielkorridor zu 3 ha/Tag im Jahr 2020 (Abb. 1.2-6). Das langfristige Ziel beim Flächenverbrauch in Baden-Württemberg bleibt jedoch weiterhin die Netto-Null [MVI 2014].

#### 1.2.4 Wassergewinnung und Wassernutzung

Im Jahr 2013 (vorläufige Daten) wurden in Baden-Württemberg 4,1 Mrd. m<sup>3</sup> Wasser aus Grund-, Quell- und Oberflächengewässern entnommen, wovon der mit 3,5 Mrd. m<sup>3</sup> (85 %) größte Teil aus Oberflächengewässern stammt. Aus dem Grundwasser wurden 0,47 Mrd. m<sup>3</sup> (11,5 %) gefördert, während nur ein geringer Teil von 0,14 Mrd. m<sup>3</sup> (3,5 %) aus Quellwasser stammt. Die Wassergewinnung ist seit Ende der 1980er-Jahre rückläufig und seitdem um etwa 45 % gesunken (Abb. 1.2-7). Vor allem die Wassergewinnung aus Oberflächengewässern wurde deutlich reduziert, der Anteil an Quellwasser und Grundwasser veränderte sich kaum. Die Wassergewinnung erfolgt im Wesentlichen durch die Energiewirtschaft, die öffentliche Trinkwasserversorgung und das verarbeitende Gewerbe. Den mit 3 Mrd. m<sup>3</sup> (73 %) im Jahr 2013 größten Anteil davon förderte die Ener-

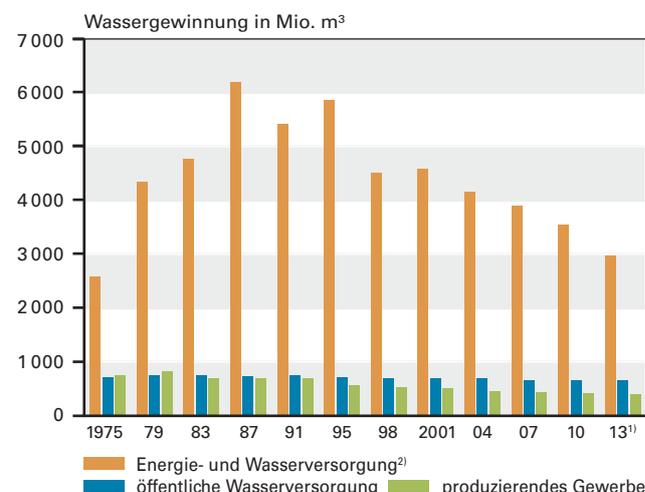
giewirtschaft. Die öffentliche Trinkwasserversorgung gewann 0,65 Mrd. m<sup>3</sup> (16 %) und das übrige produzierende Gewerbe 0,40 Mrd. m<sup>3</sup> (10 %, jeweils vorläufige Daten). Vor allem die geringere Inanspruchnahme der Wasservorkommen durch die Energiewirtschaft, bedingt durch den Einsatz wassersparender Technologien bei der Kühlung, bewirkte einen deutlichen Rückgang bei der Wassergewinnung (Abb. 1.2-8). Die Energiewirtschaft entnimmt fast ausschließlich Wasser aus Oberflächengewässern.

Rund 79 % des Wassers, das sind 3,2 Mrd. m<sup>3</sup>, werden für Kühlzwecke im Kraftwerksbetrieb der Energiewirtschaft verwendet (Abb. 1.2-9). Mit einem Anteil von gut 5 % wird von der Wirtschaft als Produktionswasser weniger Wasser



1) vorläufige Daten

Abb. 1.2-7: Wassergewinnung nach Art des gewonnenen Wassers in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.



1) vorläufige Daten

2) ohne Wassergewinnung für die öffentliche Trinkwasserversorgung; bis 2004 ausschließlich Wärmekraftwerke für die allgemeine Versorgung

Abb. 1.2-8: Wassergewinnung in Baden-Württemberg nach Sektoren. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

in Anspruch genommen als von der Gruppe der Haushalte und Kleingewerbe (11 %). Im Verbrauch der öffentlichen Einrichtungen (Krankenhäuser, Schulen usw.) ist auch der Eigenverbrauch der Wasserwerke enthalten, beispielsweise zur Rohrnetzspülung. Für die Beregnung oder Bewässerung wurden 2010 rund 0,4 % des gewonnenen Wassers verwendet. Bei der Verteilung des Wassers durch das Leitungsnetz kommt es zu Verlusten in Höhe von 1,9 % am gesamten Wasserverbrauch (jeweils vorläufige Daten).

Die öffentliche Wasserversorgung gewinnt Wasser zum Großteil für die Nutzung als Trinkwasser durch die Endverbraucher. Für Baden-Württemberg ergibt sich für das Jahr 2013 ein durchschnittlicher Verbrauch von 116 Litern je Einwohner und Tag (Abb. 1.2-10). Der Trinkwasserbe-

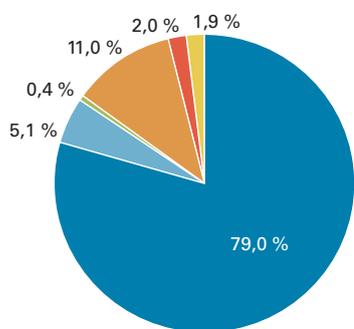
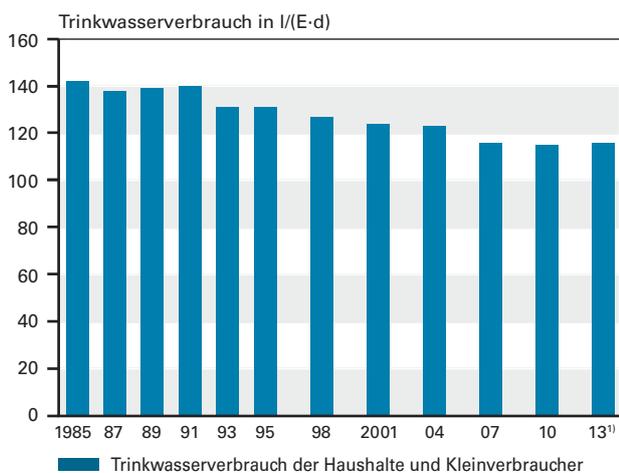


Abb. 1.2-9: Verwendungszwecke des gewonnenen Wassers in Baden-Württemberg 2013. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

Abb. 1.2-10: Trinkwasserverbrauch der Haushalte und Kleinverbraucher in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.



1) vorläufige Daten; Einwohnerzahl nach Zensus 2011

Abb. 1.2-10: Trinkwasserverbrauch der Haushalte und Kleinverbraucher in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

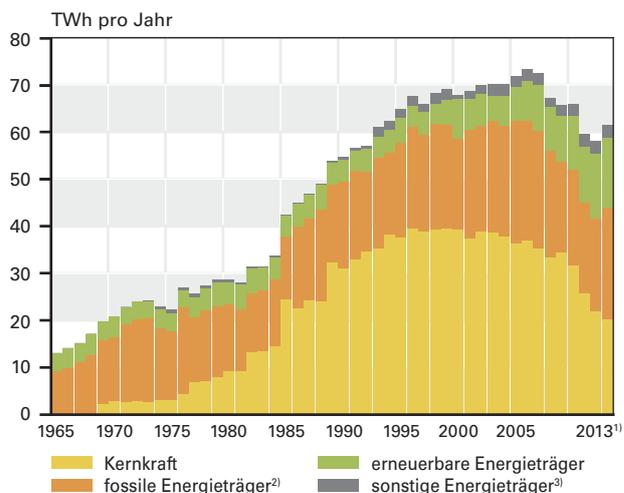
darf je Einwohner 2013 ist mit den Vorjahren nur eingeschränkt vergleichbar, da die zur Gewichtung des Trinkwasserverbrauchs der Haushalte und Kleinverbraucher herangezogene Einwohnerzahl zuletzt auf den Fortschreibungen des Zensus 2011 und zuvor auf den Fortschreibungen der Volkszählung 1987 basiert.

## 1.3 Energieerzeugung und -verbrauch

### 1.3.1 Stromerzeugung und -verbrauch

Zur Stromerzeugung in Baden-Württemberg werden fossile Energieträger, Kernenergie sowie erneuerbare Energien (EE) genutzt (Abb. 1.3-1). Die verschiedenen Energieträger unterscheiden sich deutlich in den jeweiligen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern und aus Kernenergie ist als weitgehend klimaneutral zu betrachten. Bei den fossilen Energieträgern hat das Erdgas deutliche Emissionsvorteile gegenüber dem Erdöl und der Kohle. Die Landesregierung von Baden-Württemberg verfolgt das Ziel, die Treibhausgasemissionen bis 2020 um 25 % und bis 2050 um 90 % (gegenüber 1990) zu verringern [UM 2014b].

Im Jahr 2013 wurden in Baden-Württemberg 61,6 Terawattstunden (TWh) Strom erzeugt. Nach Angaben des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg kamen für die Erzeugung 39,5 % fossile Energieträger (Steinkohle, Mineralöle, Erdgas), 32,7 % Kernenergie und 23,9 % erneuerbare Energieträger zum Einsatz. Der Anteil der Kernenergie liegt erst-



1) vorläufige Daten

2) Steinkohle, Mineralöle, Erdgas

3) Dieselkraftstoff, Flüssiggas, Raffineriegas, Petrokokk, Braunkohle, ab 1993 auch Pumpspeicherspeicher ohne natürlichen Zufluss

Abb. 1.3-1: Stromerzeugung in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

mals seit 1984 wieder unter demjenigen der fossilen Energieträger. Im Vorjahr 2012 lag die Kernenergie noch bei knapp 38 %, während die fossilen Energieträger einen Anteil von 34,3 % an der Stromerzeugung hatten. Der Anteil der erneuerbaren Energieträger erhöhte sich von 7,4 % im Jahr 2003 auf 23,9 % im Jahr 2013. Die erneuerbaren Energieträger stehen damit in der Zusammensetzung der Stromerzeugung hinter der Kernenergie an dritter Stelle.

Der als Bruttostromverbrauch erfasste Stromverbrauch berücksichtigt die im Land erzeugte Strommenge zuzüglich der Stromimporte und abzüglich der Stromexporte. Der Bruttostromverbrauch im Jahr 2013 betrug in Baden-Württemberg 77,9 TWh. Dies sind 2,8 % mehr als im Jahr 2012. In Baden-Württemberg selbst wurden davon 79,1 % erzeugt. Die übrigen 20,9 % wurden per Saldo von anderen Bundesländern und dem Ausland eingeführt.

### 1.3.2 Energieverbrauch

Bei der Definition des Energiebegriffs wird unterschieden zwischen:

- **Primärenergieträger:** Energieträger, die keiner Umwandlung unterworfen wurden. Dies sind zum Beispiel Kohle, Uran, Erdöl, Erdgas und erneuerbare Energieträger.
- **Endenergieträger:** Durch Umwandlung bzw. Aufbereitung aus den Primärenergieträgern gewonnene Energieträger, die dem Verbraucher zur Erzeugung von Nutzenergie dienen. Dies sind zum Beispiel Fernwärme, Strom, Mineralölprodukte.
- **Nutzenergie:** Energietechnisch letzte Stufe der Energieumwandlung, die dem Verbraucher für die Erfüllung einer Energiedienstleistung (z. B. Licht, Kraft, Wärme) zur Verfügung steht.

Bei der Umwandlung von Primärenergie in Endenergie kann aus physikalischen Gründen nur ein Teil der Primärenergie in Endenergie umgewandelt werden. Zum Beispiel können in einem Kohlekraftwerk nur etwa 30 % bis 40 % der in der Kohle vorhandenen Energie in Strom bzw. elektrische Energie umgewandelt werden. Der Rest ist Wärmeenergie und geht, sofern nicht anderweitig nutzbar, verloren. Auch bei der Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie entstehen Verluste, die je nach Verbraucher sehr unterschiedlich ausfallen können.

### Primärenergieverbrauch

Von 1983 bis 2006 erfolgte eine Zunahme des Primärenergieverbrauchs (PEV) um 46,3 % von 323,3 TWh auf 473,0 TWh. In den Folgejahren nahm der PEV wieder tendenziell ab und lag 2013 bei 398,5 TWh (Abb. 1.3-2).

Zwischen den Energieträgern gab es von 1973 bis 2010 große Verschiebungen. Insbesondere wurde, in erster Linie als Reaktion auf die Ölkrisen, der Anteil des Mineralöls am PEV von über 75 % im Jahr 1973 auf weniger als 35 % im Jahr 2013 zurückgefahren. Entsprechend wurde die Kernenergie ausgebaut. Ihr Anteil am PEV stieg von 2,6 % im Jahr 1973 auf 27,2 % im Jahr 1999. Ab 2000 ist eine deutliche Abnahme zu verzeichnen. Im Jahr 2013 betrug der Anteil der Kernenergie am PEV noch 15,3 %, was gegenüber 1999 einer Verringerung um 44 % entspricht. Weiterhin kam verstärkt Erdgas zum Einsatz, dessen Anteil sich von 6,9 % im Jahr 1973 auf 18,9 % im Jahr 2013 erhöhte. Durch die seit 2003 zunehmende Nutzung der erneuerbaren Energieträger Biomasse und Photovoltaik stieg der Anteil der EE am PEV von unter 2 % im Jahr 1973 auf 11,9 % im Jahr 2013. Der Anteil aller fossilen Energieträger am PEV sank im gleichen Zeitraum von 93 % auf 68 %.

### Endenergieverbrauch

Der Endenergieverbrauch (EEV) hat bis 2006, als ein Rekordwert von 317,7 TWh erreicht wurde, tendenziell zugenommen (Abb. 1.3-3). Gegenüber 1973 ist dies eine Zunahme von nahezu 28 %. Seit 2007 ist der EEV mit

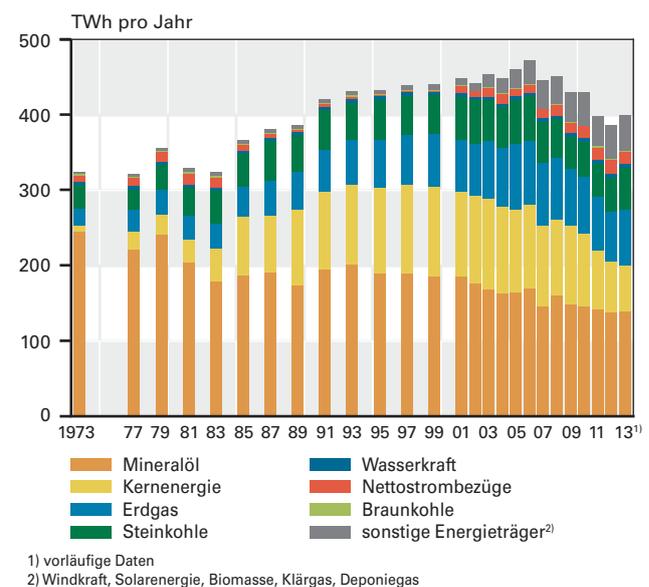


Abb. 1.3-2: Anteile der Energieträger am Primärenergieverbrauch in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

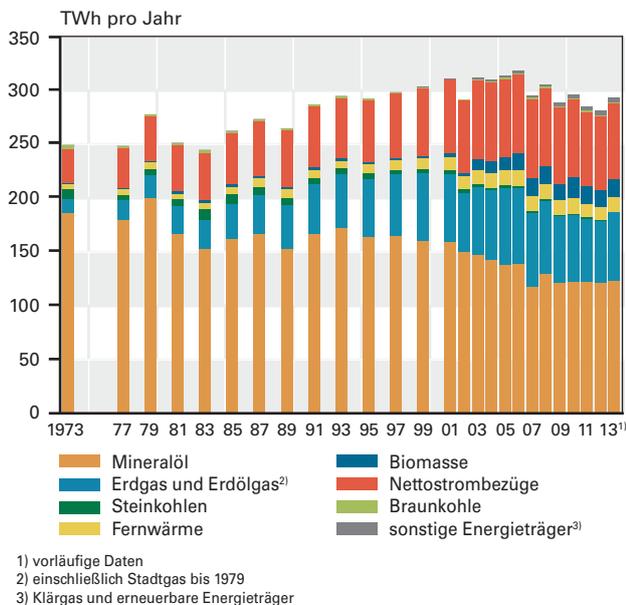


Abb. 1.3-3: Anteile der Energieträger am Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

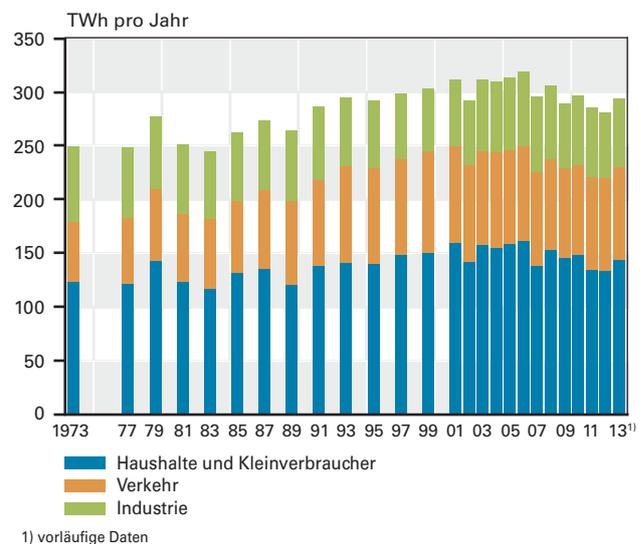


Abb. 1.3-4: Anteile der Verbrauchergruppen am Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

Schwankungen leicht rückläufig und lag im Jahr 2013 bei 293,3 TWh. Auffallend ist die Zunahme gegenüber dem Vorjahr um 4,3 %, was überwiegend mit der kühlen Witterung im ersten Halbjahr 2013 zusammenhängt. Die zeitliche Entwicklung des EEV folgt im Grundsatz dem des PEV. Auffällig ist aber, dass der EEV weniger abnimmt als der PEV, was auf eine steigende Effizienz bei der Umwandlung von Primärenergie in Endenergie hinweist. Markante Verschiebungen ergaben sich während der vergangenen 40 Jahre bei den prozentualen Anteilen der einzelnen Energieträger.

Das starke Abnehmen des Mineralölanteils von 74,5 % im Jahr 1973 auf 42 % im Jahr 2013 ist neben der Steigerung der Energieeffizienz zu einem großen Teil der Umstellung auf andere Heizungssysteme geschuldet. Mit Heizöl betriebene Heizungen wurden zunehmend durch Gasheizungen, Holzfeuerungen und Fernwärme ersetzt. Im Zuge dieser Entwicklung ist der Anteil von Erdgas von 5,4 % auf 21,5 %, der Anteil von Biomasse von 0,5 % auf 5,9 % und der Anteil von Fernwärme von 1,7 % auf 4,5 % gestiegen. Erhebliches Potenzial für die Fernwärme besteht noch durch einen verstärkten Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung. Nahezu verdoppelt hat sich der Stromanteil am Endenergieverbrauch, sein Anteil stieg von 12,8 % im Jahr 1973 auf 23,8 % im Jahr 2013. Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs in den letzten 40 Jahren ist von einer Zunahme des Verkehrs- und einer Abnahme des Industrieanteils gekennzeichnet (Abb. 1.3-4). Der Endenergieverbrauch des Verkehrssektors stieg in den

Jahren 1973 bis 1999 von 56 TWh (22,4 %) auf 95 TWh (31,4 %) und verharrt seitdem zwischen 84 und 93 TWh. Im Jahr 2013 lag er mit 86 TWh bei einem Anteil von 29,4 %. Hier dürften zwei gegenläufige Effekte zum Tragen kommen. Den Verbesserungen im Kraftstoffverbrauch wirkt ein wachsender Fahrzeugbestand entgegen. Der Endenergieverbrauch der Industrie ist in den Jahren 1973 bis 1999 von 70 TWh (28,2 %) auf 58 TWh (19,3 %) gefallen. Seit 2002 bewegt er sich in einer Bandbreite zwischen 60 TWh (20,6 %) und 71 TWh (23,9 %). Der Anteil der Haushalte und Kleinverbraucher am Endenergieverbrauch ist im Betrachtungszeitraum nahezu konstant geblieben und liegt knapp unter 50 %, was auf ein relevantes Einsparpotenzial schließen lässt.

### 1.3.3 Nutzung erneuerbarer Energien

Die Nutzung erneuerbarer Energien ist ein wichtiger Baustein, um die Klimaschutzziele in Baden-Württemberg zu erreichen. Die Landesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, den Endenergiebedarf in Baden-Württemberg im Jahr 2050 mit einem Anteil von 80 % aus erneuerbaren Energien zu decken [UM 2014b].

Im Jahr 2013 wurden in Baden-Württemberg 33,2 TWh Biomasse als Primärenergie genutzt. Dies sind etwa 70 % des PEV aus erneuerbaren Energien (Abb. 1.3-5). Damit trägt die Biomasse 8,3 % zum gesamten PEV bei. Den größten Anteil hat hierbei die Nutzung von Holz als Brennstoff in Feuerungen, gefolgt von der Nutzung von

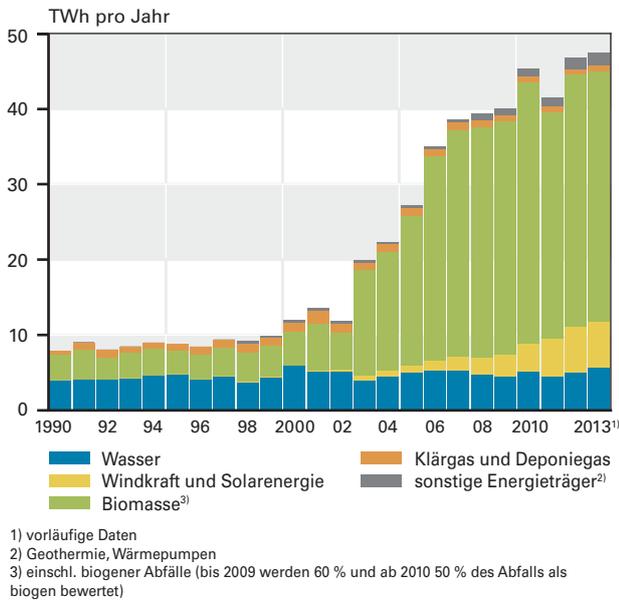


Abb. 1.3-5: Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

Biogas und Biodiesel. Die Wasserkraft mit 5,6 TWh und die Solarenergie (Solarthermie und Photovoltaik) mit 5,5 TWh hatten im Jahr 2013 jeweils einen Anteil von etwa 1,4 % am PEV. Der Anteil am PEV aller erneuerbarer Energieträger insgesamt liegt bei 11,9 %. Etwa ein Viertel der Solarenergiemenge wurde als Wärme in Solarthermieanlagen erzeugt.

Geothermie spielt in Baden-Württemberg bislang nur eine untergeordnete Rolle. Insgesamt ist die als Primärenergie genutzte erneuerbare Energiemenge in den Jahren 2004 bis 2013 von 22,3 TWh auf 47,5 TWh angestiegen, was mehr als einer Verdoppelung entspricht.

Im Jahr 2013 stammte die in Baden-Württemberg erzeugte Strommenge zu 9,1 % aus Wasserkraft, zu 6,8 % aus Biomasse und zu 6,5 % aus Photovoltaikanlagen. Gegenüber 2010 stieg die aus diesen Quellen gewonnene Strommenge um 30,4 % auf 13,9 TWh. Unter den erneuerbaren Energieträgern hat die Stromerzeugung aus Wasserkraft mit 38,2 % den größten Anteil, gefolgt von Biomasse mit 28,6 % und Photovoltaik mit 27,4 % (Abb. 1.3-6). Zuwächse zeigten sich gegenüber 2010 vor allem bei der Stromerzeugung aus Photovoltaik (+93 %). Wasserkraftwerke produzierten 9,4 % mehr Strom als 2010. Für große Wasserkraftwerke in Baden-Württemberg ist das Ausbaupotenzial nahezu erschöpft. Modernisierungsmöglichkeiten bestehen nur noch für mittlere und kleine Wasserkraftwerke, die jedoch in der Summe nur einen kleinen Beitrag zur Stromerzeugung liefern können.

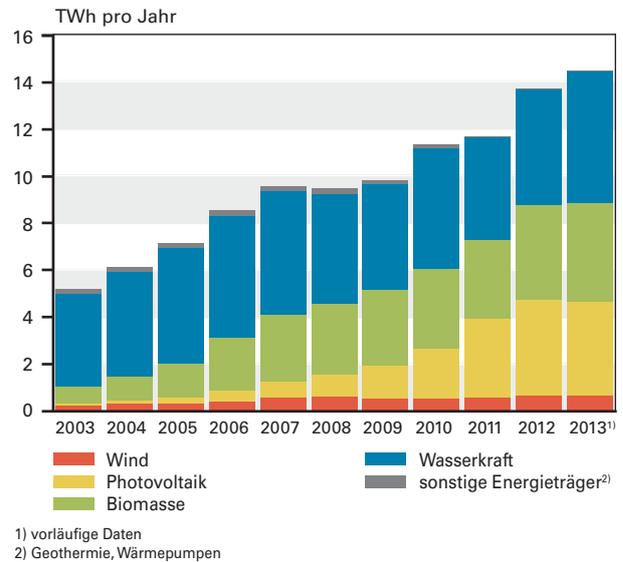


Abb. 1.3-6: Stromerzeugung in Baden-Württemberg aus erneuerbarer Energie. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

Vergleichsweise gering ist in Baden-Württemberg bislang der Beitrag der Windenergie. Zwar beträgt der Zuwachs an der Stromerzeugung gegenüber 2010 etwa 23 %, der Anteil an der Stromerzeugung in Baden-Württemberg liegt jedoch bei nur 1,1 %. Ende 2014 waren in Baden-Württemberg 393 Windenergieanlagen mit einer installierten Leistung von insgesamt 560 Megawatt (MW) in Betrieb (Abb. 1.3-7). Für den Bau 90 weiterer Anlagen mit einer installierten Leistung von insgesamt 245 MW lag Ende 2014 eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung vor. Aufgrund der hohen Zahl der im Jahr 2014 erteilten immissionsschutzrechtlichen Genehmigungen sowie der hohen Zahl an laufenden immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsver-

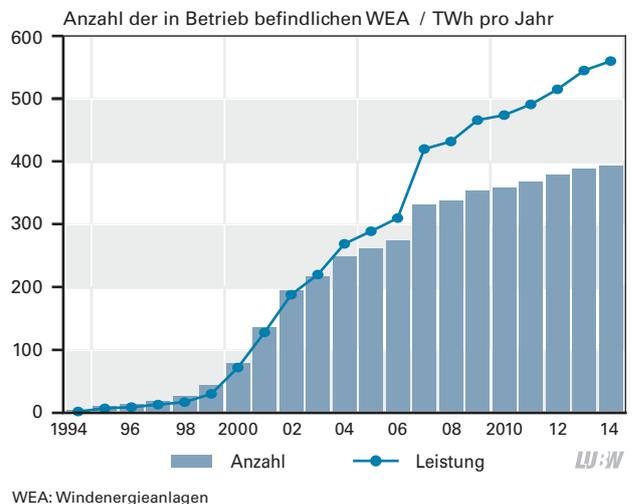


Abb. 1.3-7: Anzahl der Windenergieanlagen und installierte Leistung in Baden-Württemberg.

fahren (Ende 2014 ca. 240 Verfahren) ist zu erwarten, dass die Anzahl der in Betrieb gehenden Anlagen wie auch die installierte Leistung in den nächsten Jahren erheblich zunehmen wird. Die Landesregierung hat das Ziel, bis 2020 den Anteil der Windenergie an der Stromversorgung auf 10 % zu erhöhen [UM 2014b].

### 1.3.4 Potenzialatlas Erneuerbare Energien Baden-Württemberg

Die baden-württembergische Landesregierung fördert im Zuge der Energiewende zahlreiche Maßnahmen zum Ausbau erneuerbarer Energien. Vor dem Hintergrund dieses Ziels hat die LUBW im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft den Potenzialatlas Erneuerbare Energien Baden-Württemberg entwickelt ([www.potenzialatlas-bw.de](http://www.potenzialatlas-bw.de)). Es handelt sich dabei um ein Geoinformationssystem, bei dem räumliche Informationen (z. B. Standort einer Anlage) mit Sachinformationen (z. B. Anlagendaten einer Anlage) verknüpft werden. Die Web-Anwendung stellt eine landesweite, energithemenübergreifende Übersicht von Bestands- und Potenzialdaten bereit. Abbildung 1.3-8 zeigt beispielhaft die Darstellung der Eignung der Dachflächen für Photovoltaik im Potenzialatlas. Der Potenzialatlas Erneuerbare Energien wird derzeit erweitert zu einem „Energieatlas Baden-Württemberg“. Neben den bisher abrufbaren Daten zu Photovoltaik, Wasserkraft und Windenergie sind weitere Themen u. a. zu Energienetzen, Wärmebedarfen und Potenzialen in Arbeit.

## 1.4 Umweltschutz in Wirtschaft und Kommunen

### 1.4.1 Betriebliche Ausgaben für den Umweltschutz

Investitionen, die Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes für den Umweltschutz tätigen, lassen sich in drei Kategorien unterteilen:

- Additive Maßnahmen sind meist zusätzliche an den Produktionsprozess angefügte 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 vorsorgenden Umweltschutz. 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 sind Verfahrensumstellungen zur Herstellung eines umweltfreundlicheren, z. B. recycelbaren Produktes.

Die von der Statistik erfassten Umweltschutzinvestitionen umfassen additive und zumindest annähernd bezifferbare produktbezogene und seit 2003 auch integrierte Maßnahmen. Sie stellen somit die Untergrenze der insgesamt für den Umweltschutz getätigten Ausgaben dar (Abb. 1.4-1). Im Berichtsjahr 2013 lagen die Umweltschutzinvestitionen



Abb. 1.3-8: Darstellung der für Photovoltaik geeigneten Dachflächen im Potenzialatlas Erneuerbare Energien Baden-Württemberg.

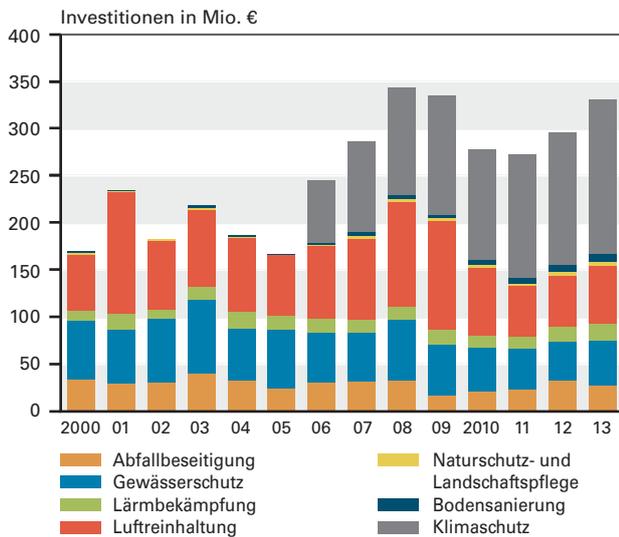


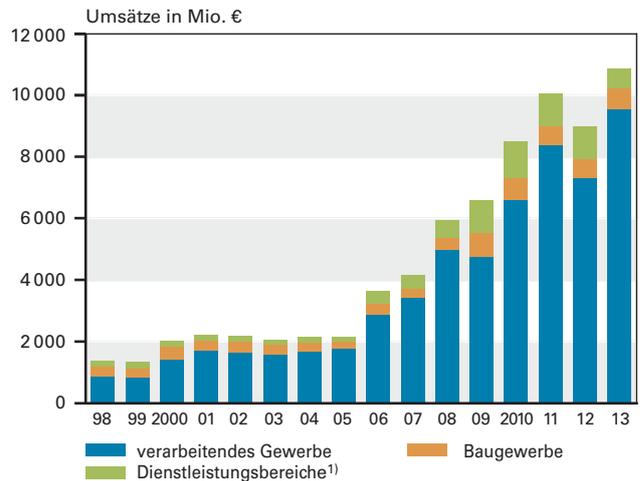
Abb. 1.4-1: Umweltschutzinvestitionen im verarbeitenden Gewerbe nach Bereichen. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

des verarbeitenden Gewerbes in Baden-Württemberg bei insgesamt 331,4 Mio. €. Dies entspricht rund 3 % der Gesamtinvestitionen dieses Wirtschaftsbereichs. Nahezu alle Bereiche des Umweltschutzes verzeichnen damit 2013 eine Steigerung der Investitionen gegenüber dem Vorjahr. Knapp die Hälfte der Umweltschutzinvestitionen entfällt auf den Klimaschutz.

#### 1.4.2 Wirtschaftsfaktor Umweltschutz

Die Umsätze, die Unternehmen in Baden-Württemberg mit Waren, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz erwirtschaften, beliefen sich im Jahr 2013 auf etwa 10,9 Mrd. € (Abb. 1.4-2). Nicht enthalten sind Entsorgungsdienstleistungen und die Produktion erneuerbarer Energie. Seit 2006 werden auch Umsätze aus dem Bereich des Klimaschutzes erfasst, wo im Jahr 2013 allein 50 % aller im Umweltschutz getätigten Umsätze erwirtschaftet wurden. Nach einem Rückgang im Jahr 2012 sind die im Umweltschutz erwirtschafteten Umsätze im verarbeitenden Gewerbe im Jahr 2013 wieder angestiegen. Sie machen mit 9,5 Mrd. € 88 % des Gesamtumsatzes im Umweltschutz aus.

Die Umsätze, die im Dienstleistungsbereich tätige Unternehmen im Umweltschutz erzielten, sind gegenüber dem Vorjahr um etwa ein Drittel gesunken. Sie liegen mit 642,7 Mio. € im Jahr 2013 unter den im Baugewerbe im Bereich Umweltschutz getätigten Umsätzen von 679,3 Mio. €.



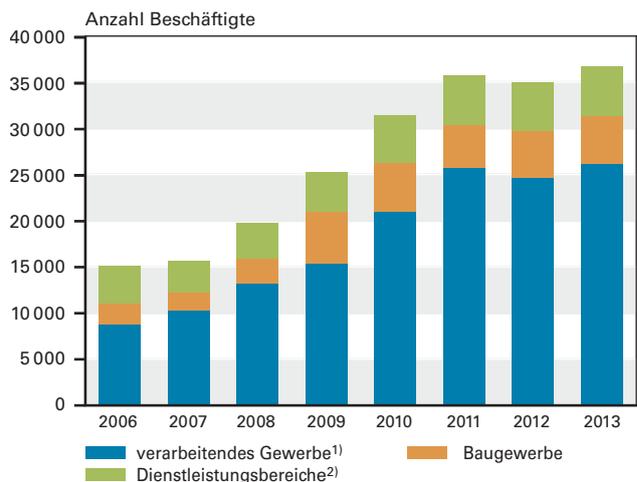
1) Architektur- und Ingenieurbüros sowie technische, physikalische und chemische Untersuchungen und sonstige Dienstleistungen für den Umweltschutz.

Ab 2006 einschließlich Klimaschutz, erneuerbare Energien, Energieeffizienz. 2009 Ausweitung des Befragungskreises im Baugewerbe. Ab 2011 modifiziertes Umweltgüterverzeichnis.

Abb. 1.4-2: Umsätze der Unternehmen mit Waren, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

#### 1.4.3 Beschäftigte in der Umweltbranche

Die Anzahl der Beschäftigten im Umweltschutzsektor hat sich trotz eines leichten Rückgangs im Jahr 2012 seit 2006 mehr als verdoppelt und liegt im Jahr 2013 bei rund 37 000 Beschäftigten. Über ein Drittel der Beschäftigten sind dem verarbeitenden Gewerbe zuzuordnen (Abb. 1.4-3). Im Dienstleistungsbereich und im Baugewerbe liegt die Zahl der Beschäftigten in der Produktion von Umweltschutzdienstleistungen seit drei Jahren relativ konstant bei jeweils rund 5 000 Beschäftigten.



1) Verarbeitendes Gewerbe einschließlich Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden.

2) Architektur- und Ingenieurbüros sowie technische, physikalische und chemische Untersuchungen und sonstige Dienstleistungen für den Umweltschutz.

2009 Ausweitung des Befragungskreises im Baugewerbe. Ab 2011 modifiziertes Umweltgüterverzeichnis.

Abb. 1.4-3: Beschäftigte im Bereich Waren-, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

#### 1.4.4 Betriebliches Umweltmanagement

Zur kontinuierlichen Verbesserung des Umweltschutzes in Unternehmen hat sich die Einführung von Umweltmanagementsystemen bewährt. Mit dem 1995 eingeführten EMAS-System (Eco Management and Audit Scheme) steht den Unternehmen seit 20 Jahren ein anerkannter Standard auf europäischer Ebene zur Verfügung.

Die Anzahl registrierter Betriebe und Organisationen ist von 406 im Jahr 2012 auf 411 im Jahr 2015 leicht angestiegen. Baden-Württemberg stellt damit rund 33 % aller Teilnehmer in Deutschland. Die teilnehmenden Betriebe und Organisationen sind vor allem kirchliche und schulische Einrichtungen. Eine deutliche Zunahme von Registrierungen ist in den Branchen Beherbergung und Gastronomie erkennbar. Nachdem bereits 2009 ein ansteigender Trend zu verzeichnen war, hat sich die Anzahl der Teilnehmer aus diesem Bereich in den vergangenen drei Jahren nahezu verdreifacht (Abb. 1.4-4). Das Förderprogramm „Umweltmanagement im Konvoi“ des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg hat diese Entwicklung positiv beeinflusst.

Die weltweit gültige Norm ISO 14001 gilt als weiterer zertifizierbarer Umweltmanagementstandard und ist privatrechtlicher Natur. Weltweit gibt es ca. 302 000 Zertifizierungen [ISO 2013]. Der ISO Survey der International Organization for Standardization geht für Deutschland von rund 8 000 Zertifizierungen aus. Seit 2010 ist damit deutschlandweit ein Anstieg der Zertifizierungen nach ISO 14001 um rund 33 % zu verzeichnen.

Für kleine und mittlere Unternehmen stellt der Einstieg in den betrieblichen Umweltschutz über sogenannte „niederschwellige Systeme“ ein geeignetes Instrument dar. Dazu

gehört beispielsweise das vom Land Baden-Württemberg geförderte Programm ECOfit, das seit 2005 vor allem diese Unternehmen mit den Grundlagen des betrieblichen Umweltschutzes vertraut macht und auf die anschließende Einführung eines Umweltmanagementsystems vorbereitet. Bis 2015 haben an ECOfit rund 300 Betriebe aus Baden-Württemberg teilgenommen. Besonders stark vertreten war das produzierende Gewerbe.

Die Einführung von Umweltmanagementsystemen wird durch das Förderprogramm „Umweltmanagement im Konvoi“ unterstützt. Ziel ist die Validierung nach EMAS, die Zertifizierung nach ISO 14001 oder einem kirchlichen Umweltmanagementsystem. Die Erweiterung des Förderrahmens um die Zertifizierung nach ISO 14001 erfolgte im Jahr 2014.

Der durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg ausgeschriebene Umweltpreis für Unternehmen bietet zusätzlich Anreize zur kontinuierlichen Weiterentwicklung im betrieblichen Umweltschutz.

Eine ebenso große Bedeutung hat außerdem das betriebliche Energiemanagement, dessen Fokus auf der stetigen Verbesserung der betrieblichen Energieeffizienz liegt. Energiemanagementsysteme können eigenständig oder in Verbindung mit anderen Managementsystemen angewendet werden. Zu nennen ist hier die internationale Norm ISO 50001, deren Struktur sich unter anderem an der Umweltmanagementnorm ISO 14001 orientiert und auch mit der EMAS-Verordnung kompatibel ist. Die Anzahl der Zertifizierungen hat deutschlandweit zugenommen. Waren Ende 2013 noch 2 671 Standorte zertifiziert, so stieg diese Zahl bereits bis Mitte 2014 auf 3 441 an [NAGUS 2014]. In Baden-Württemberg ist das Energiemanagement sowohl auf betrieblicher Ebene als auch in der Landesverwaltung verankert. Rund 230 Unternehmen mit Hauptsitz in Baden-Württemberg verfügen über ca. 300 nach ISO 50001 zertifizierte Standorte [UBA 2014]. Darin nicht enthalten sind die baden-württembergischen Firmenstandorte oder Betriebsstätten von Unternehmen, deren Hauptsitz bzw. Firmenzentrale außerhalb des Bundeslandes liegen. Somit ist die Anzahl zertifizierter ISO 50001-Standorte in Baden-Württemberg insgesamt höher anzusetzen. Seit Ende des Jahres 2013 verfügen zudem alle elf Landesministerien über eine Zertifizierung nach der Energiemanagementnorm ISO 50001.



Abbildung 1.4-4: Branchenbezogene EMAS-Beteiligung in Baden-Württemberg. Quelle: Deutsche Industrie- und Handelskammer.

#### 1.4.5 Nachhaltige Kommunalentwicklung

Kommunen engagieren sich in Baden-Württemberg sehr aktiv für eine nachhaltige Entwicklung. Ausgehend vom Aktionsprogramm „Agenda 21“, das auf der Konferenz für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen 1992 in Rio de Janeiro beschlossen wurde, entstanden zahlreiche Aktivitäten in den Kommunen. Diese werden im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie des Landes Baden-Württemberg als „Kommunale Initiative Nachhaltigkeit“ vom Nachhaltigkeitsbüro der LUBW unterstützt. Zielsetzung ist, diese Ansätze als umfassende Prozesse für eine nachhaltige Kommunalentwicklung weiterzuführen.

Der aktuelle Stand dieser Aktivitäten wurde von November 2014 bis Februar 2015 in den Stadtkreisen und großen Kreisstädten, also den 102 größten Kommunen in Baden-Württemberg, abgefragt. Die Umfrage ergab, dass hinsichtlich der nachhaltigen Kommunalentwicklung über 90 % der beteiligten Kommunen Leitbilder und/oder umfassende Stadtentwicklungskonzepte besitzen. In knapp 50 % der antwortenden Kommunen kommen Indikatoren zum Einsatz, 75 % der Kommunen verfügen über Klimaschutzkonzepte. Als weitere Schwerpunktbereiche einer nachhaltigen Kommunalentwicklung werden von fast 50 % der Kommunen die Themenfelder Flächenmanagement und Fairer Handel / Eine Welt genannt. Als herausragende Nachhaltigkeitsaktivitäten, so genannte „Leuchtturmprojekte“, nennen etwa 30 % der Kommunen Projekte im Bereich Klimaschutz und Energie. Die häufigsten Verfahren für eine vielfältige Bürgerbeteiligung bilden Werkstattveranstaltungen, bei denen Bürger an der Zukunftsgestaltung der Kommune beteiligt werden. Zivilgesellschaftliche Kooperationspartner für eine nachhaltige Kommunalentwicklung kommen vor allem aus den Bereichen Umwelt- und Naturschutz, Fairer Handel / Eine-Welt sowie Lokale Agenda 21.

Nachhaltigkeit in der kommunalen Verwaltung betrifft häufig die nachhaltige Beschaffung nach ökologischen und / oder sozialen Kriterien. In über 80 % der an der Umfrage beteiligten Kommunen gibt es hierfür Beschlüsse, Dienstanweisungen oder Maßnahmen. Knapp 20 % der Kommunen nennen Aktivitäten für Nachhaltigkeitsprüfungen bei kommunalen Vorhaben, die fast alle Bauvorhaben bzw. -planungen betreffen. In über 80 % der Kommunen besteht ein Umwelt- und Energiemanagement in der Verwaltung, das sich überwiegend auf ein kommunales Energiemanagement konzentriert. In jeder dritten Kom-

mune ist Nachhaltigkeit durch entsprechende Maßnahmen als Querschnittsaufgabe in der Verwaltung verankert.

Die meisten dieser Aktivitäten aus den einzelnen Kommunen sind inzwischen im „Nachhaltigkeitsatlas“ auf der Homepage der LUBW abrufbar.

Wie die Umfrage dokumentiert, ist der Klimaschutz ein zentrales Thema der nachhaltigen Kommunalentwicklung. Die dafür häufig genannten Klimaschutzkonzepte können dabei nach dem vom Land geförderten „European Energy Award – eea“ zertifiziert werden. Diesen haben bisher 46 Kommunen – das sind 4 % aller Kommunen in Baden-Württemberg – erworben. Hinzu kommen acht Landkreise, das sind 23 % aller Landkreise.

Bürgerschaftlicher und kooperativer Klimaschutz vor Ort zeigt sich u. a. in vielen Bürger- und Gemeinschaftssolaranlagen. Dabei betreiben Bürgerinnen und Bürger durch finanzielle Anteile gemeinsam eine Solaranlage, die häufig auf den Dächern kommunaler Liegenschaften angebracht wird. Seit 2009 geschieht dies zunehmend in Form von Energiegenossenschaften, die einen starken Boom verzeichnen und bis zum Jahr 2014 auf insgesamt 155 eingetragene Genossenschaften angewachsen sind (Abb. 1.4-5). Neben Projekten im Bereich Photovoltaik erschließen sich die Genossenschaften zunehmend weitere Themenfelder, um die Energiewende in Baden-Württemberg aktiv voranzutreiben, zum Beispiel im Bereich der Nahwärme und der Energieeffizienz.

Als weiterer Beleg für kommunale Nachhaltigkeitsaktivitäten kann die Zahl der zertifizierten „Fairtrade-Towns“ dienen, die dieses Siegel für Aktivitäten zur Förderung des fairen Handels erhalten. Bis März 2015 konnten dies in Baden-Württemberg 93 Kommunen, das sind 8 % aller Kommunen, vorweisen.

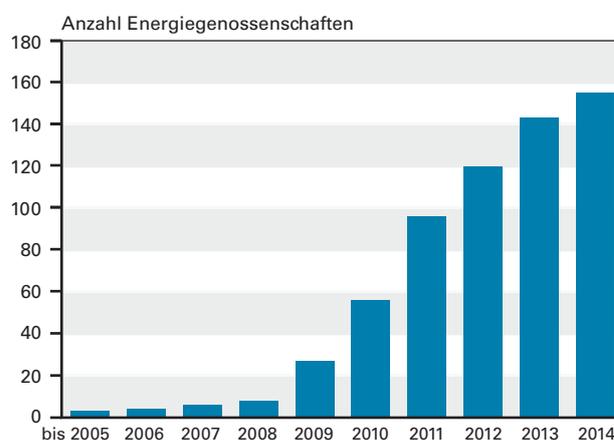


Abb. 1.4-5: Anzahl der Energiegenossenschaften in Baden-Württemberg. Quelle: Baden-Württembergischer Genossenschaftsverband e.V.



## 2 Klima

### Das Wichtigste in Kürze

Die **Treibhausgasemissionen** in Baden-Württemberg zeigen im Zeitraum von 1990 bis 2006 – bei jährlichen, vorrangig witterungsbedingten Schwankungen – einen leicht abnehmenden Trend mit einem Maximum im Jahr 1996. Ab 2006 nahmen die Treibhausgasemissionen deutlich ab und erreichten ihr bisheriges Minimum im Jahr 2009. Seit dem Jahr 2010 stagnieren die vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg erhobenen Treibhausgasemissionen; 2013 ist sogar wieder ein leichter Anstieg zu verzeichnen.

Der Trend zu einer **Erwärmung des Klimas** hat sich in Baden-Württemberg fortgesetzt. Im Jahre 2014 wurde ein neuer Temperaturrekord erreicht. Es war weltweit und in Deutschland das wärmste Jahr seit Beginn flächendeckender Temperaturlaufzeichnungen im Jahr 1881. Seit Beginn des letzten Jahrhunderts hat die Jahresmitteltemperatur um ca. 1,1 °C zugenommen. Der Temperaturanstieg fiel im Winterhalbjahr stärker aus als im Sommerhalbjahr.

Durch den Klimawandel werden Wärme liebende nicht heimische Tier- und Pflanzenarten begünstigt. Dazu zählen auch Arten, die Krankheiten übertragen oder Allergien auslösen können.

Die **Jahresniederschlagsmengen** sind regional unterschiedlich angestiegen. Die Veränderungen im Sommer sind gering. Im Winterhalbjahr von November bis April haben die Gebietsniederschläge in den letzten 80 Jahren signifikant zugenommen. Durch den Klimawandel wird in Zukunft eine Verschärfung der Hoch- und Niedrigwassersituationen erwartet.

Der Klimawandel und seine Folgen sind nicht nur auf globaler, sondern auch auf regionaler und lokaler Ebene eine gesellschaftliche Herausforderung. Auch Baden-Württemberg ist vom Klimawandel betroffen. Auswertungen langjähriger meteorologischer und hydrologischer Beobachtungen sowie aktuelle Untersuchungen der Veränderungen der Pflanzen- und Tierwelt Baden-Württembergs belegen dies. Ein weiterer Temperaturanstieg bis zum Ende des Jahrhunderts ist zu erwarten. Nur eine ambitionierte Klimapolitik kann den Klimawandel und die ihn begleitenden gesundheitlichen, ökologischen und ökonomischen Beeinträchtigungen begrenzen. Vor diesem Hintergrund wurde eine Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg entwickelt.

Die Verminderung oder Vermeidung von Treibhausgasemissionen, das Monitoring von Klimaveränderungen und deren Folgen sowie die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel werden wichtige gesellschaftliche Aufgaben für die nächsten Dekaden sein. Deshalb sind verlässliche Daten und Informationen zu den Treibhausgasemissionen, den Klimaveränderungen und den Entwicklungen in Natur und Umwelt notwendig.

## 2.1 Emission von Treibhausgasen

### 2.1.1 Treibhausgase und ihre Relevanz

Das 2005 in Kraft getretene Kyoto-Protokoll hatte das Ziel, in der Periode 2008 bis 2012 die Treibhausgasemissionen durch die Industrieländer um 5,2 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Im Protokoll werden sechs verschiedene Treibhausgase bzw. Treibhausgasgruppen betrachtet:

- Kohlendioxid, zum größten Teil aus der Verbrennung der fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas,
- Methan, z. B. aus der Viehzucht und Deponien,
- Lachgas (Distickstoffmonoxid), z. B. aus der Stickstoffdüngung,
- perfluorierte Kohlenwasserstoffe, z. B. aus der Aluminiumproduktion,
- teilfluorierte Kohlenwasserstoffe, z. B. aus Kühlmitteln und der chemischen Industrie,
- Schwefelhexafluorid, z. B. aus der Elektroindustrie und der chemischen Industrie.

Über die Kyoto-Ziele hinausgehend hatte sich die EU verpflichtet, die Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um 8 % im Durchschnitt der Jahre 2008 bis 2012 zu senken. Deutschland strebte für denselben Zeitraum eine Minderung der Emissionen um 21 % an. Das Kyoto-Protokoll lief 2012 aus, ein Folgeabkommen existiert bis heute nicht. Baden-Württemberg hat sich 2013 im „Gesetz zur Förde-

„Klimaschutz in Baden-Württemberg“ das Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen in Baden-Württemberg bis 2020 um 25 % und bis 2050 um rund 90 % gegenüber dem Niveau von 1990 zu reduzieren. Darüber hinaus wurde ein begleitendes „Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg“ (IEKK) entwickelt, welches konkrete Strategien und sektorspezifische Maßnahmen zur Erreichung der Energie- und Klimaschutzziele enthält.

Um die Treibhauswirksamkeit der verschiedenen Gase bzw. Gasgruppen bewerten und die Relevanz der Komponenten vergleichen zu können, wird die Treibhauswirkung der Gase mit derjenigen von Kohlendioxid verglichen und als sogenanntes „Kohlendioxidäquivalent“ ausgewiesen (Tab. 2.1-1).

Tab. 2.1-1: Kohlendioxidäquivalente der im Kyoto-Protokoll regulierten Treibhausgase (bezogen auf 100 Jahre Zeithorizont). Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

Treibhausgas	Kohlendioxid-äquivalente
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	1
Methan (CH <sub>4</sub> )	21
Lachgas (N <sub>2</sub> O)	310
perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC), z. B. Tetrafluormethan CF <sub>4</sub>	6 630
teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFC), z. B. Trifluormethan CHF <sub>3</sub>	12 400
Schwefelhexafluorid (SF <sub>6</sub> )	23 500

Die Kohlendioxidemissionen haben trotz der relativ geringen Treibhauswirksamkeit von Kohlendioxid allein aufgrund der ausgestoßenen Menge den größten Anteil an den klimarelevanten Emissionen in Baden-Württemberg (Abb. 2.1-1). Bei der Freisetzung von Kohlendioxid unterscheidet man zwischen energiebedingten Emissionen, die durch die Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Brennstoffen zum Zweck der Energiegewinnung (Strom, Wärme, Antrieb) entstehen, und prozessbezogenen Emissionen, die durch Umwandlungsvorgänge in der Industrie anfallen. Während Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz oder die Umstellung auf kohlenstoffärmere Brennstoffe die energiebedingten Kohlendioxidemissionen vermindern können, lassen sich die prozessbezogenen Emissionen schwerer verringern, da diese unmittelbar mit dem Produkt verknüpft sind. So wird bei der Zementherstellung oder beim Kalkbrennen zwangsläufig das im Kalkstein gebun-

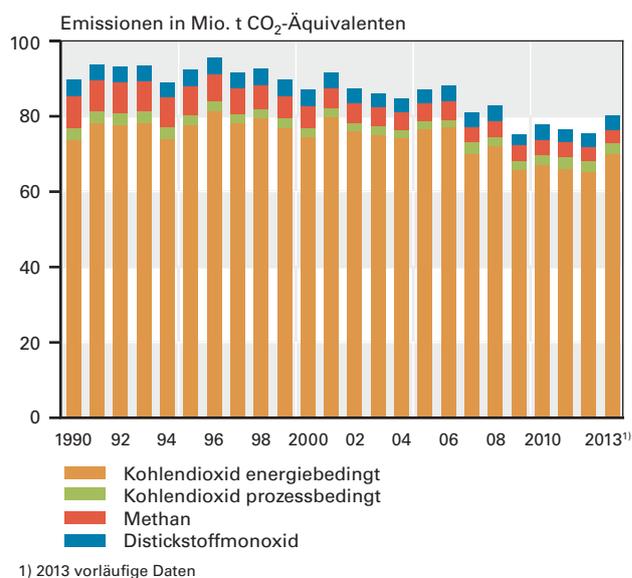


Abb. 2.1-1: Klimarelevante Emissionen in Kohlendioxidäquivalenten in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

dene Kohlendioxid freigesetzt, so dass vorrangig durch Verringerung der Produktionsmenge Einsparungen beim Kohlendioxid ausstoß realisiert werden können.

Im Zeitraum von 1990 bis 2006 sind die energiebedingten Kohlendioxidemissionen in Baden-Württemberg bei jährlichen, vorrangig witterungsbedingten Schwankungen um ca. 5,1 % angestiegen und von 2006 bis 2013 dann um 9,7 % zurückgegangen. Im Jahr 2013 lagen sie mit 69,9 Millionen Tonnen (Mio. t) deutlich unter dem Maximalwert von 1996 von 81,2 Mio. t. 1996 war ein sehr kaltes Jahr, wodurch insbesondere die Kohlendioxidemissionen aus der Wärmeerzeugung bei den Haushalten und Kleinverbrauchern, aber auch aus dem Industriesektor deutlich anstiegen. Die Kohlendioxidemissionen durch industrielle Prozesse gingen zwischen 1990 und 2013 um 5,5 % zurück, zeigen seit 2004 aber wieder einen leichten, wahrscheinlich konjunkturell bedingten Anstieg. Industrielle Prozesse trugen 2013 mit 3,6 % nur in geringem Maß zur Gesamtemission klimarelevanter Gase bei und werden deshalb in der folgenden Betrachtung nicht weiter separat berücksichtigt.

### 2.1.2 Erhebung von Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen der Bundesländer werden nach einer im „Länderarbeitskreis Energiebilanzen“ abgestimmten verbindlichen Methodik jährlich ermittelt und von den Statistischen Landesämtern veröffentlicht. Hierfür werden auf Grundlage von Energiebilanzen und anderen

Daten bundesweite Energiedaten erhoben und auf Landes- und Kreisebene heruntergebrochen. Unberücksichtigt bleiben dabei die mit Importstrom zusammenhängenden Kohlendioxidemissionen. Dagegen werden die Emissionen, die auf die Erzeugung von Exportstrom zurückzuführen sind, in vollem Umfang einbezogen. Berücksichtigt werden bei den energiebedingten Treibhausgasen die Emissionen der fossilen Energieträger Kohle, Gas und Mineralöl sowie deren kohlenstoffhaltige Produkte. Einbezogen in die Berechnungen sind auch die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie mit Methan und Lachgas auch Treibhausgase aus der Landwirtschaft. Generell nicht einbezogen sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung biogener Materialien, die nicht treibhausgaswirksam sind.

Neben diesen aus dem Primärenergieverbrauch und anderen Größen abgeleiteten Daten werden in Baden-Württemberg im Luftschadstoff-Emissionskataster der LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg mit den kleinräumig erhobenen Emissionsdaten zu Luftschadstoffen auch Treibhausgase erfasst. In diesem Emissionskataster ist neben dem energiebedingten Anteil auch der prozessbedingte Anteil von Treibhausgasen aufgeführt. Auch die Emissionen aus der Verbrennung nicht fossiler Energieträger wie Holz, Biomasse oder Abfällen werden in den Katastern der LUBW berechnet. Die Emissionsdaten der LUBW basieren auf kleinräumigen Erhebungen auf Ebene der Gemeinden und Kreise und setzen sich zusammen aus Daten zum Verkehrsaufkommen, aus Emissionsdaten von genehmigungspflichtigen Anlagen nach der Verordnung über Emissionserklärungen (11. BImSchV) oder dem europäischen Schadstoffregister PRTR (Pollutant Release and Transfer Register), aus Angaben von Schornsteinfegern zu kleinen und mittleren Feuerungsanlagen sowie zusätzlichen Angaben aus Gemeindebefragungen. Detaillierte Informationen zur Erhebungsmethode finden sich in den Emissionskatasterberichten zu den einzelnen Quellengruppen des jeweiligen Bezugsjahres.

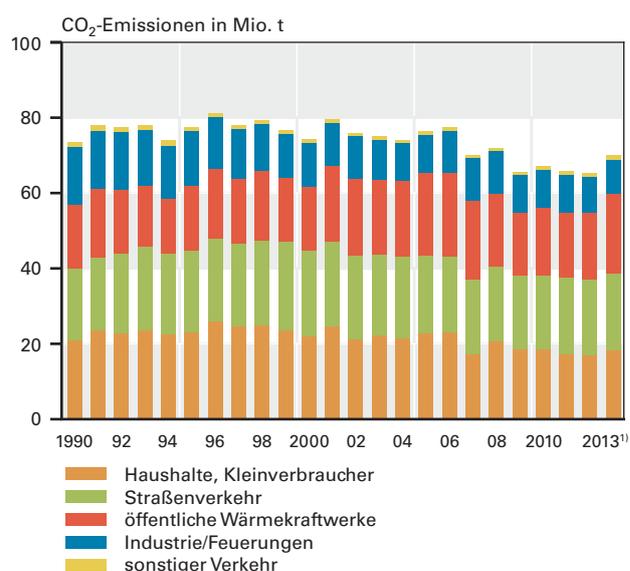
Die ermittelten Katasterdaten der LUBW („bottom-up-Kataster“, kleinräumige Regionalisierung) weichen aufgrund der unterschiedlichen Erhebungsmethoden von den Daten des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg („top-down-Kataster“, großräumige Regionalisierung) ab.

Mittels kleinräumig erhobener Emissionsdaten können auch die Verursacher von Treibhausgasemissionen auf lokaler oder regionaler Ebene festgestellt und darauf aufbauend gezielt Minderungspotenziale von Treibhausgasen berechnet werden. Diese Inventare sind somit Voraussetzung für die Entwicklung sachgerechter Maßnahmenpläne zur Reduktion regional bzw. weiträumig auftretender Treibhausgasbelastungen.

Im Folgenden werden die Daten des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg wegen der bundesweiten Vergleichbarkeit und deren Nutzung für Aussagen u. a. im integrierten Energie- und Klimaschutzkonzept (IEKK) bzw. im 1. Monitoring-Kurzbericht 2014 herangezogen [UM 2014].

### 2.1.3 Kohlendioxidemissionen nach Emittentengruppen

Die Aufgliederung der energiebedingten Kohlendioxidemissionen in die Emittentengruppen Industrie/Feuerungen, öffentliche Wärmekraftwerke, Haushalte/Kleinverbraucher, Straßenverkehr und sonstiger Verkehr zeigt, dass der Verkehr eine ähnliche Bedeutung für die Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre hat wie die anderen Emittentengruppen (Abb. 2.1-2). Zwischen 1990 und 2013 stiegen die Kohlendioxidemissionen des Straßenverkehrs um 6,5 % an, demgegenüber reduzierten sich die Kohlendioxidemissionen der Haushalte und Kleinverbraucher um 11,8 %, die von Industrie und Feuerungen gar um gut 39,6 %.



1) 2013 vorläufige Daten

Abb. 2.1-2: Anteile der Emittentengruppen an den energiebedingten Kohlendioxidemissionen in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

#### 2.1.4 Sonstige Treibhausgasemissionen

Der Anteil der Kohlendioxidemissionen an den gesamten anthropogenen Treibhausgasemissionen betrug in Baden-Württemberg, bezogen auf die Treibhauswirksamkeit, im Jahr 2013 rund 91 %. Davon wurden 96 % durch die Erzeugung von Energie verursacht. Hierzu zählen neben den Emissionen durch die Erzeugung von Wärme und Strom auch die vom Verkehr verursachten Emissionen. Bei den Emissionen der anderen Treibhausgase machten die Methanemissionen im Jahr 2013, bezogen auf ihre Treibhauswirksamkeit, etwa 4,5 % der gesamten Treibhausgasemissionen aus (Abb. 2.1-1). Sie sind zwischen 1990 und 2013 um 58 % zurückgegangen (Abb. 2.1-3).

Hauptverursacher für die Methanemissionen waren im Jahr 2013 die Landwirtschaft mit 57,2 % sowie die Abfallwirtschaft (Hausmülldeponien, Kompostierungsanlagen und Sickergruben) mit 25,7 %. Mehr als 16,4 % des Methanausstoßes sind energieverbrauchsbedingten Emissionen zuzurechnen, insbesondere durch Gasverluste und Feuerungen. Gründe für die rückläufige Entwicklung der Methanemissionen 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 von Lachgas an den Treibhausgasemissionen summierte sich in Baden-Württemberg, berechnet als Kohlendioxidäquivalente, im Jahr 2013 auf etwa 4,6 % (vgl.

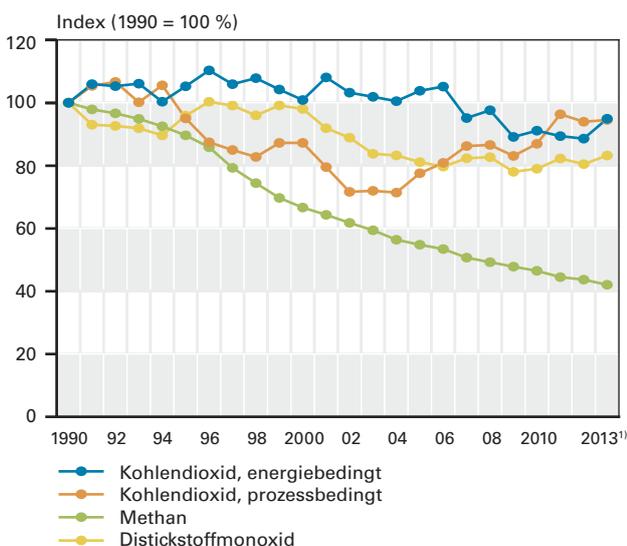
Abb. 2.1-1). Die absolut emittierte Menge ist im Zeitraum von 1990 bis 2013 um 16,8 % zurückgegangen. Die Hauptquelle für Lachgas sind mikrobielle Umsetzungen von Stickstoffverbindungen in Böden, die hauptsächlich auf dem Eintrag von reaktivem Stickstoff, z. B. in Form von Mineral- und Wirtschaftsdünger in der Landwirtschaft, aber auch in Form von Stickstoffdioxid durch Industrie und Verkehr beruhen.

Die weiteren Treibhausgase perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC), teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFC) und Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>), die vor allem aus industriellen Prozessen und Anwendungen stammen, hatten im Jahr 2012 in der Summe, bezogen auf ihr Treibhausgaspotenzial, nur einen Anteil von etwa 2,4 % an den Treibhausgasemissionen von Baden-Württemberg.

#### 2.1.5 Reduktion von Treibhausgasemissionen

Mit dem Ziel, die Treibhausgasemissionen effektiv zu reduzieren, wurde zum 01.01.2005 durch eine EU-Richtlinie der im Kyoto-Protokoll vorgesehene Emissionshandel im industriellen Bereich eingeführt (2003/87/EG). Die Richtlinie wurde mit dem Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TEHG) in deutsches Recht umgesetzt. In Baden-Württemberg nehmen seit dem Beginn der dritten Handelsperiode (2013 bis 2020) 158 Anlagen am Emissionshandel teil. Im Vergleich zur vorigen Handelsperiode wurde die Pflicht zur Teilnahme am Emissionshandel nun auf weitere Anlagen ausgedehnt, z. B. auf Anlagen zur Herstellung von Primäraluminium. Vom Emissionshandel betroffen sind überwiegend Feuerungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von mehr als 20 Megawatt, das sind in der Regel Kraftwerke zur Stromerzeugung.

In der ersten und zweiten Handelsperiode (2005 bis 2012) wurden die Emissionsberechtigungen (Befugnis zur Emission von einer Tonne Kohlendioxid bzw. Kohlendioxidäquivalenten) den Emittenten mehrheitlich kostenlos zugewiesen. Seit 2013 werden für alle stromproduzierenden Anlagen keine kostenlosen Emissionsberechtigungen mehr ausgeteilt. Für energieintensive Industrieanlagen wurden 2013 noch 80 % der jährlich benötigten Emissionsberechtigungen kostenlos zugewiesen: Diese werden bis 2020 sukzessive auf 30 % der Handelsmenge reduziert. Fehlende Emissionsberechtigungen werden in einem Bieterverfahren versteigert und müssen von den Anlagenbetreibern ersteigert werden. Eine überwiegend kostenlose Zutei-



1) 2013 vorläufige Daten

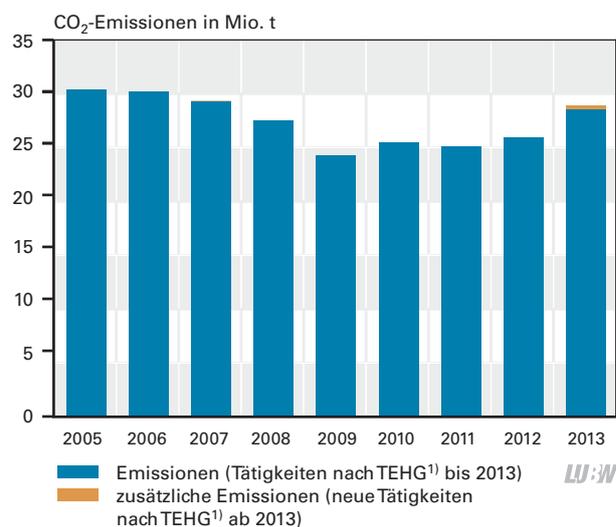
Abb. 2.1-3: Entwicklung der energie- und prozessbedingten Kohlendioxidemissionen und der Lachgas- und Methan-Emissionen in Baden-Württemberg (1990 = 100 %). Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

lung erfolgt ausschließlich in Industriezweigen, die in weltweiter Konkurrenz zu Industrien in Ländern stehen, die dem Emissionshandel nicht unterliegen (u. a. Zementindustrie). Derzeit werden auf Ebene der EU Vorbereitungen zum Start der vierten Handelsperiode im Jahr 2021 getroffen. Voraussichtlich soll ab 2019 im Vorgriff eine sogenannte Marktstabilitätsreserve eingeführt werden, über die das verfügbare Handelsbudget zusätzlich geregelt werden soll.

Mit Beginn der neuen Handelsperiode wird die jährliche Quote zur Reduzierung verfügbarer Emissionsberechtigungen von 1,74 % auf 2,2 % erhöht. Parallel zum Emissionshandel sollen durch zielgenaue und kosteneffiziente Maßnahmen der Energieverbrauch und damit auch die Kohlendioxidemissionen deutlich gesenkt werden. Die Schwerpunkte 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 sollen die Energieforschung und die Weiterentwicklung des internationalen Klimaschutzes unterstützt werden. Die Umsetzung der Maßnahmen und die tatsächliche Entwicklung der Kohlendioxidemissionen hängen von zahlreichen weiteren Faktoren ab, z. B. der Wirtschaftsentwicklung, den zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln, der notwendigen Versorgungssicherheit, der Entwicklung der Energiekosten sowie dem Verbraucherverhalten.

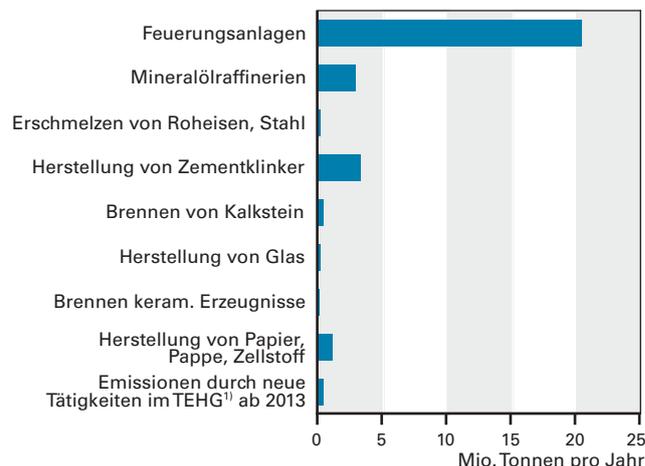
Die dem europäischen Emissionsrechtehandel unterliegenden Anlagen in Baden-Württemberg emittierten im Jahr 2013 zusammen 28,9 Mio. t Kohlendioxidäquivalente. Sie sind damit für etwa ein Drittel der Treibhausgasemissionen in Baden-Württemberg verantwortlich. Die Treibhausgasemissionen dieser Anlagen gingen seit 2005 von anfänglich 30,3 Mio. t Kohlendioxidäquivalenten um 4,4 Mio. t auf 25,9 Mio. t im Jahr 2012 zurück (Abb. 2.1-4). Im Jahr 2013 ist eine sprunghafte Zunahme der Treibhausgasemissionen um 2,6 Mio. t Kohlendioxidäquivalente zu verzeichnen, insbesondere ausgelöst durch eine steigende Nachfrage nach Zement in der Bauindustrie und durch einen erhöhten Energiebedarf.

Etwa 70 % der dem Emissionshandel unterliegenden Treibhausgasemissionen werden von Feuerungsanlagen und jeweils 10 % von Anlagen zur Herstellung von Zementklinker und Erdölraffinerien verursacht (Abb. 2.1-5). Annähernd



1) Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz

Abb. 2.1-4: Entwicklung der jährlichen Treibhausgasemissionen in Kohlendioxidäquivalenten der dem Emissionsrechtehandel unterliegenden relevanten Industrieanlagen in Baden-Württemberg.



1) Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz

Abb. 2.1-5: Treibhausgasemissionen in Kohlendioxidäquivalenten aller dem Emissionshandel unterliegenden Anlagen in Baden-Württemberg im Jahr 2013, aufgegliedert nach Tätigkeiten.

die gesamte Reduktion der Treibhausgasemissionen von 2005 bis 2012 und der Anstieg im Jahr 2013 werden von Feuerungsanlagen, und hier fast ausschließlich durch lediglich vier Großfeuerungsanlagen zur Stromerzeugung, verursacht (Abb. 2.1-6).

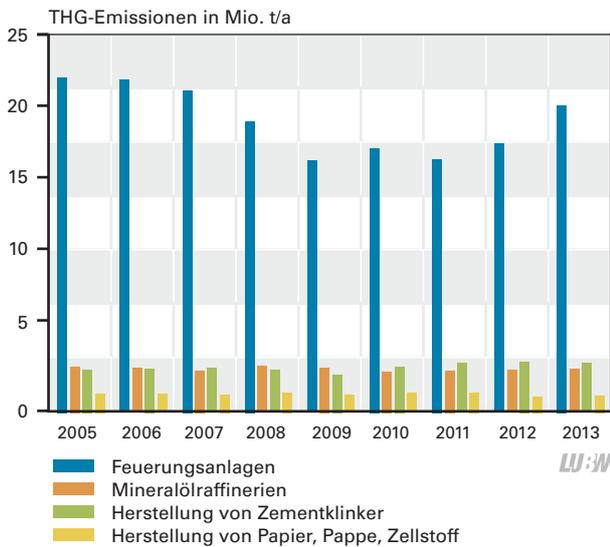


Abb. 2.1-6: Jährliche Treibhausgasemissionen in Kohlendioxidäquivalenten von dem Emissionshandel unterliegenden Anlagen in Baden-Württemberg, ausgewählte Tätigkeiten mit den höchsten Emissionen.

## 2.2 Klimawandel und seine Folgen

Das Klimamonitoring hat zum Ziel, das Langzeitverhalten ausgewählter meteorologischer Kenngrößen für Baden-Württemberg zu dokumentieren. Auf diese Weise sollen regionalklimatische Veränderungen erfasst und grundlegende Informationen für die Beurteilung möglicher Auswirkungen des Klimawandels bereitgestellt werden.

Im 5. Sachstandbericht stellt der International Panel of Climate Change (IPCC) fest, dass die Erwärmung des Klimasystems eindeutig ist und viele der seit den 1950er Jahren beobachteten Veränderungen vor Jahrzehnten bis Jahrtausenden nicht aufgetreten sind [IPCC 2013]. Im Zeitraum 1901 bis 2012, für den ausreichend regionale Messwerte vorliegen, hat sich fast die ganze Erdoberfläche erwärmt. In der Nordhemisphäre war der Zeitraum von 1983 bis 2012 wahrscheinlich die wärmste 30-Jahr-Periode der letzten 1 400 Jahre.

### 2.2.1 Klimaentwicklung der letzten Jahrzehnte

Auch in Baden-Württemberg setzte sich der langjährige Trend der Erwärmung fort. Seit dem Beginn des letzten Jahrhunderts hat die Jahresmitteltemperatur um ca. 1,1 °C zugenommen. Der Temperaturanstieg fiel im Winterhalbjahr stärker aus als im Sommerhalbjahr.

Beim Vergleich einzelner Jahre und einzelner Jahrzehnte zeigt sich aber auch eine große Variabilität des Klimas, die

auf natürliche Schwankungen zurückgeführt wird. So traten z. B. im Zeitraum von 2001 bis 2013 auch in Baden-Württemberg erhebliche Schwankungen der Jahresmitteltemperatur um ein hohes Temperaturniveau auf, die jedoch den langfristigen Trend seit 1901 nicht verändern (Abb. 2.2-1).

Im Jahr 2014 wurde ein neuer Temperaturrekord erreicht. Es war weltweit und in Deutschland mit 10,3 °C Jahresmitteltemperatur das wärmste Jahr seit Beginn flächendeckender Temperaturaufzeichnungen im Jahre 1881. Auch in Baden-Württemberg war 2014 mit 10,1 °C das Jahr mit der im Jahresmittel höchsten Temperatur. Es lag damit 2 °C über dem 30-jährigen Mittelwert für den offiziellen Klimavergleichszeitraum von 1961 bis 1990. Die Niederschläge fielen 2014 im Land geringer aus: Mit 875 mm wurden gut 10 % weniger Niederschläge als im Vergleichszeitraum 1961 bis 1990 gemessen.

Im Kooperationsvorhaben KLIWA werden von den Ländern Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz sowie dem Deutschen Wetterdienst Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft untersucht. Im letzten Klimamonitoringbericht von KLIWA wurden meteorologische und hydrologische Veränderungen der letzten 80 Jahre bis einschließlich 2010 ausführlich dokumentiert ([www.kliwa.de](http://www.kliwa.de) > Ergebnisse Veröffentlichungen > Klimamonitoringbericht 2011) und die wesentlichen Ergebnisse in den Umweltdaten 2012 dargestellt. Der nächste KLIWA-Monitoringbericht wird im Jahr 2016 erscheinen.

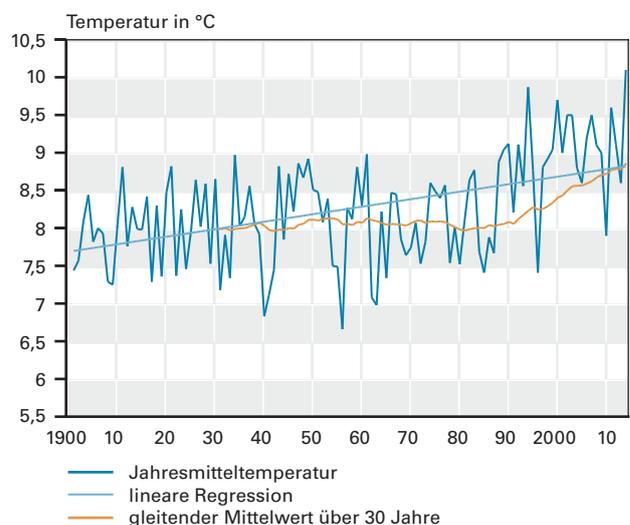


Abb. 2.2-1: Jahresmittelwerte der Lufttemperaturen in Baden-Württemberg. Quelle: Deutscher Wetterdienst.

### 2.2.2 Abschätzung der zukünftigen Klimaentwicklung

Die Auswertung von 29 verschiedenen regionalen Klimamodellen hinsichtlich der Klimaentwicklung in der nahen Zukunft (2021 bis 2050) und der fernen Zukunft (2071 bis 2100) durch die LUBW hat wichtige Erkenntnisse ergeben. Auch wenn die künftige Klimaentwicklung naturgemäß mit Unsicherheiten behaftet ist, zeigen die Ergebnisse einen klaren Trend der Jahresdurchschnittstemperaturen für die Zukunft mit einer großen Richtungssicherheit und einem starken Klimasignal: Es wird deutlich wärmer werden. Für Baden-Württemberg zeigen die Modelle für die nahe Zukunft der Jahre 2021 bis 2050 eine mittlere Temperaturzunahme von  $+1,1\text{ °C}$  mit einer Bandbreite zwischen  $+0,8\text{ °C}$  und  $+1,7\text{ °C}$ . Für die ferne Zukunft (2071 bis 2100) wird sogar von einer Erhöhung von  $+3,0\text{ °C}$  mit einer Bandbreite zwischen  $+2,5\text{ °C}$  und  $+3,6\text{ °C}$  im Vergleich zum Zeitraum von 1971 bis 2000 ausgegangen (Abb. 2.2-2) [LUBW 2013].

Was das konkret bedeutet, wird bei der Betrachtung der Entwicklung der Sommertage (Temperaturmaximum mindestens  $25\text{ °C}$ ) noch anschaulicher: Die Zahl der Sommertage von heute 30 Tagen im Landesdurchschnitt wird in der nahen Zukunft mit einer Bandbreite von 4 bis 18 Tagen und in der fernen Zukunft sogar um 20 bis 44 Tagen zunehmen. Regional wird dann zum Beispiel im Rheingraben und im Rhein-Neckarraum in der fernen Zukunft mit bis zu 100 Sommertagen zu rechnen sein.

Bei Niederschlagsparametern streuen die Ergebnisse der Modellsimulationen deutlich stärker und ihre Richtungssicherheit ist geringer. Die durchschnittliche Jahresnieder-

schlagssumme für Baden-Württemberg wird sich mit ca. 950 mm in Zukunft auf einem ähnlichen Niveau wie im Vergleichszeitraum 1971 bis 2000 bewegen. Langfristig ist allerdings damit zu rechnen, dass die Niederschlagsmenge im Winterhalbjahr zu- und im Sommerhalbjahr abnimmt. Diese Entwicklung war bereits in der Vergangenheit zu beobachten. Die Veränderungen der Niederschlagsmenge der letzten 80 Jahre waren im Sommer gering, im Winterhalbjahr von November bis April haben die Gebietsniederschläge jedoch signifikant zugenommen. Auch die Anzahl der Starkniederschläge und deren Niederschlagsmenge werden sich nach den Modellergebnissen erhöhen. Die Modellergebnisse werden allerdings aufgrund ihrer Streuung nur als eingeschränkt zufriedenstellend eingestuft. Ausführliche Informationen zur zukünftigen Klimaentwicklung in Baden-Württemberg finden sich auf den Internetseiten der LUBW: [www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Klimawandel und Anpassung.

### 2.2.3 Auswirkungen des Klimawandels auf Abflusskennwerte

In KLIWA wurden die verfügbaren Klimaprojektionen ausgewertet und bewertet, um die Auswirkungen des Klimawandels auf wasserwirtschaftliche Kenngrößen untersuchen zu können. Als Ergebnis wurden die Projektionen, die das gegenwärtige Klima am besten simulierten, für die weiteren Untersuchungen verwendet und mehrere Zukunftsszenarien berechnet.

Die Zusammenhänge der Hochwasserentstehung am Oberrhein infolge des alpinen Einflusses und des voralpinen Bereichs, des Oberrheinausbaus sowie weiterer Einflussfaktoren machen die Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Rheinabflüsse sehr komplex. Für das Rheineinzugsgebiet bis zum Pegel Worms wurden die belastbaren Klimaprojektionen als Eingangsgrößen für die hochaufgelösten Wasserhaushaltsmodelle im  $1 \times 1\text{ km}$ -Modellraster benutzt und eine Bandbreite möglicher Abflussentwicklungen ermittelt. Seit kurzem liegen erste Simulationsergebnisse über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Abflüsse des Rheins vor.

Die Bandbreite der Änderungen der monatlichen mittleren Hochwasserabflüsse (MoMHQ), der monatlichen mittleren Abflüsse (MoMQ) und der monatlichen mittleren Niedrigwasserabflüsse (MoMnQ) aus den Simulationen mit CCLM-Klimaprojektionen (COSMO Climate Local

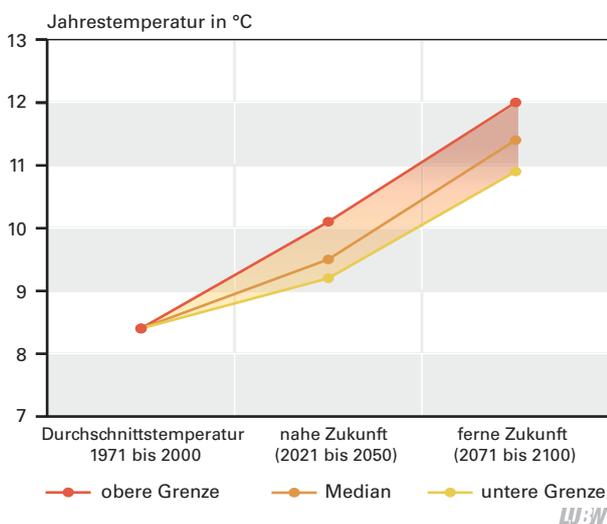


Abb. 2.2-2: Schematische Darstellung der Ergebnisse aus den Klimaprojektionen. Stand: 2015

Tab. 2.2-1: Bandbreite der Änderungssignale der Pegel Konstanz, Basel, Maxau, Worms und Rockenau für die monatlichen mittleren Niedrigwasserabflüsse (MoMNQ), die monatlichen mittleren Abflüsse (MoMQ) und die monatlichen mittleren Hochwasserabflüsse (MoMHQ) sowie dem arithmetischen Mittel der prozentualen Spannen. Stand: 2014

	monatliche mittlere Niedrigwasserabflüsse MoMNQ		monatliche mittlere Abflüsse MoMQ		monatliche mittlere Hochwasserabflüsse MoMHQ	
	Sommerhalbjahr	Winterhalbjahr	Sommerhalbjahr	Winterhalbjahr	Sommerhalbjahr	Winterhalbjahr
Konstanz (Rhein)	-11 % bis -15 %	-1 % bis +2 %	-15 % bis -10 %	0 % bis +4 %	-18 % bis -12 %	0 bis +5
<b>Mittelwert</b>	<b>-13 %</b>	<b>0 %</b>	<b>-13 %</b>	<b>+1 %</b>	<b>-14 %</b>	<b>+1</b>
Basel (Rhein)	-13 % bis -8 %	+1 % bis +5 %	-10 % bis -7 %	+4 % bis +6 %	-7 % bis -5 %	+4 % bis +6 %
<b>Mittelwert</b>	<b>-10 %</b>	<b>+4 %</b>	<b>-8 %</b>	<b>+5 %</b>	<b>-7 %</b>	<b>+5 %</b>
Maxau (Rhein)	-13 % bis -8 %	+2 % bis +7 %	-9 % bis -6 %	+4 % bis +7 %	-7 % bis -4 %	+6 % bis +7 %
<b>Mittelwert</b>	<b>-9 %</b>	<b>+5 %</b>	<b>-7 %</b>	<b>+6 %</b>	<b>-5 %</b>	<b>+6 %</b>
Worms (Rhein)	-12 % bis -7 %	+4 % bis +9 %	-8 % bis -5 %	+6 bis +8	-5 % bis -3 %	+6 % bis +9 %
<b>Mittelwert</b>	<b>-9 %</b>	<b>+7 %</b>	<b>-6 %</b>	<b>+8</b>	<b>-4 %</b>	<b>+8 %</b>
Rockenau (Neckar)	-3 % bis +5 %	+7 % bis +14 %	-1 % bis +7 %	+10 % bis +17 %	-2 % bis +11 %	+10 % bis +18 %
<b>Mittelwert</b>	<b>0 %</b>	<b>+11 %</b>	<b>+2 %</b>	<b>+14 %</b>	<b>+4 %</b>	<b>+15 %</b>

LU:W

Model) für das Szenario der nahen Zukunft der Jahre 2021 bis 2050 im Vergleich zum Ist-Zustand der Jahre 1971 bis 2000 wird für das hydrologische Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) und das hydrologische Winterhalbjahr (November bis März) exemplarisch für die Pegel Konstanz/Rhein, Basel/Rhein, Maxau/Rhein, Worms/Rhein sowie für Rockenau/Neckar, den wichtigsten Zufluss des Oberrheins, tabellarisch dargestellt.

Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Realisationen von CCLM sind teilweise ausgeprägt. Das Änderungssignal der Pegel mit nivalem, d. h. durch Schneeschmelze geprägtem Abflussregime zeigt generell bei Verwendung der CCLM-Läufe im Sommerhalbjahr eher eine Abnahme der MoMHQ-Werte, so z. B. für den Pegel Maxau je nach CCLM-Klimaprojektion zwischen -4 % und -7 %. Im Winterhalbjahr werden Zunahmen simuliert, z. B. beim Pegel Maxau zwischen +6 % und +7 %. Bei Pegeln mit pluvial, also durch Regen geprägtem Abflussregime mit höheren Abflüssen im Winterhalbjahr wie beim Pegel Rockenau, ergibt sich bei Verwendung der verschiedenen CCLM-Läufe bei den Simulationen des Zukunftsszenarios eine deutliche Erhöhung der mittleren monatlichen Hochwasserabflüsse. Im Winterhalbjahr liegen die Änderungen zwischen +10 % und +18 %, im Sommerhalbjahr nur zwischen -2 % und +11 %. Hier kommt es somit zu einer Verschärfung der Abflusssituation mit höheren Abflüssen im Winterhalbjahr.

Bei den monatlichen mittleren Niedrigwasserabflüssen MoMNQ zeigt sich bei den Pegeln mit nivalem Abflussregime die Tendenz, dass im Winterhalbjahr, also in der Jah-

reszeit mit niedrigeren Abflüssen, die Werte der Regimekurven für die nahe Zukunft der Jahre 2021 bis 2050 höher sind als beim Ist-Zustand 1971 bis 2000. Beispielsweise werden für den Pegel Maxau Zunahmen zwischen +2 % und +7 % simuliert. Im Sommerhalbjahr hingegen, also in der Jahreszeit mit höheren Niedrigwasserabflüssen, nehmen die Werte für Maxau zwischen -13 % und -8 % ab. Bei Pegeln mit pluvial geprägtem Abflussregime mit niedrigen Abflüssen im Sommerhalbjahr zeigen sich beim Minimum der MoMNQ-Regimekurven kaum Änderungen im Vergleich zum Ist-Zustand 1971 bis 2000. Beispielsweise betragen die Änderungen beim Pegel Rockenau zwischen -3 % und +5 %. Dabei sind die Änderungen im Sommerhalbjahr geringer als die Zunahmen im Winterhalbjahr.

Die Bandbreite der Änderungssignale der Pegel Konstanz, Basel, Maxau, Worms und Rockenau für MoMNQ, MoMQ und MoMHQ ist in Tabelle 2.2-1 zusammengestellt.

#### 2.2.4 Auswirkungen des Klimawandels auf die belebte Umwelt

Tageslänge und Lufttemperatur bestimmen zusammen mit dem Hormonstatus der Pflanzen deren jahreszeitliche Entwicklung maßgeblich. Phänologische Untersuchungen, also die Beobachtung der Wachstums- und Entwicklungsercheinungen an Wild- und Nutzpflanzen, belegen einen Wandel der klimatischen Verhältnisse in Baden-Württemberg. Zu den so genannten phänologischen Phasen zählen beispielsweise der Beginn der Blattentfaltung, der Beginn und das Ende der Blüte, die Fruchtreife oder der Beginn des Blattfalls. Das Jahr wird in zehn phänologische Jahres-

zeiten eingeteilt: Vor-, Erst- und Vollfrühling, Früh-, Hoch- und Spätsommer, Früh-, Voll- und Spätherbst sowie Winter.

### Pflanzen blühen früher

Der Beginn der Apfelblüte zeigt nach der Einteilung in phänologische Jahreszeiten den Vollfrühling an. Der Blühbeginn beim Apfel zeigt eine Vorverlagerung des Vollfrühlingsbeginns im Land um durchschnittlich zehn Tage im Zeitraum von 1991 bis 2014 an (Vergleichszeitraum 1961 bis 1990). 2014 konnte sogar der früheste Beginn der Apfelblüte seit 1951 beobachtet werden, nämlich 100 Tage nach Jahresbeginn (Abb. 2.2-3). Bislang ist offen, welche Auswirkungen die Vorverlagerung der Blühtermine auf Blütenbestäuber und deren Nahrungsbeziehungen mit sich bringt. Im ungünstigsten Fall kann es zu einer Desynchronisation der Apfelblüte und des Frühjahrsfluges von Insekten mit der Folge eines geringen Bestäubungserfolges kommen.

Anhand der Apfelblütenentwicklung ist auch die Ableitung regionaler Klimawirkungen möglich. So weisen das Oberrheingebiet, der Kraichgau, der Stuttgarter Raum sowie der Bodenseeraum besonders frühe Blühtermine auf.

Da sich der frühere Frühlingsbeginn bis in die Höhenlagen bemerkbar macht, werden seit 2007 im Murgtal Apfelstandorte zwischen Bietigheim (Oberrheinebene, 120 m ü. NN) und dem Schliffkopf (Nordschwarzwald, 1 043 m ü. NN) untersucht. Die Höhenwanderung des Blühbeginns im Murgtal wird als Indikator für den Beginn des Vollfrühlings in verschiedenen Höhenlagen genutzt. Je nach Witterung erreichte die Apfelblüte die Höhenlagen

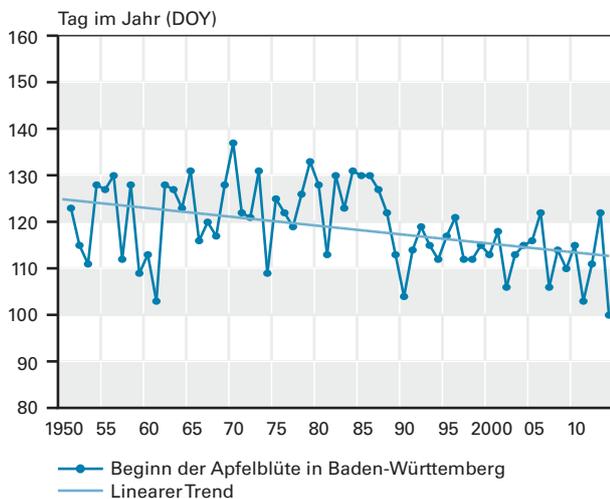


Abb. 2.2-3: Mittlerer Beginn der Apfelblüte in Baden-Württemberg. Quelle: Deutscher Wetterdienst.

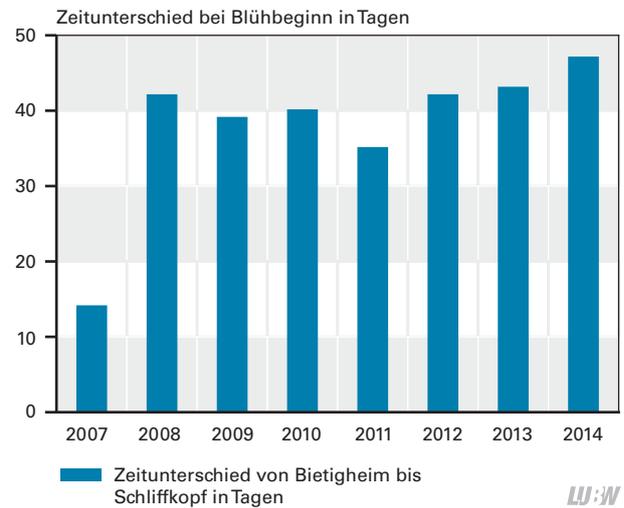


Abb.2.2-4: Zeitunterschiede zwischen dem Blühbeginn in Bietigheim (120 m ü. NN) und auf dem Schliffkopf (1 043 m ü. NN). Im Jahr 2013 wies der höchstgelegene Apfelbaum auf dem Schliffkopf keine Blüten auf. Die Erhebungen endeten deshalb in 915 m ü. NN am Standort Ruhestein.

des Nordschwarzwaldes unterschiedlich schnell. Auffallend ist hier besonders das Jahr 2007. Der April war in diesem Jahr deutlich zu warm, was den geringen zeitlichen Unterschied zwischen dem Blühbeginn in Bietigheim und am Schliffkopf erklärt (Abb. 2.2-4). Der Höhengewinn des Blühbeginns weist seit 2007 eine Spannweite von 18 m bis 66 m pro Tag auf.

### Klimawandel fördert gebietsfremde Arten

Der Klimawandel bringt nicht nur höhere Durchschnittstemperaturen, sondern auch eine Verlängerung der Vegetationsperiode mit sich. Davon profitieren zugewanderte Tier- und eingeschleppte Pflanzenarten. Hierzu zählen auch Arten, die die Gesundheit des Menschen beeinträchtigen können wie der Tigermoskito oder die Beifuß-Ambrosie. Letztere verursacht neben gesundheitlichen auch ökonomische sowie vermutlich auch ökologische Probleme.

Die Pollen der Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) stellen wegen ihres hohen Allergengehaltes ein ernst zu nehmendes Gesundheitsrisiko dar, da sie bei empfindlichen Personen Allergien auslösen können wie Heuschnupfen, Bindehautentzündung und Asthma. Als weitere Folge können Nahrungsmittelallergien auftreten. Die Pflanze blüht erst spät im Jahr nach anderen wichtigen Pollenallergieauslösern. Die Blütezeit kann von Juli bis zum ersten Frost andauern. Dadurch verkürzt sich für Allergiker die pollenfreie Zeitspanne im Jahr erheblich.

Seit 2006 werden das Vorkommen und die Ausbreitung der Beifuß-Ambrosie in Baden-Württemberg intensiv beobachtet. Die Anzahl der Ambrosiafunde hat ab Mitte der 2000er Jahre deutlich zugenommen. Von 11 im Jahr 2006 bekannten Großvorkommen mit mehr als 100 Pflanzen im Bestand auf Freiflächen ist deren Zahl bis 2013 auf 152 angestiegen. Im selben Betrachtungsraum hat sich die Zahl der Funde von Kleinvorkommen mit weniger als 100 Pflanzen im Bestand von 31 auf 262 etwa verachtfacht (Abb. 2.2-5).

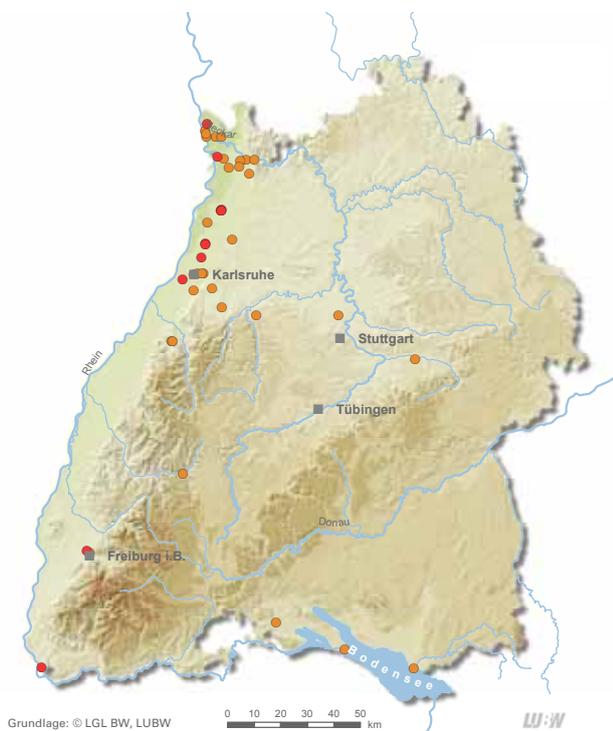
Die meisten Ambrosiavorkommen auf Freiflächen treten in den wärmsten Temperaturbereichen über 11 °C Jahresdurchschnittstemperatur auf. Das lässt die Präferenz der Art für wärmere Standorte erkennen.

Bevorzugte Wuchsorte finden sich im Siedlungsbereich u. a. in Gärten, auf Brachflächen und an Straßenrändern. Auch auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und an lichten Stellen in Wäldern (Wildäcker, Wegränder) kann die Beifuß-Ambrosia vorkommen. Verbreitungsschwerpunkte liegen derzeit in den wärmeren Gebieten Baden-Württem-

bergs, dem oberrheinischen Tiefland sowie in der Region um Stuttgart, Tübingen und Reutlingen. Nachweishäufigungen ergeben sich mittlerweile auch in den Regionen Hochrhein-Bodensee (Landkreis Konstanz) und Bodensee-Oberschwaben (Landkreis Ravensburg).

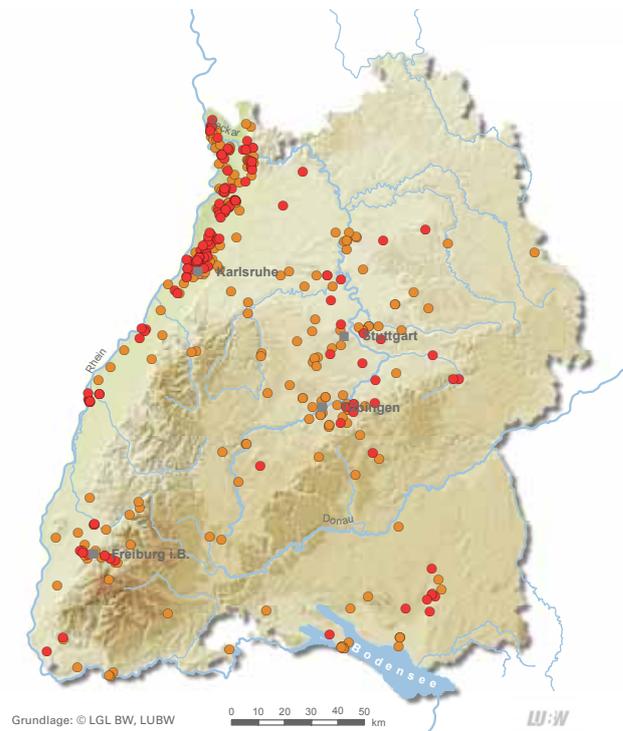
Bekämpfungsmaßnahmen werden freiwillig von kommunalen und staatlichen Dienststellen, aber auch von privater Seite vorgenommen. Nach derzeitigem Kenntnisstand sind seit 2006 in Baden-Württemberg an ca. 37 % der bekannten großen Ambrosia-Bestände mindestens einmal Bekämpfungsmaßnahmen erfolgt. Es ist gelungen, teilweise auch große Ambrosia-Bestände mit mehreren tausend Pflanzen erfolgreich zurückzudrängen oder ganz zu beseitigen.

Trotzdem waren die Bekämpfungsmaßnahmen nicht in allen Fällen erfolgreich: So blieb die Individuenzahl bei etwa einem Drittel der Bestände trotz Gegenmaßnahmen etwa gleich oder nahm sogar stark – teilweise bis zum Zehnfachen – zu. Ursachen hierfür waren fehlende, unzureichende oder nicht konsequent durchgeführte Maßnahmen.



**Funde vor 2006**

- *Ambrosia artemisiifolia* (≥ 100 Pfl./ Bestand)
- *Ambrosia artemisiifolia* (< 100 Pfl./ Bestand) und Vorkommen ohne Angabe der Individuenzahl



**Funde von 2006 bis 2013**

- *Ambrosia artemisiifolia* (≥ 100 Pfl./ Bestand)
- *Ambrosia artemisiifolia* (< 100 Pfl./ Bestand) und Vorkommen ohne Angabe der Individuenzahl

Abb. 2.2-5: Funde der Beifuß-Ambrosie auf Freiflächen vor 2006 (links) und von 2006 bis 2013 (rechts).

# 3 Luft

## Das Wichtigste in Kürze

Die Luftqualität in Baden-Württemberg hat sich in den letzten 20 Jahren stetig verbessert. Besonders bei den **klassischen Luftverunreinigungen** Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Benzol und Blei lagen die gemessenen Konzentrationen weit unterhalb der vom Gesetzgeber festgelegten Grenzwerte.

Bei der primär **verkehrsbedingten Luftverunreinigung** durch Partikel  $PM_{10}$  wurden die Immissionsgrenzwerte im Jahr 2014 außer an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor flächendeckend eingehalten. Demgegenüber lagen die gemessenen Konzentrationen von Stickstoffdioxid im Jahr 2014 an fast allen verkehrsnahen Messstationen zum Teil erheblich über dem Immissionsgrenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Auch beim Ozon konnten im Jahr 2014 an einigen Messstationen des Luftmessnetzes Baden-Württemberg die Zielwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Vegetation nicht eingehalten werden. Die Informationsschwelle von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1-Stundenmittelwert) wurde im Jahr 2014 an einigen Messstationen in der Rheinebene im Juni und Juli überschritten. Die Alarmschwelle für Ozon von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1-Stundenmittelwert) wurde im Luftmessnetz im Jahr 2014 an keiner Messstation erreicht.

Bei den **Emissionen von Luftschadstoffen** in Baden-Württemberg konnten von 1994 bis 2012 mit Ausnahme der Luftschadstoffe Ammoniak und Gesamtstaub sowie Partikel  $PM_{10}$  zum Teil Rückgänge um bis zu 70 % verzeichnet werden. Die Ammoniakemissionen reduzierten sich in diesem Zeitraum nur um 14 %. Bei den Luftschadstoffen Gesamtstaub und Partikel  $PM_{10}$  konnte ein Rückgang von 28 % bzw. 41 % verzeichnet werden.

Aufgabe einer vorsorgenden Luftreinhaltepolitik ist es, Art und Wirkungen von Luftverunreinigungen auf den Menschen und die Umwelt zu erkennen, zu erfassen und die Ursachen so weit wie möglich zu beseitigen oder zumindest zu begrenzen. Aus diesem Grund werden in Baden-Württemberg sowohl die Art und Menge der in die Luft freigesetzten Schadstoffe (Emissionen) als auch die Konzentrationen der Schadstoffe in der Außenluft (Immissionen) und ihre Ablagerung (Deposition) systematisch untersucht und bewertet.

Als Luftverunreinigungen werden gemäß dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) 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 Industrie- und Gewerbeanlagen, dem Verkehr, Heizungen oder auch der Landwirtschaft. Daneben gibt es auch bedeutende natürliche Quellen für Luftverunreinigungen wie Waldbrände oder Vulkanausbrüche. Hinzu kommen weitere natürliche Emissionen, z. B. aus Fäulnisprozessen, Nadelbäumen („Kiefernduft“), Baum- und Graspollen sowie der Erosion von Bodenmaterial durch Wind.

## 3.1 Erhebung der Emissionen

Grundlage für gezielte Luftreinhaltemaßnahmen ist eine räumlich und zeitlich aufgelöste Ermittlung der von verschiedenen Verursachern freigesetzten Luftverunreinigungen (Emissionen). Mit der Erfassung der Emissionsdaten wurde in Baden-Württemberg Ende der 1970er-Jahre punktuell begonnen. Seit 1994 werden die Emissionserhebungen im Zweijahres-Rhythmus im gesamten Land durchgeführt, so dass nun eine flächendeckende Bewertung der Emissionssituation auf der Basis der Emissionsdaten von 1994 bis 2012 erfolgen kann [LUBW 2015]. Im Rahmen der Emissionserhebungen werden folgende Stoffe erfasst:

- Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ) mit den Komponenten NO und  $\text{NO}_2$  (berechnet als  $\text{NO}_2$ ),
- Staub (Gesamtstaub und Partikel  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ),
- flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC),
- Benzol ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ),
- Kohlenmonoxid (CO),
- Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ),
- Schwefeloxide als Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ),
- klimarelevante Gase (Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ), Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ )) und
- ausgewählte Staubinhaltsstoffe (Blei (Pb), Arsen (As), Cadmium (Cd), Benzo[a]pyren (BaP), polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane (PCCD/PCDF)).

Die räumliche Auflösung der erhobenen Emissionen erlaubt neben der landesweiten auch eine regionale, kreis- und gemeindebezogene Beurteilung der Emissionssituation. Mit diesen Daten werden beispielsweise gezielt Maßnahmen zur Minderung von Luftschadstoffbelastungen erarbeitet oder Immissionsmodellierungen über Ausbreitungsrechnungen durchgeführt, um die Schadstoffbilanzierung für unterschiedliche Maßnahmenzenarien durchführen zu können. Daneben sind die Erkenntnisse aus Emissionserhebungen ein Instrument für die Aufstellung von kommunalen Programmen und können auch Fragestellungen im Zusammenhang mit langfristig angelegten landesweiten Minderungsmaßnahmen beantworten.

Die Emissionserhebungen umfassen fünf nachfolgend näher beschriebene Quellengruppen:

#### **Verkehr**

In der Quellengruppe Verkehr werden die Emissionen des Straßenverkehrs und des Offroadverkehrs, d. h. des Schiffs-, Schienen- und bodennahen Flugverkehrs, erfasst. Wesentliche Grundlagen für die Berechnung der Straßenverkehrsemissionen sind die Bundesverkehrszählung und deren Fortschreibung auf der Grundlage aktueller Verkehrsdaten und Verkehrsprognosen sowie die aktuellen Emissionsfaktoren des Handbuchs Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs [INFRAS 2010]. Die Berechnung der Emissionen von Schiffen, Schienenfahrzeugen und bodennahem Flugverkehr erfolgt auf Grundlage der Kraftstoffverbräuche. Beim bodennahen Flugverkehr werden die Emissionen der Starts und Landungen bis zu einer Höhe von 1 000 m einbezogen. Es werden außerdem die Emissionen organischer Stoffe beim Flughafenbetrieb erfasst (z. B. bei der Enteisung oder durch Vorfeldfahrzeuge).

#### **Industrie und Gewerbe**

Die Quellengruppe Industrie und Gewerbe umfasst:

- Betriebe mit nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen außer kleinen und mittleren Feuerungsanlagen nach der 11. BImSchV (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen). Hierzu zählen insbesondere kleine Lackierereien und Druckereien, chemische Reinigungen, Tankstellen, Betriebe, in denen Holz, Metalle und Kunststoffe be- und verarbeitet werden, sowie Steinbrüche und Häfen.

- Betriebe mit genehmigungsbedürftigen Anlagen, die nach der 11. BImSchV (Verordnung über Emissionserklärungen) verpflichtet sind, eine Emissionserklärung abzugeben.
- Betriebe, die nach den Vorgaben des europäischen Schadstofffreisetzung- und Verbringungsregisters (European Pollutant Release and Transfer Register E-PRTR) Informationen über ihre Schadstofffreisetzung u. a. in Luft und Wasser melden.

#### **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 Warmwasserbereitung sowie für die Erzeugung von Prozesswärme bei Kleinverbrauchern, die der 1. BImSchV unterliegen. Die wesentlichen Energieträger sind hier Brenngase (Erdgas und Flüssiggase) und leichtes Heizöl sowie im Sinne der Luftreinhaltung „kritische“ Festbrennstoffe wie Holz.

#### **Biogene Systeme**

Die biogenen Systeme beinhalten zum einen die Emissionen aus Vegetation, Böden, Gewässern und Feuchtgebieten, also den eher naturbelassenen Quellen, zum anderen die vom Menschen beeinflussten Freisetzungen aus Landwirtschaft (inkl. Böden und Pflanzen), Nutztierhaltung und Abwasserkanälen.

#### **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 (z. B. dieselbetriebene land- und forstwirtschaftliche Maschinen, auf Baustellen betriebene Maschinen und Geräte).

### 3.2 Immissionsmessnetze und Depositionsmessnetz

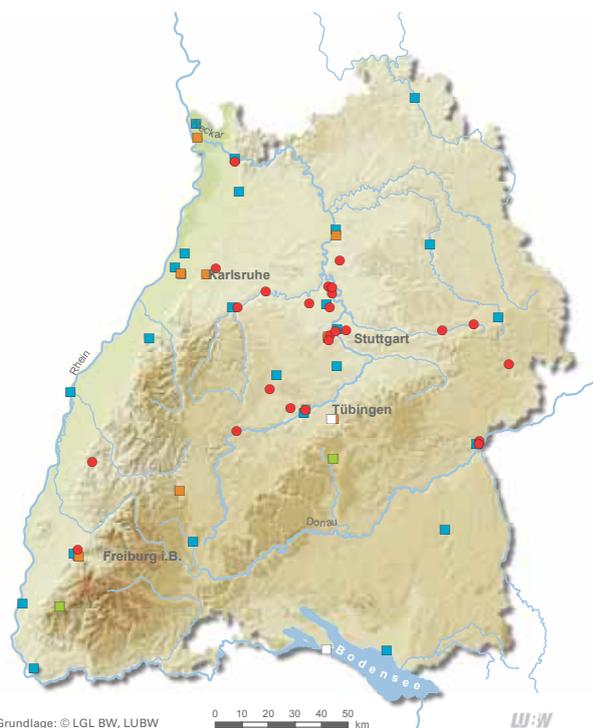
Zur Überwachung der Luftqualität werden in Baden-Württemberg drei landesweite Messnetze betrieben:

#### Luftmessnetz

Das Luftmessnetz bestand im Jahr 2014 aus 36 Messstationen (Abb. 3.2-1), von denen zwei im Auftrag der Städte Konstanz und Reutlingen betrieben wurden. Das Messnetz dient der Langzeitüberwachung von Luftverunreinigungen. Die langjährigen Messreihen lassen Aussagen über die zeitliche Entwicklung der Luftbelastung zu. Die Anzahl der Messstellen und ihre räumliche Anordnung im Land gewährleisten eine flächendeckende Überwachung der Luftqualität. Im Jahr 2014 wurden an

- 8 verkehrsnahen Messstationen,
- 26 städtischen Messstationen (im städtischen Hintergrund) und an
- 2 ländlichen Messstationen (im ländlichen Hintergrund)

die relevanten Luftverunreinigungen gemessen.



- Messstationen im ländlichen Hintergrund
- Messstationen im städtischen Hintergrund
- verkehrsnahen Messstationen
- Spotmessungen
- durch Dritte finanzierte Messstationen

Abb. 3.2-1: Standorte der Messstellen des Luftmessnetzes und der Spotmessungen in Baden-Württemberg. Stand: 2014

Damit werden zum einen die Immissionskonzentrationen in ländlichen bzw. städtischen Gebieten, in denen kein direkter Einfluss eines Emittenten vorliegt, erfasst. Zum anderen werden die Immissionen an den verkehrsnahen Messstationen in direkter Nähe zum Kfz-Verkehr als einem wichtigen Verursacher von Luftverunreinigungen gemessen.

An den Stationen des Luftmessnetzes werden je nach Lage und lokaler Immissionsituation folgende Luftverunreinigungen gemessen:

- Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ),
- Partikel  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2,5}$ ,
- Ozon ( $\text{O}_3$ ),
- Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ),
- Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ),
- Benzol ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ),
- Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Nickel (Ni) und Benzo[a]pyren (BaP) als Gesamtgehalt in der Partikel  $\text{PM}_{10}$ -Fraktion und
- Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ).

An den Stationen des Luftmessnetzes werden auch für die Beurteilung der Luftqualität wichtige meteorologische Größen wie Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Temperatur, Taupunkt, Niederschlag und Luftdruck gemessen.

#### Spotmessungen

Die Spotmessungen erweitern das Luftmessnetz um zeitlich befristete Messstellen an innerörtlichen Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen (Abb. 3.2-1). Im Jahr 2014 wurden in Baden-Württemberg an 26 Messstellen Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) und an 14 Messstellen Partikel  $\text{PM}_{10}$  gemessen. An einigen ausgewählten Messstellen wurden auch Messungen von Benzol, Ruß und Benzo[a]pyren durchgeführt.

#### Depositionsmessnetz

Seit 1992 werden die Ablagerungen (Depositionen) von Luftverunreinigungen in städtisch und industriell geprägten Gebieten sowie in ländlichen Räumen messtechnisch erfasst. Im Depositionsmessnetz werden seit 2007 folgende Parameter bestimmt:

- Staubniederschlag,
- Sulfat- und Nitratreintrag,
- Schwermetalleintrag (Antimon (Sb), Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Nickel (Ni) und Quecksilber (Hg)),
- Eintrag der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) und
- Stickstoff-/Säureeintrag.

Im Jahr 2014 wurden an 26 Messstandorten die Depositionen erfasst. Die Standorte in den ländlich strukturierten Gebieten sind nach klimatischen, vegetationsspezifischen sowie naturräumlichen Kriterien über das ganze Land verteilt und reichen von den regenreichen Hochlagen des Schwarzwaldes bis zu den trockenen Lagen des Taubertals (Abb. 3.2-2).

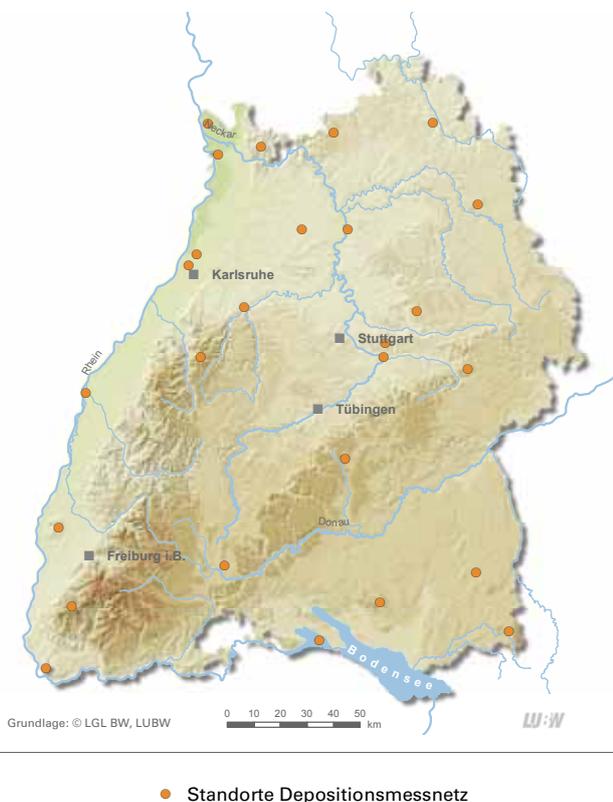


Abb. 3.2-2: Messstandorte des Depositionsmessnetzes in Baden-Württemberg. Stand: 2014

### 3.3 Luftverunreinigungen

Die Überwachung der Luftqualität durch die zuständigen Behörden ist in § 44 BImSchG geregelt. Die genauen Durchführungsbestimmungen wurden vom Gesetzgeber in der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (39. BImSchV) festgelegt. Die 39. BImSchV enthält u. a. Immissionswerte in Form von Immissionsgrenzwerten, Zielwerten, Informations- und Alarmschwellen sowie kritische Werte für alle relevanten Luftverunreinigungen.

#### 3.3.1 Stickstoffoxide

Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) werden unter der Bezeichnung Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) zusammengefasst. Sie entstehen bei allen Verbrennungsprozessen unter hohen Temperaturen. Bedeutende Emissionsquellen sind der Kraftfahrzeugverkehr und die Verbrennung fossiler Brennstoffe. In der Atmosphäre wird Stickstoffmonoxid vergleichsweise schnell in Stickstoffdioxid umgewandelt. Immissionsgrenzwerte wurden nur für Stickstoffdioxid festgelegt.

Stickstoffoxide wirken reizend auf die Schleimhäute und Atemwege des Menschen und können Pflanzen schädigen. Auch eine Zunahme von Herz-Kreislauferkrankungen kann beobachtet werden. Stickstoffdioxid ist zusammen mit den flüchtigen organischen Verbindungen (VOC, vgl. Kap. 3.3.3) eine der Vorläufersubstanzen für die Bildung von bodennahem Ozon. Stickstoffoxide tragen durch die langfristige Umwandlung in Nitrat und nachfolgender Deposition zur Überdüngung der Böden in empfindlichen Ökosystemen und Gewässern bei. Über die Umwandlung zu Salpetersäure leisten sie einen Beitrag zur Versauerung.

#### Emissionen

Das Luftschadstoffemissionskataster [LUBW 2015] weist für das Jahr 2012 eine Freisetzung an Stickstoffoxid (Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid, berechnet als Stickstoffdioxid) von 118 907 Tonnen (t) für Baden-Württemberg aus. Die Quellengruppe Verkehr hatte daran einen Anteil von 46 %, gefolgt von der Quellengruppe Industrie und Gewerbe mit 22 % (Abb. 3.3-1).

Innerhalb der Quellengruppe Verkehr ist der Straßenverkehr mit einem Anteil von 89 % hauptsächlich für die Stickstoffoxidemissionen verantwortlich (Abb. 3.3-2). Dabei sind es insbesondere die Personenkraftwagen (Pkw) und die schweren Nutzfahrzeuge, die mit 45 % und 37 % an den

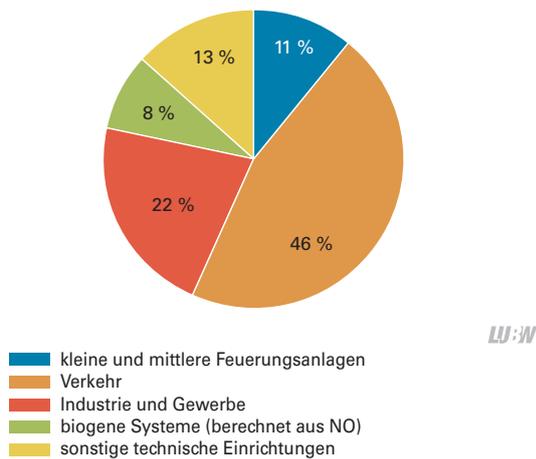


Abb. 3.3-1: Verteilung der Stickstoffoxidemissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg im Jahr 2012 [LUBW 2015].

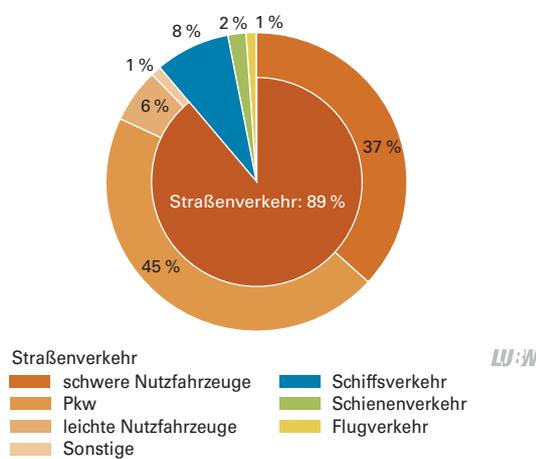


Abb. 3.3-2: Verteilung der Stickstoffoxidemissionen auf die Verkehrsträger in Baden-Württemberg im Jahr 2012 [LUBW 2015].

verkehrsbedingten Stickstoffoxidemissionen beteiligt sind. Bei der Quellengruppe Industrie und Gewerbe sind dies insbesondere die großen Kraft- und Heizwerke, die Zementindustrie und die Mineralölverarbeitung. Die wesentlichen Verursacher der Stickstoffoxidemissionen der sonstigen technischen Einrichtungen sind Geräte, Maschinen und Fahrzeuge der Bau- sowie der Land- und Forstwirtschaft und der Industrie. Bei den kleinen und mittleren Feuerungsanlagen sind die privaten Gebäudeheizungen der Hauptemittent.

Von 1994 bis 2012 gingen in Baden-Württemberg die Stickstoffoxidemissionen um 49 % zurück (Abb. 3.3-3). Die Emissionen des Verkehrs haben in diesem Zeitraum aufgrund von Minderungsmaßnahmen an den Fahrzeugen trotz zunehmender Zulassungszahlen und steigender Fahrleistung etwas stärker abgenommen (63 %). Die Quellengruppe kleine und mittlere Feuerungsanlagen weist in die-

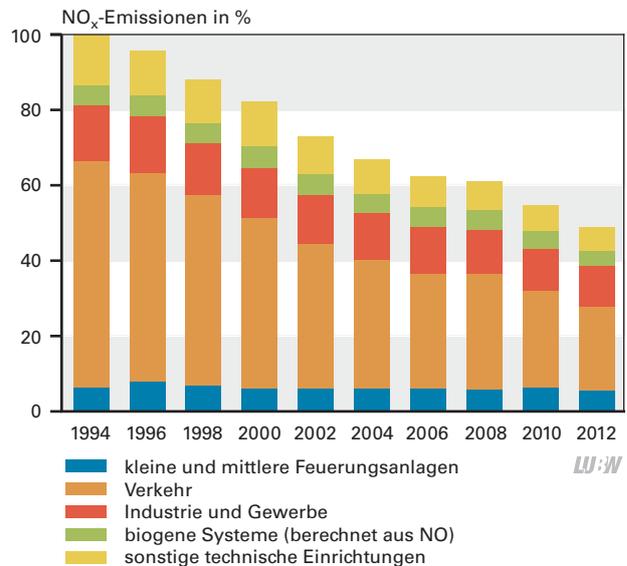


Abb. 3.3-3: Entwicklung der Stickstoffoxidemissionen in Baden-Württemberg (1994 = 100 %) [LUBW 2015].

sem Zeitraum keinen Rückgang bei den Stickstoffoxidemissionen auf. Die Emissionen dieser Gruppe sind abhängig vom Energieverbrauch und damit von den jeweiligen Temperaturen in der Heizperiode. Durch die Flottenverjüngung im Straßenverkehr und durch Neufahrzeuge mit niedrigerem Emissionsniveau ist mit einem weiteren Rückgang der Stickstoffoxidemissionen des Kraftfahrzeugverkehrs zu rechnen. Bei der Quellengruppe Industrie und Gewerbe werden durch den vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien weitere Minderungen erwartet. Bei den kleinen und mittleren Feuerungsanlagen sind durch Gebäudesanierungsmaßnahmen und Anlagenmodernisierungen ebenfalls Minderungen möglich.

### Immissionen

Tab. 3.3-1: Immissionswerte für Stickstoffoxide gemäß der 39. BImSchV

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Immissionswert	zulässige Anzahl Überschreitungen
<b>Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)</b>			
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	1 Stunde	200 µg/m <sup>3</sup>	18 im Kalenderjahr
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	Kalenderjahr	40 µg/m <sup>3</sup>	—
menschliche Gesundheit (Alarmschwelle)	1 Stunde*	400 µg/m <sup>3</sup>	—
<b>Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>)</b>			
Vegetation (kritischer Wert)	Kalenderjahr	30 µg/m <sup>3</sup>	—

\*gemessen an drei aufeinander folgenden Stunden

Die höchsten Stickstoffdioxidbelastungen treten an verkehrsnahen Messstellen auf (Abb. 3.3-4). Die hier gemessenen Jahresmittelwerte liegen alle über dem Immissionsgrenzwert von 40 Mikrogramm pro Kubikmeter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Tab. 3.3-1). Im ländlichen und städtischen Hintergrund wurden im Jahr 2014 keine Überschreitungen festgestellt. Eine Überschreitung des Immissionsgrenzwertes von 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (1-Stundenmittelwert) trat im Jahr 2014 nur an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor mehr als 18 Mal auf (Abb. 3.3-5).

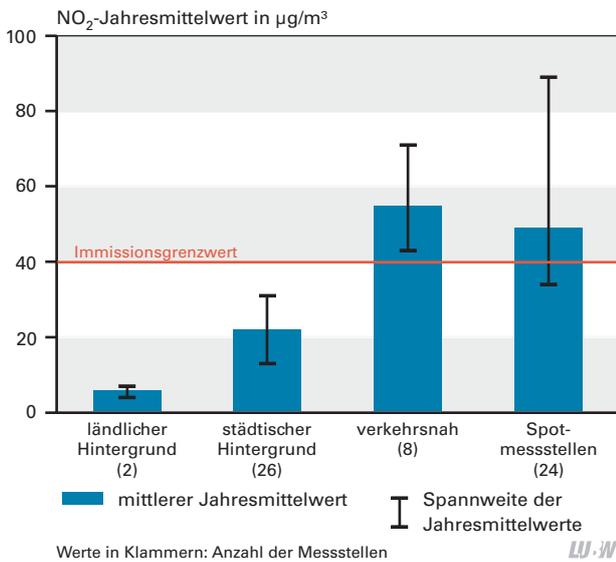


Abb. 3.3-4: Spannweiten der Jahresmittelwerte der Stickstoffdioxidkonzentrationen an den Messstationen des Luftmessnetzes (ländlich, städtisch, verkehrsnah) und den Spotmessstellen in Baden-Württemberg im Jahr 2014.

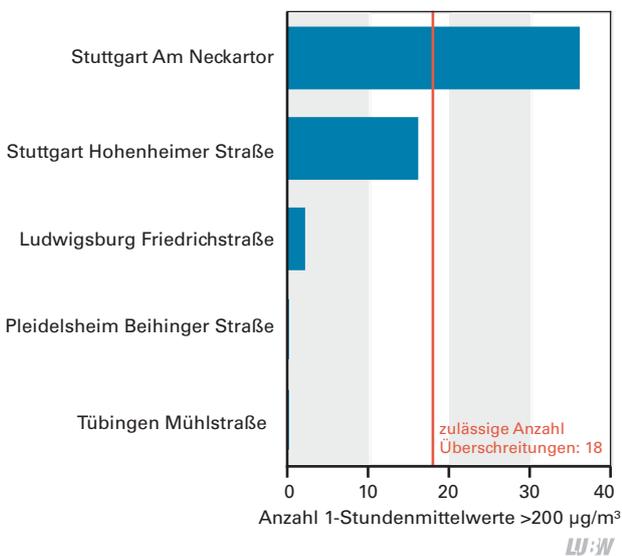


Abb. 3.3-5: Anzahl der Überschreitungen des Immissionsgrenzwertes von 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (1-Stundenmittelwert) für Stickstoffdioxid in Baden-Württemberg im Jahr 2014.

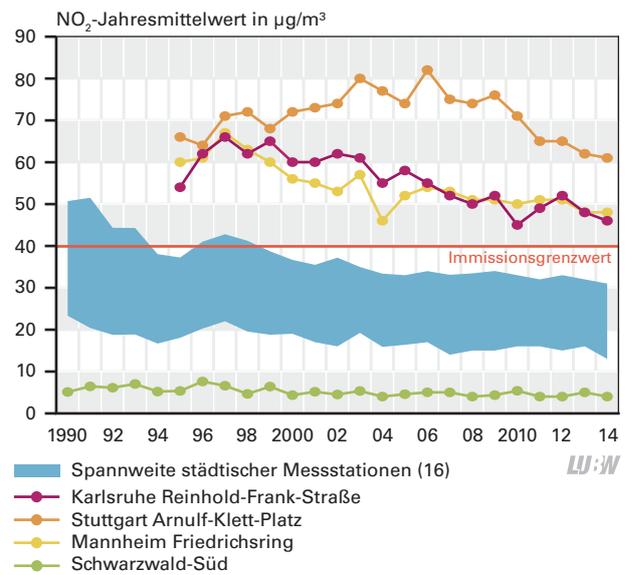


Abb. 3.3-6: Entwicklung der Immissionsbelastung durch Stickstoffdioxid in Baden-Württemberg.

Seit dem Anfang der 1990er-Jahre ist bei den verkehrsnahen und den städtischen Messstationen ein leicht abnehmender Trend der Immissionsbelastung erkennbar (Abb. 3.3.6). Erwartungsgemäß liegt die Immissionsbelastung des primär verkehrsbedingten Stickstoffdioxids an der ländlichen Messstation (Schwarzwald-Süd) auf sehr niedrigem Niveau.

#### Ursachenanalyse

Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität sind nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz entsprechend dem Verursacheranteil unter Beachtung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit gegen alle Emittenten zu richten, die zum Überschreiten von Immissionswerten beitragen. Um Maßnahmen verursachergerecht ergreifen zu können, sind zunächst mittels einer Ursachenanalyse die Beiträge der einzelnen Verursacher zur Immissionsbelastung zu ermitteln.

Das Konzentrationsniveau bei Stickstoffdioxid wird an den untersuchten Straßenabschnitten durch den lokal in unmittelbarer Umgebung der Messstelle vorhandenen Straßenverkehr beeinflusst. Der Beitrag dieser Quellengruppe zur gesamten Stickstoffdioxidbelastung lag im Jahr 2013 zwischen 40 % und 72 %. Die kleinen und mittleren Feuerungsanlagen verursachten zwischen 10 % und 38 % der Stickstoffdioxid-Immissionsbelastung. Die Industrie, der Offroadverkehr (Schienen-, Schiffs- und Flugverkehr) und die sonstigen technischen Einrichtungen (Land- und Forst-

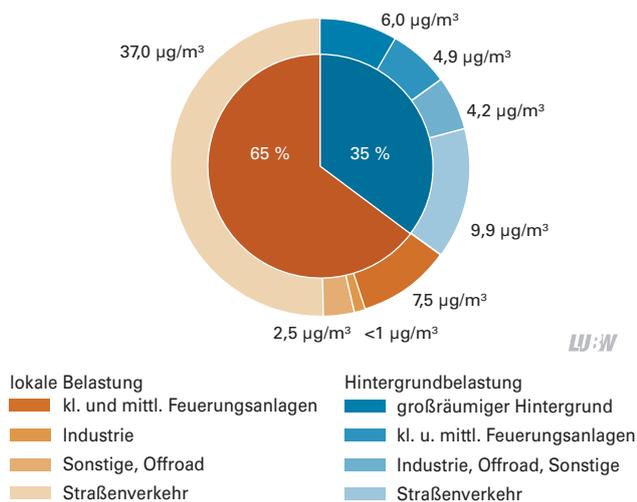


Abb. 3.3-7: Verursacher der Stickstoffdioxid-Immissionsbelastung am Messpunkt Reutlingen Lederstraße-Ost im Jahr 2013 [LUBW 2014].

wirtschaft, Geräte, Maschinen und sonstige Fahrzeuge) trugen insgesamt zwischen 4 % und 25 % zur Luftbelastung durch Stickstoffdioxid bei. Abbildung 3.3-7 zeigt beispielhaft die Verursacheranteile für die 2013 gemessene Stickstoffdioxidbelastung am Messpunkt Reutlingen Lederstraße-Ost.

### 3.3.2 Partikel

Partikel oder Aerosole sind luftgetragene, feste oder flüssige Teilchen, die nicht unmittelbar zu Boden sinken, sondern eine gewisse Zeit in der Atmosphäre verweilen und über große Distanzen transportiert werden können. Für die gesundheitliche Bedeutung der Partikel (Particulate Matter, PM) ist neben ihren chemischen Stoffeigenschaften insbesondere ihre Größe von Bedeutung. Es werden vier Fraktionen hinsichtlich des Durchmessers der Staubpartikel unterschieden, wobei die größeren Fraktionen immer auch die kleineren Partikel beinhalten (Tab. 3.3-2). Die Partikelfraktionen werden auch als Feinstaub bezeichnet. Vor allem Partikel der Fraktionen  $PM_{0,1}$  und  $PM_{2,5}$  sind für Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit bedeutsam. Aufgrund ihrer guten Lungengängigkeit können sie

Tab. 3.3-2: Einteilung der Staubfraktionen

Staubfraktion	Partikelgröße
Gesamtstaub	> 10 µm
inhalierbare Partikel $PM_{10}$	< 10 µm*
lungengängige Partikel $PM_{2,5}$	< 2,5 µm
ultrafeine Partikel $PM_{0,1}$	< 0,1 µm

\*Partikel, die einen größenselektierenden Lufterlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 Mikrometern (µm) eine Abscheidewirksamkeit von 50 % hat.

weit in den Organismus vordringen und Beschwerden des Atemtrakts und des Herz-Kreislaufsystems verursachen.

Als primäre Aerosole werden Partikel bezeichnet, die direkt in die Umwelt emittiert werden. Sekundäre Aerosole entstehen hingegen erst in der Atmosphäre durch chemische Reaktion aus gasförmigen Vorläufersubstanzen wie Schwefeldioxid, Stickstoffoxiden oder Ammoniak.

### Emissionen

Bei den Staubemissionen wird zwischen Gesamtstaub und den Feinstaubfraktionen im Gesamtstaub unterschieden. Bei der Erfassung der Emissionen handelt es sich ausschließlich um primär emittierten Staub; die Bildung sogenannter sekundärer Aerosole aus Vorläufersubstanzen wird nicht berücksichtigt. Staubemissionen wie z. B. Abwehungen von Bodenpartikeln durch Bodenbearbeitung in der Landwirtschaft werden im Emissionskataster als biogene Systeme erfasst.

Die Partikel  $PM_{10}$ - und die Partikel  $PM_{2,5}$ -Emissionen wurden jeweils getrennt aus den Gesamtstaubemissionen jeder Quelle berechnet. Die Partikel  $PM_{10}$ -Emissionen stammen zu 34 % aus der Quellengruppe Verkehr, die kleinen und mittleren Feuerungsanlagen tragen 23 % zu den  $PM_{10}$ -Emissionen bei (Abb. 3.3-8).

Zwischen 1994 und 2012 nahmen die Partikel  $PM_{10}$ -Emissionen um 41 % ab (Abb. 3.3-9), die  $PM_{2,5}$ -Emissionen gingen sogar um 53 % zurück. Dabei konnte, u. a. aufgrund der zunehmenden Ausrüstung der Dieselmotoren mit Partikelfiltern, ein Rückgang der Partikel  $PM_{10}$ -Emissionen um 41 % erreicht werden. Bei den kleinen und mittleren Feuerungsanlagen blieben die Partikel  $PM_{10}$ -Emissionen in diesem Zeitraum etwa gleich.

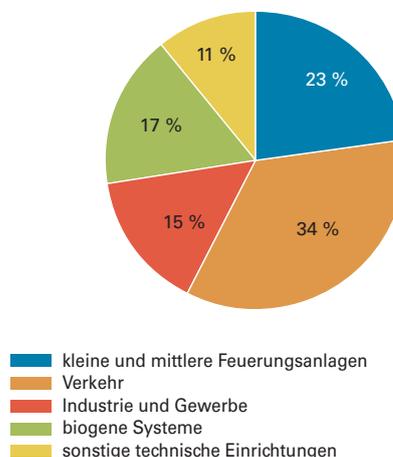


Abb. 3.3-8: Verteilung der Partikel  $PM_{10}$ -Emissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg im Jahr 2012 [LUBW 2015].

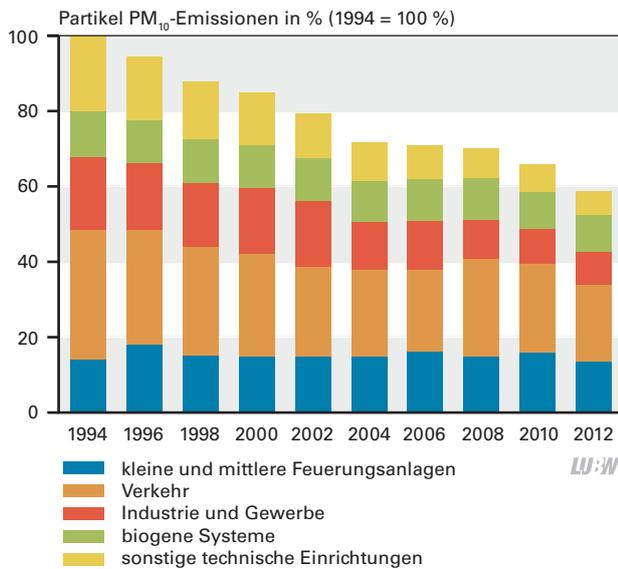


Abb. 3.3-9: Entwicklung der Partikel PM<sub>10</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg (1994 = 100 %) [LUBW 2015].

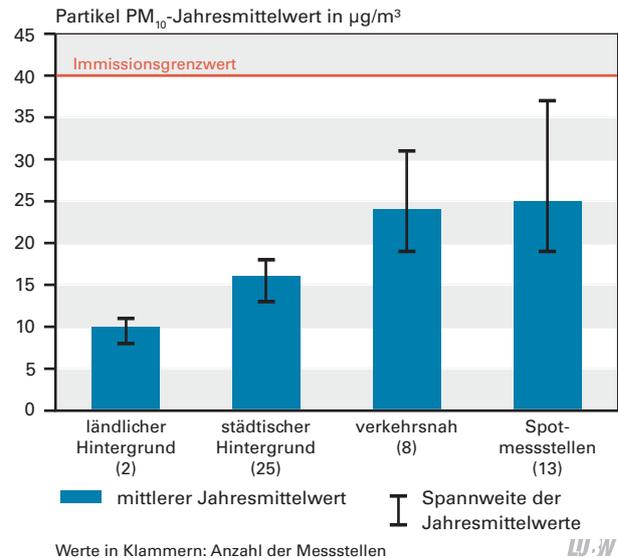


Abb. 3.3-10: Spannweiten der Jahresmittelwerte der Partikel PM<sub>10</sub>-Konzentrationen an den Messstationen des Luftmessnetzes (ländlich, städtisch, verkehrsnahe) und den Spotmessstellen in Baden-Württemberg im Jahr 2014.

### Immissionen

Tab. 3.3-3: Immissionswerte für Partikel gemäß der 39. BImSchV

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Immissionswert	zulässige Anzahl Überschreitungen
<b>Partikel PM<sub>10</sub></b>			
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	Tag	50 µg/m <sup>3</sup>	35 im Kalenderjahr
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	Kalenderjahr	40 µg/m <sup>3</sup>	—
<b>Partikel PM<sub>2,5</sub></b>			
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	Kalenderjahr	25 µg/m <sup>3</sup>	—

Die höchsten Partikel PM<sub>10</sub>-Konzentrationen treten an den verkehrsnahen Stationen und den ebenfalls verkehrsnah gelegenen Spotmessstellen auf (Abb. 3.3-10). Der Immissionsgrenzwert von 50 µg/m<sup>3</sup> (Tagesmittelwert) wurde mit 64 Überschreitungen nur an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor nicht eingehalten (Abb. 3.3-11, Tab. 3.3-3). Der seit dem 1. Januar 2015 gültige Immissionsgrenzwert für Partikel PM<sub>2,5</sub> wurde im Jahr 2014 an allen Messstellen in Baden-Württemberg eingehalten (Abb. 3.3-12). In den letzten Jahren ist bei den verkehrsnahen und den städtischen Messstationen ein leicht abnehmender Trend bei der Belastung durch Partikel PM<sub>10</sub> festzustellen. Erwartungsgemäß liegt die Immissionsbelastung durch die primär verkehrsbedingten Partikel PM<sub>10</sub> an den ländlichen Messstationen auf niedrigerem Niveau (Abb. 3.3-13).

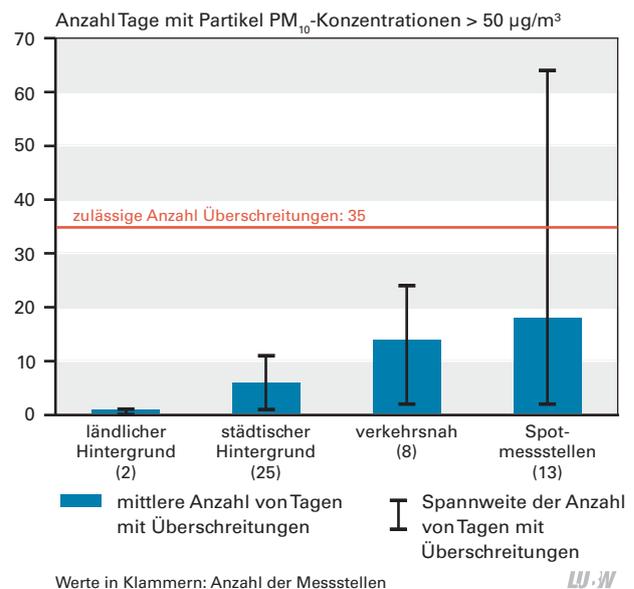


Abb. 3.3-11: Spannweiten der Überschreitungen des Immissionsgrenzwertes von 50 µg/m<sup>3</sup> (Tagesmittelwert) für Partikel PM<sub>10</sub> an den Messstationen des Luftmessnetzes (ländlich, städtisch, verkehrsnah) und den Spotmessstellen in Baden-Württemberg im Jahr 2014.

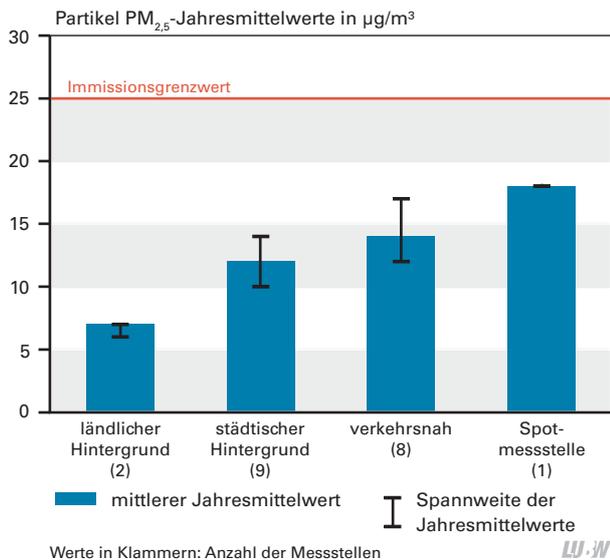


Abb. 3.3-12: Spannweiten der Jahresmittelwerte der Partikel PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen an den Messstationen des Luftmessnetzes (ländlich, städtisch, verkehrsnah) und der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor in Baden-Württemberg im Jahr 2014.

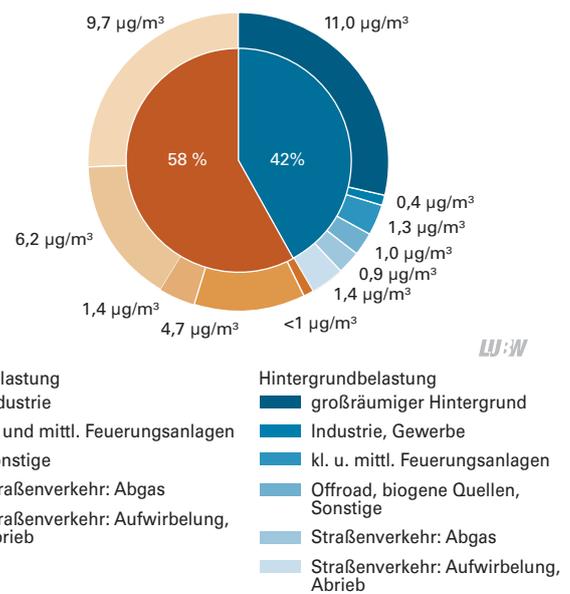


Abb. 3.3-14: Verursacher der Partikel PM<sub>10</sub>-Immissionsbelastung am Messpunkt Reutlingen Lederstraße-Ost im Jahr 2013 [LUBW 2014]

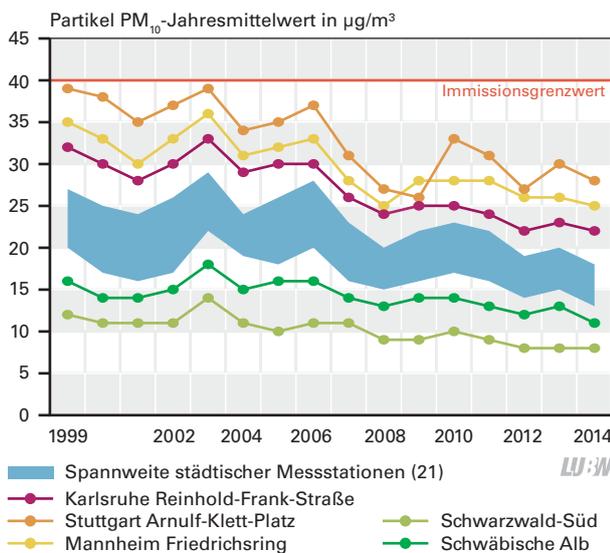


Abb. 3.3-13: Entwicklung der Immissionsbelastung durch Partikel PM<sub>10</sub> in Baden-Württemberg.

### Ursachenanalyse

Die Beiträge des Straßenverkehrs zu den Partikel PM<sub>10</sub>-Immissionskonzentrationen der straßennahen Überschreitungspunkte bewegten sich im Jahr 2013 zwischen 31 % und 48 %, wobei etwa ein Viertel durch Abgase verursacht wurde und drei Viertel aus verkehrsbedingtem Reifen-, Bremsen- und Straßenabrieb sowie aus Aufwirbelungen stammten. Die kleinen und mittleren Feuerungsanlagen hatten an den Partikel PM<sub>10</sub>-Werten einen Anteil zwischen 15 % und 22 %, Industrie, Offroadverkehr, sonstige tech-

nische Einrichtungen und biogene Quellen je nach Standort zwischen 4 % und 13 %.

Betrachtet man die Anteile der Verursachergruppen an den Partikel PM<sub>10</sub>-Belastungen, wird deutlich, dass der Anteil der lokal bzw. in unmittelbarer Nähe der Messstelle liegenden Quellen einen wesentlich geringeren Einfluss auf die Partikel PM<sub>10</sub>-Immissionsbelastung hat als bei den Stickstoffdioxidkonzentrationen. Demgegenüber hatte der großräumige Hintergrund im Jahr 2013 einen Anteil zwischen 28 % und 39 % an den PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerten. In Abbildung 3.3-14 sind beispielhaft die Verursacheranteile am Messpunkt Reutlingen Lederstraße-Ost für Partikel PM<sub>10</sub> im Jahr 2013 dargestellt.

### 3.3.3 Ozon und Vorläufersubstanzen des Ozons

Ozon ist ein chemisch sehr reaktives Gas. In der Erdatmosphäre schützt es als natürliche Ozonschicht oberhalb von etwa 20 km Höhe (Stratosphäre) die Erdoberfläche vor schädlicher Ultraviolettstrahlung der Sonne. Die Ozonschicht ist also ein natürlicher UV-Filter, ohne den Leben auf der Erdoberfläche nicht möglich wäre. Ozon kommt natürlicherweise auch in bodennahen Schichten vor. Die natürliche Hintergrundkonzentration beträgt in Bodennähe etwa 50 µg/m³. Bodennahes Ozon stammt zu einem geringeren Teil aus dem vertikalen Transport von Ozon aus der Ozonschicht, hauptsächlich aber aus der Reaktion des Luftschadstoffs Stickstoffdioxid mit flüchtigen organischen Ver-

bindungen (volatile organic compounds – VOC) bei hoher Sonneneinstrahlung. Ozon wird nicht direkt aus Quellen emittiert, sondern bildet sich erst in der Atmosphäre.

Es wirkt in erhöhten Konzentrationen als Reizgas auf die Atemwege und kann nach tiefer Inhalation (z. B. bei sportlicher Betätigung) die Entstehung entzündlicher Prozesse im Lungengewebe fördern. Die Empfindlichkeit gegenüber Ozon ist dabei individuell unterschiedlich ausgeprägt. Zudem können erhöhte Ozonkonzentrationen in Bodennähe das Pflanzenwachstum beeinträchtigen.

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. So ist Methan neben Kohlendioxid hauptverantwortlich für die Verstärkung des Treibhauseffektes (vgl. Kap. 2). Aus diesem Grund wird bei der Darstellung der VOC-Emissionen im Allgemeinen zwischen Methan- und Nicht-Methan-VOC (NMVOC) unterschieden. Alle VOC tragen zur Ozonbildung bei.

### Emissionen

Die Emissionen der Ozonvorläufersubstanzen NMVOC betragen im Jahr 2012 in Baden-Württemberg 140 000 t (für Stickstoffdioxid siehe Kap. 3.3.1, für Methan siehe Kap. 2.1.5). Hauptverursacher waren mit einem Anteil von 45 % biogene Systeme. Die industriellen und gewerblichen Quellen sowie die sonstigen technischen Einrichtungen trugen mit einem Anteil von je 22 % zu den NMVOC-Emissionen bei (Abb. 3.3-15). Innerhalb der biogenen Systeme sind vor allem die Wälder für die NMVOC-Emissionen verantwortlich, bei der Quellengruppe Industrie und Gewerbe zu drei Vierteln das Gewerbe. Die Emissionen entstehen hier vor allem beim Einsatz von Reinigungsmitteln, Lacken, Druckfarben und dem Umschlag von Kraftstoffen.

Bei den sonstigen technischen Einrichtungen tragen der Einsatz von Produkten mit organischen Lösemitteln, beispielsweise die Anwendung von Reinigungsmitteln, Klebstoffen oder Lacken, sowie die unvollständige Kraftstoffverbrennung in Geräten, Maschinen und Fahrzeugen wesentlich zu den NMVOC-Emissionen bei.

Die NMVOC-Emissionen gingen in Baden-Württemberg von 1994 bis 2012 um 50 % zurück (Abb. 3.3-16). Die Emissionsminderung beim Verkehr von 1994 bis 2012 um 86 % wurde vor allem durch den zunehmenden Anteil von

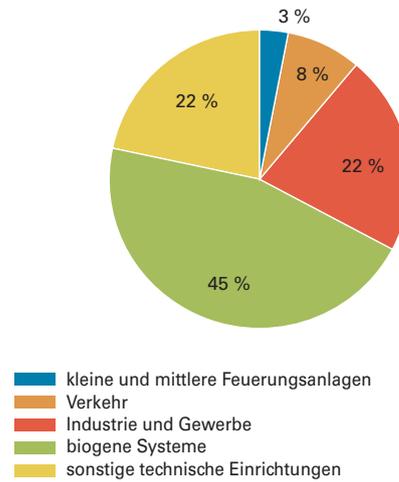


Abb. 3.3-15: Verteilung der NMVOC-Emissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg im Jahr 2012 [LUBW 2015].

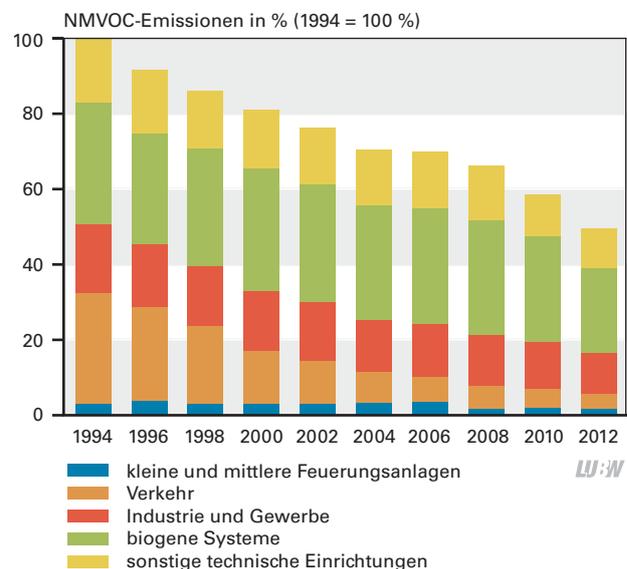


Abb. 3.3-16: Entwicklung der NMVOC-Emissionen in Baden-Württemberg (1994 = 100 %) [LUBW 2015].

Kraftfahrzeugen mit geregelterm Katalysator erreicht. Bei den sonstigen technischen Einrichtungen betrug der Rückgang infolge lösemittelärmerer Produkte und emissionsärmerer Verfahren etwa 37 %, bei den kleinen und mittleren Feuerungsanlagen wurde eine Minderung um 46 % erreicht. Zukünftig wird ein weiterer Rückgang der NMVOC-Emissionen erwartet. Der wachsende Anteil von Kraftfahrzeugen, die schärferen Abgasgrenzwerten entsprechen, wird zukünftig wie bei den Stickstoffoxiden auch zur Abnahme der NMVOC-Emissionen beitragen. Bei der Quellengruppe Industrie und Gewerbe ist ein Rückgang der NMVOC-Emissionen insbesondere im Bereich der Lösemittelanwendungen zu erwarten.

## Immissionen

Tab. 3.3-4: Immissionswerte für Ozon gemäß der 39. BImSchV

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Immissionswert	zulässige Anzahl Überschreitungen
<b>Ozon</b>			
menschliche Gesundheit (Zielwert)	8 Stunden <sup>1)</sup>	120 µg/m <sup>3</sup>	25 im Kalenderjahr
menschliche Gesundheit (Informationsschwelle)	1 Stunde	180 µg/m <sup>3</sup>	—
menschliche Gesundheit (Alarmschwelle)	1 Stunde	240 µg/m <sup>3</sup>	—
Vegetation (Zielwert)	AOT40 <sup>2)</sup>	18 000 (µg/m <sup>3</sup> )h	—
Vegetation (langfristiges Ziel)	AOT40 <sup>3)</sup>	6 000 (µg/m <sup>3</sup> )h	—

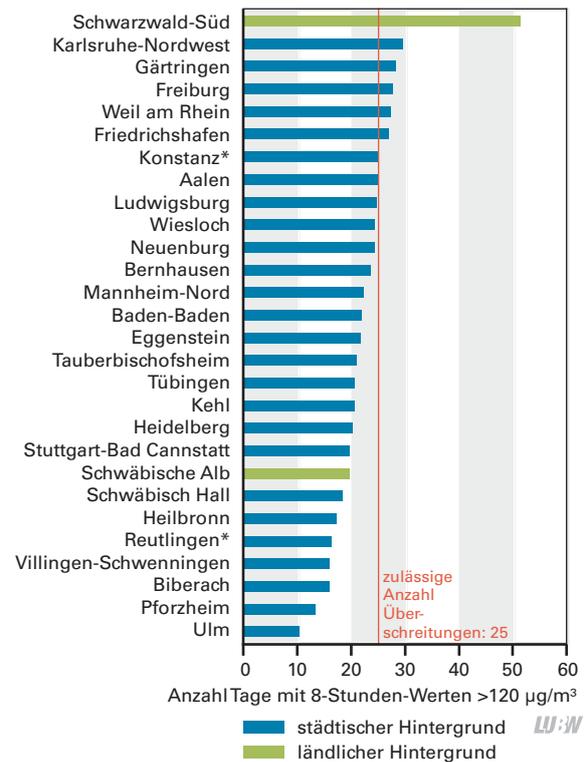
1) Höchster 8-Stundenmittelwert eines Tages

2) Maßgebend ist die Zahl der Überschreitungstage pro Kalenderjahr, gemittelt über drei Jahre

3) AOT40, ausgedrückt in (µg/m<sup>3</sup>)h, ist die über einen vorgegebenen Zeitraum (1. Mai bis 31. Juli) summierte Differenz zwischen Ozonwerten über 80 µg (= 40 ppb) und 80 µg unter ausschließlicher Verwendung der täglichen 1-Stundenmittelwerte zwischen 8.00 Uhr und 20.00 Uhr mitteleuropäischer Normalzeit; maßgebend ist der über fünf Jahre gemittelte AOT40-Wert

LUBW

LUBW



\* durch Dritte finanzierte Messstation

Abb. 3.3-17: Anzahl der Überschreitungen des Zielwertes von 120 µg/m<sup>3</sup> (höchster 8-Stundenmittelwert eines Tages) für Ozon an den Messstationen des Luftmessnetzes Baden-Württemberg (Mittelung über die Jahre 2012 bis 2014).

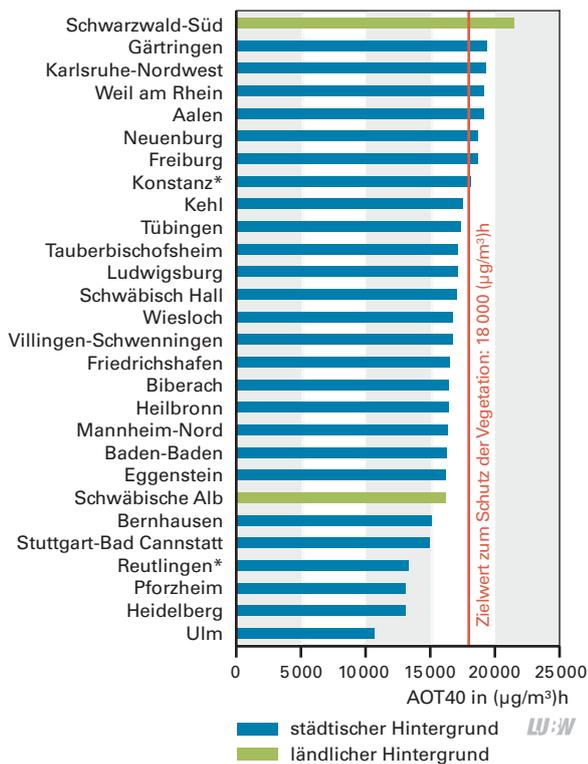
Ozon weist einen charakteristischen Jahresgang mit Maximalkonzentrationen in den Sommermonaten bei intensiver Sonneneinstrahlung sowie eine räumliche Differenzierung mit hohen Konzentrationen vor allem am Stadtrand und in ländlichen Gebieten auf.

Der Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit vor Ozon beträgt 120 µg/m<sup>3</sup> (höchster 8-Stundenmittelwert eines Tages) bei 25 zugelassenen Überschreitungen im Kalenderjahr (Tab. 3.3-4). Maßgebend für die Beurteilung, ob der Zielwert eingehalten werden kann, ist die Zahl der Überschreitungstage pro Kalenderjahr, gemittelt über drei Jahre. Die Mittelung über mehrere Jahre dient dazu, den starken Einfluss der meteorologischen Verhältnisse auf die Ozonbildung zu berücksichtigen. Zur Prüfung der Einhaltung des Zielwertes wurde eine Mittelung der Überschreitungstage für die Jahre 2012, 2013 und 2014 vorgenommen. Die zulässige Anzahl von 25 Überschreitungen im Kalenderjahr für den Zielwert von 120 µg/m<sup>3</sup> wurde im Jahr 2014 an sechs Messstationen überschritten (Abb. 3.3-17).

Der Zielwert zum Schutz der Vegetation vor Ozon beträgt 18 000 Mikrogramm pro Kubikmeter mal Stunden

((µg/m<sup>3</sup>)·h) als AOT40 für den Zeitraum von Mai bis Juli eines Kalenderjahres. Der AOT40 (Accumulated exposure Over a Threshold of 40 ppb), ausgedrückt in (µg/m<sup>3</sup>)h, ist die über einen vorgegebenen Zeitraum (1. Mai bis 31. Juli) summierte Differenz zwischen Ozonwerten über 80 µg (= 40 ppb) und 80 µg unter ausschließlicher Verwendung der täglichen 1-Stundenmittelwerte zwischen 8.00 Uhr und 20.00 Uhr mitteleuropäischer Normalzeit. Maßgebend für die Beurteilung, ob der Zielwert eingehalten werden kann, ist der AOT40-Wert, gemittelt über fünf Jahre. Zur Prüfung der Einhaltung des Zielwertes von 18 000 (µg/m<sup>3</sup>)h wurde eine Mittelung der AOT40-Werte für die Jahre 2010, 2011, 2012, 2013 und 2014 vorgenommen. Der Zielwert von 18 000 (µg/m<sup>3</sup>)h wurde an acht Messstationen überschritten (Abb. 3.3-18).

Die Informationsschwelle von 180 µg/m<sup>3</sup> (1-Stundenmittelwert) wurde nur an wenigen Tagen im Juni und Juli 2014 an einigen Messstationen in der Rheinebene überschritten (Tab. 3.3-5). Im Luftmessnetz wurde im Jahr 2014 an keiner der Messstationen, an denen Ozon gemessen wurde, die Alarmschwelle von 240 µg/m<sup>3</sup> (1-Stundenmittelwert) erreicht.



\* durch Dritte finanzierte Messstation

Abb. 3.3-18: Ozonkonzentrationen berechnet als AOT40 in (µg/m³)h (Mittelung über die Jahre 2010 bis 2014) an den Messstationen des Luftmessnetzes Baden-Württemberg.

Tab 3.3-5: Tage mit Überschreitung der Informationsschwelle von 180 µg/m³ (1-Stundenmittelwert) für Ozon an den Messstationen des Luftmessnetzes Baden-Württemberg im Jahr 2014.

Datum	Messstationen
7. Juni	Karlsruhe-Nordwest
9. Juni	Mannheim-Nord
11. Juni	Schwarzwald-Süd, Neuenburg
17. Juli	Schwarzwald-Süd
19. Juli	Karlsruhe-Nordwest, Baden-Baden, Eggenstein

LUBW

Seit den 1990er-Jahren ist sowohl bei den städtischen Messstationen als auch an der ländlichen Messstation Schwarzwald-Süd ein abnehmender Trend bei der Immissionsbelastung mit Ozon festzustellen, wobei die Abnahme an der ländlichen Messstation Schwarzwald-Süd deutlicher ausfällt. Gut erkennbar ist auch das „ozonreiche“ Jahr 2003, das aufgrund des heißen, trockenen Sommers außergewöhnlich hohe Ozonwerte aufwies (Abb. 3.3-19).

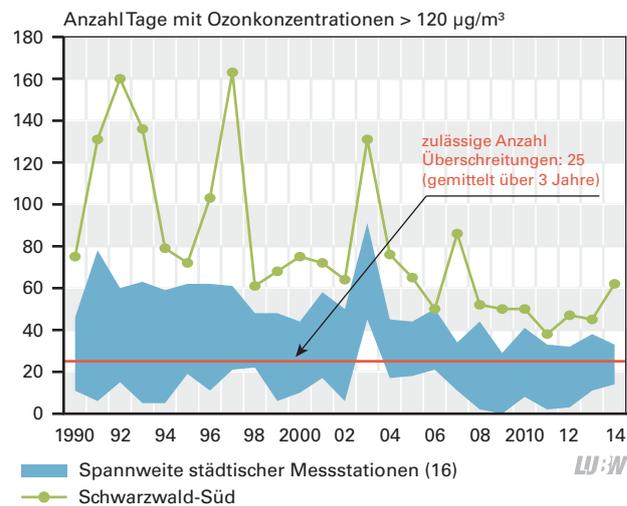


Abb. 3.3-19: Entwicklung der Immissionsbelastung durch Ozon in Baden-Württemberg.

### 3.3.4 Benzol

Benzol (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) ist der einfachste aromatische Kohlenwasserstoff. Die Flüssigkeit hat einen charakteristischen Geruch und tritt leicht in die Gasphase über. Die Aufnahme in den menschlichen Körper erfolgt über die Atemwege. Benzol ist toxisch, jedoch spielen toxische Effekte in den in der Außenluft auftretenden Konzentrationsbereichen nur eine untergeordnete Rolle. Relevant ist die kanzerogene und erbgutschädigende Wirkung von Benzol bei längerer Exposition.

#### Emissionen

Hauptemissionsquellen von Benzol sind die Verbrennung von Benzin in Kraftfahrzeugen, Verdunstungsverluste beim Betanken und bei Heiß-/Warmabstellvorgängen aus den Motoren sowie Freisetzungen bei der industriellen Produktion. Aufgrund der Reduzierung des zulässigen Benzolgehalts in Benzin sowie der Einführung wirksamer Gasrückführungssysteme in Tankanlagen sind die Benzolfreisetzungen rückläufig. Eine weitere Quelle sind Holzfeuerungsanlagen.

Die Gesamtemissionen von 987 t im Jahr 2012 stammten zu 70 % aus dem Verkehr, davon etwa 98 % von Pkw und Krafträdern. 26 % wurden von kleinen und mittleren Feuerungsanlagen emittiert, davon 98 % von Holzfeuerungsanlagen (Abb. 3.3-20). Durch die Begrenzung des Benzolgehalts im Ottokraftstoff auf 1 Vol.-% seit dem 1. Januar 2000 (10. BImSchV) und der allgemeinen Verbreitung von Kraftfahrzeugen mit geregelter Katalysator haben die

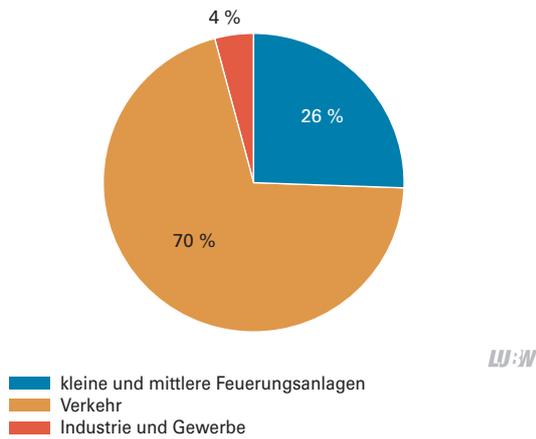


Abb. 3.3-20: Verteilung der Benzolemissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg im Jahr 2012 [LUBW 2015].

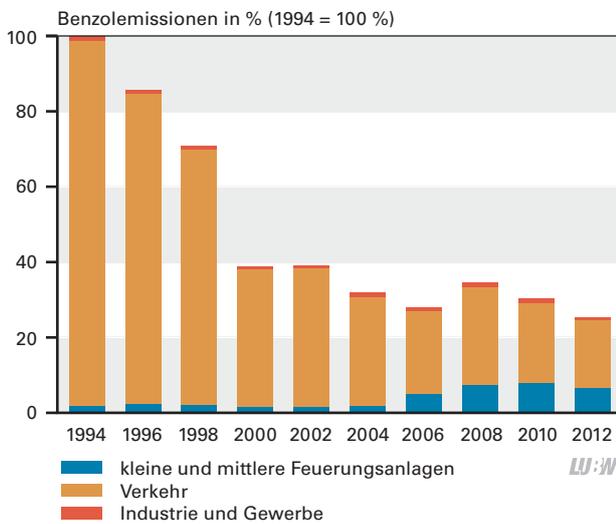


Abb. 3.3-21: Entwicklung der Benzolemissionen in Baden-Württemberg (1994 = 100 %) [LUBW 2015].

Benzolemissionen des Verkehrs seit 1994 um 82 % abgenommen. Insgesamt verminderten sich in diesem Zeitraum die Benzolemissionen jedoch nur um 75 %. Grund hierfür ist die zunehmende Verwendung von Holz als Brennstoff in kleinen und mittleren Feuerungsanlagen, die seit 1994 fast zu einer Verdreifachung der Benzolemissionen aus dieser Quellengruppe geführt hat (Abb. 3.3-21).

### Immissionen

Tab. 3.3-5: Immissionswerte für Benzol gemäß der 39. BImSchV

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Immissionswert
Benzol		
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	Kalenderjahr	5 µg/m <sup>3</sup>

An allen Messstationen, sowohl im Luftmessnetz Baden-Württemberg als auch an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor, lagen die gemessenen Benzolkonzentrationen im Jahr 2014 unter dem Immissionsgrenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit von 5 µg/m<sup>3</sup> (Jahresmittelwert, Tab. 3.3-5) (Abb. 3.3-22).

Die Entwicklung der Immissionskonzentrationen von Benzol an den verkehrsnahen Messstationen Stuttgart Arnulf-Klett-Platz, Karlsruhe Reinhold-Frank-Straße und Mannheim Friedrichsring zeigt seit 1995 einen deutlichen Rückgang mit einem vor allem in den ersten zehn Jahren stark abnehmenden Trend der Benzolkonzentrationen (Abb. 3.3-23).

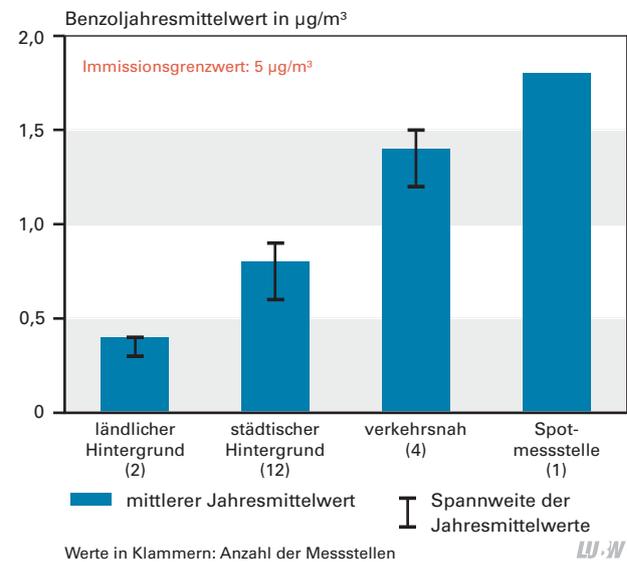


Abb. 3.3-22: Spannweiten der Jahresmittelwerte der Benzolkonzentrationen an den Messstationen des Luftmessnetzes (ländlich, städtisch, verkehrsnah) und der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor in Baden-Württemberg im Jahr 2014.

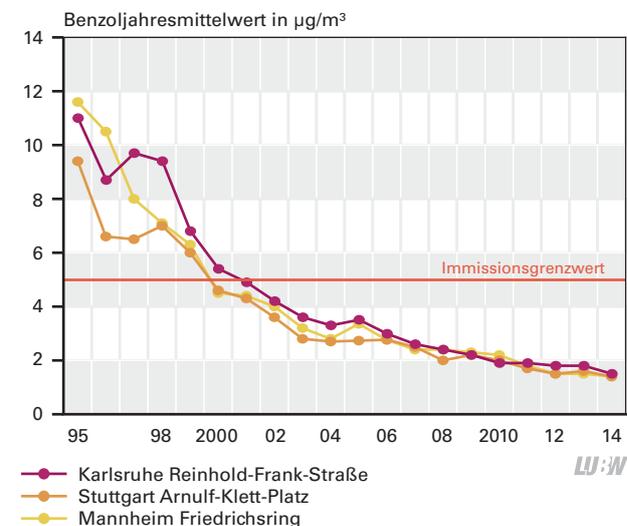


Abb. 3.3-23: Entwicklung der Immissionsbelastung durch Benzol an den verkehrsnahen Messstationen Stuttgart Arnulf-Klett-Platz, Karlsruhe Reinhold-Frank-Straße und Mannheim Friedrichsring.

### 3.3.5 Kohlenmonoxid

Kohlenmonoxid (CO) ist ein geruchloses, brennbares und wasserlösliches Gas und entsteht bei der unvollständigen Verbrennung kohlenstoffhaltiger Brennstoffe. Einer der Hauptemittenten ist der Verkehr. Kohlenmonoxid wirkt in höheren Konzentrationen giftig, indem es den Sauerstofftransport im Blut blockiert. Akute Vergiftungserscheinungen treten vor allem in geschlossenen Räumen mit laufenden Verbrennungsmotoren (z. B. Garagen) auf. In der Außenluft lassen sich üblicherweise nur relativ niedrige Konzentrationen nachweisen, welche sich jedoch bei längerer Exposition ebenfalls belastend auf den Menschen, insbesondere auf empfindliche Bevölkerungsgruppen wie ältere Menschen, Schwangere, Kinder oder Menschen mit Vorerkrankungen des Herz-Kreislaufsystems, auswirken können.

#### Emissionen

Die Kohlenmonoxidemissionen von 270 000 t im Jahr 2012 wurden zu 44 % vom Verkehr und zu 36 % von kleinen und mittleren Feuerungsanlagen verursacht (Abb. 3.3-24). Durch die weitgehende Ausrüstung der Benzinfahrzeuge mit einem geregelten Katalysator sanken die Kohlenmonoxidemissionen des Verkehrs im Zeitraum 1994 bis 2012 um 79 %, während die Kohlenmonoxidemissionen insgesamt um 64 % abnahmen (Abb. 3.3-25).

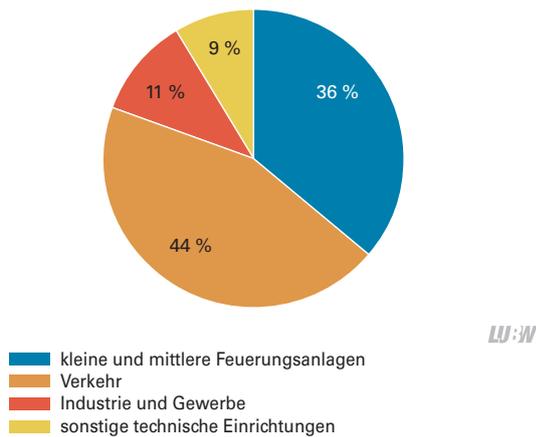


Abb. 3.3-24: Verteilung der Kohlenmonoxidemissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg im Jahr 2012 [LUBW 2015].

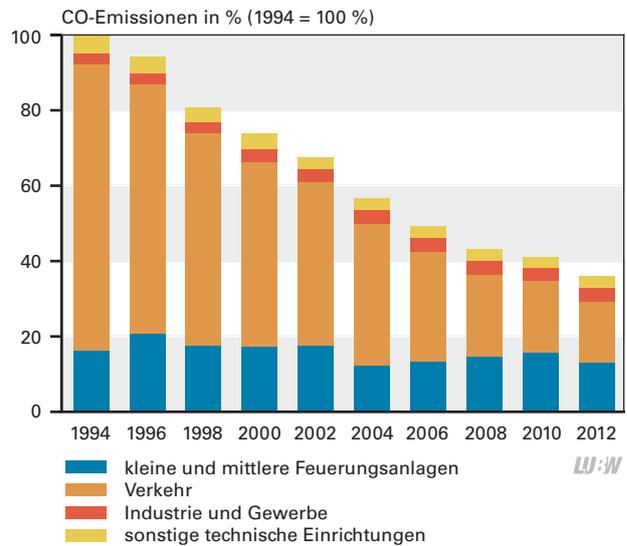


Abb. 3.3-25: Entwicklung der Kohlenmonoxidemissionen in Baden-Württemberg (1994 = 100 %) [LUBW 2015].

#### Immissionen

Tab. 3.3-6: Immissionswerte für Kohlenmonoxid gemäß der 39. BImSchV

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Immissionswert
Kohlenmonoxid		
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	8 Stunden*	10 mg/m <sup>3</sup>

\*höchster 8-Stundenmittelwert eines Tages

An allen Kohlenmonoxid erfassenden Messstationen des Luftmessnetzes (städtische und verkehrsnahen Messstationen) wurde im Jahr 2014 der Immissionsgrenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit von 10 Milligramm pro Kubikmeter (mg/m<sup>3</sup>) (maximaler 8-Stundenmittelwert eines Tages, Tab. 3.3-6) weit unterschritten (Abb. 3.3-26).

Die Entwicklung der Immissionskonzentrationen von Kohlenmonoxid an den verkehrsnahen Messstationen Stuttgart Arnulf-Klett-Platz, Karlsruhe Reinhold-Frank-Straße und Mannheim Friedrichsring zeigt seit 1995 einen stark abnehmenden Trend. Für die letzten Jahre konnten relativ konstante Jahresmittelwerte festgestellt werden (Abb. 3.3-27).

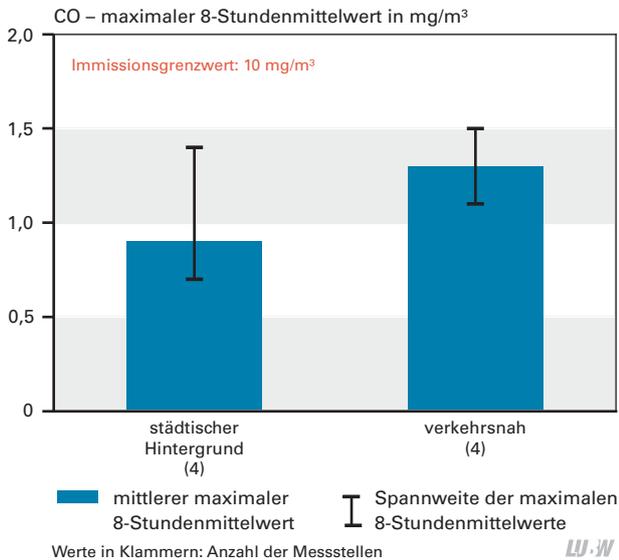


Abb. 3.3-26: Spannweiten der maximalen 8-Stundenmittelwerte der Kohlenmonoxidkonzentrationen an den Messstationen des Luftmessnetzes (städtisch, verkehrsnahe) in Baden-Württemberg im Jahr 2014.

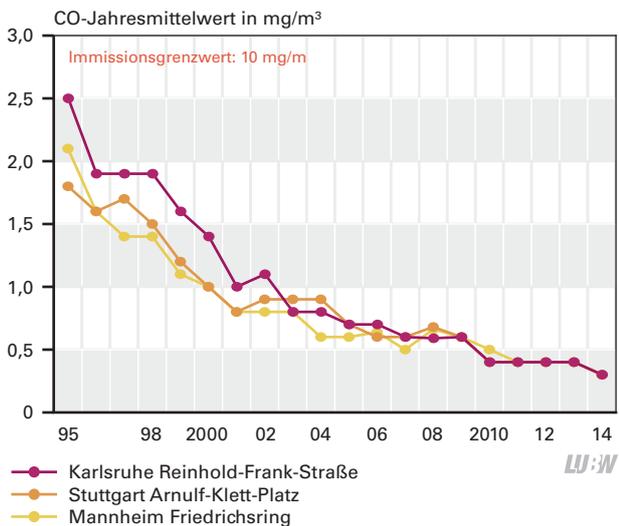


Abb. 3.3-27: Entwicklung der Immissionsbelastung durch Kohlenmonoxid an den verkehrsnahe Messstationen Stuttgart Arnulf-Klett-Platz, Karlsruhe Reinhold-Frank-Straße und Mannheim Friedrichsring.

### 3.3.6 Ammoniak

Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) ist ein wasserlösliches, stechend riechendes Gas. In der Natur entsteht Ammoniak bei der mikrobiellen Zersetzung stickstoffhaltiger organischer Materie (Pflanzenreste, tierische Exkremente). Ammoniak wirkt reizend auf Augen, Schleimhäute und den Atemtrakt. Es wird in der Atmosphäre schnell umgesetzt und wirkt daher nur in unmittelbarer Emittentennähe. Ein größerer Teil des Ammoniaks wird in der Atmosphäre zu Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) bzw. seinen Salzen Ammoniumsulfat ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) und Ammoniumnitrat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) umgewandelt, die über weite

Strecken transportiert werden können [LUBW 2008]. Diese sekundär gebildeten Aerosole tragen mit zur Partikelbelastung und durch ihre versauernde und eutrophierende Wirkung auch zur Gefährdung empfindlicher Ökosysteme bei.

### Emissionen

Für Ammoniak sind in der 39. BImSchV für Deutschland Emissionshöchstmengen von 550 Kilotonnen pro Jahr (kt/a) festgelegt, die seit 2011 einzuhalten sind.

Ammoniak stammte im Jahr 2012 zu 94 % aus der Quellengruppe biogene Systeme, insbesondere aus landwirtschaftlichen Tätigkeiten wie Nutztierhaltung sowie aus Böden und Pflanzen (Abb. 3.3-28). Die Ammoniakemissionen, die als Nebenprodukt im geregelten Dreiwegekatalysator bei Benzinfahrzeugen oder über moderne Abgasnachbehandlungssysteme von Dieselfahrzeugen (SCR-Systeme mit AdBlue-Eindüsung) entstehen, machten im Jahr 2012 einen Anteil von 5 % aus. Die Emissionen von Ammoniak in Baden-Württemberg betragen im Jahr 2012 insgesamt 44 kt.

Als Schwerpunkte der Ammoniakemissionen sind in Baden-Württemberg die Gebiete mit hohem Viehbestand wie die Regionen Hohenlohe, Ostalb und Oberschwaben zu nennen. Von 1994 bis 2012 sind die Ammoniakemissionen um 25 % gesunken (Abb. 3.3-29). Ausschlaggebend hierfür war die deutliche Abnahme der Rinderbestände und die Änderungen der Emissionsfaktoren [StALa 2013]. Weiterhin trägt die Anwendung der guten fachlichen Praxis gemäß der Düngerverordnung (DüV) zur Reduktion der Emissionen bei. Dagegen stiegen die Ammoniakemissionen durch den Straßenverkehr im gleichen Zeitraum auf das 2,4-fache an.

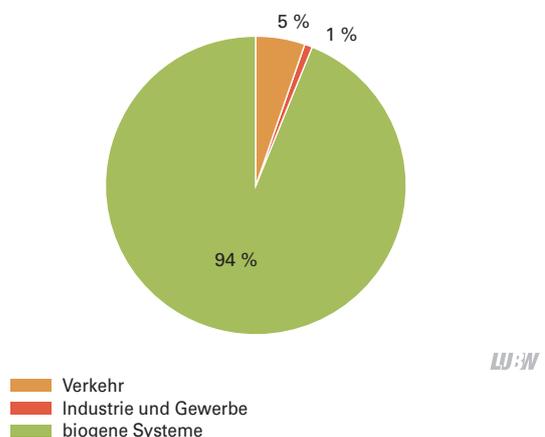


Abb. 3.3-28: Verteilung der Ammoniakemissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg im Jahr 2012 [LUBW 2015].

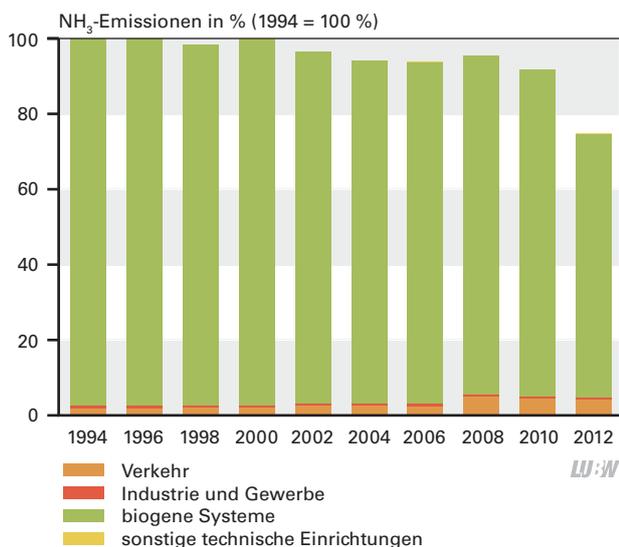


Abb. 3.3-29: Entwicklung der Ammoniakemissionen in Baden-Württemberg (1994 = 100 %) [LUBW 2015].

### Immissionen

Seit 2007 wird an 19 Standorten in Baden-Württemberg die Ammoniakkonzentration ermittelt. Die Höhe der Ammoniakkonzentration ist durch die Emittenten der Umgebung geprägt. Die Messungen finden fern von direkten Emittenten sowohl im landwirtschaftlich und industriell geprägten Umfeld als auch in naturnaher Umgebung statt (Abb. 3.3-30). Diese emittentfernen Messungen ermöglichen eine Bewertung der Ammoniakvorbelastung für das jeweilige Umfeld.

Bei den städtisch- und verkehrsgeprägten Standorten werden die Ammoniakimmissionen direkt am Straßenrand

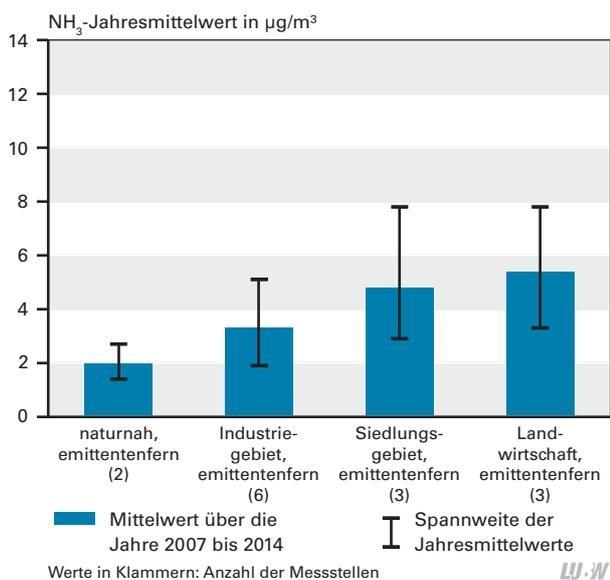


Abb. 3.3-30: Spannweiten der Jahresmittelwerte der Ammoniakkonzentrationen an emittentfernen Standorten in Baden-Württemberg über die Jahre 2007 bis 2014.

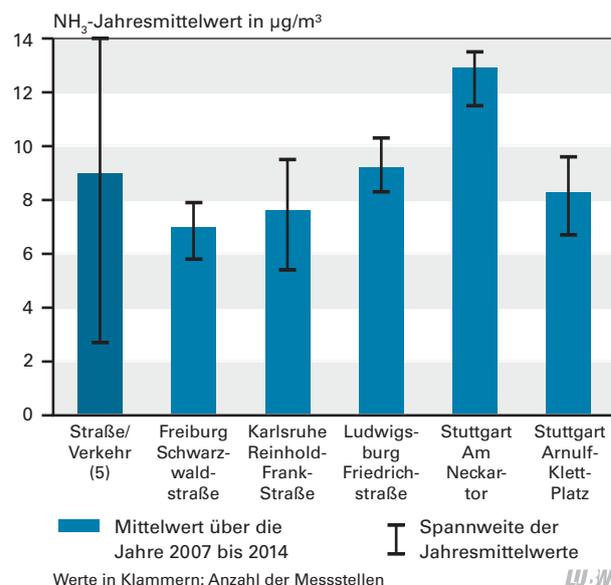


Abb. 3.3-31: Spannweiten der Jahresmittelwerte der Ammoniakkonzentrationen an emittentennahen Standorten in Baden-Württemberg über die Jahre 2007 bis 2014.

(emittentennah) erfasst. Diese Ergebnisse spiegeln somit die Immissionssituation in unmittelbarer Verkehrsnähe wider (Abb. 3.3-31). In direkter Nähe von Landwirtschaftsbetrieben (Tierhaltung) können Ammoniakkonzentrationen von weit mehr als 30 µg/m<sup>3</sup> gemessen werden [LUBW 2008].

### 3.3.7 Schwefeldioxid

Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) reizt die Schleimhäute und die Atemwege. Die Kombination von Schwefeldioxid und Stäuben verstärkt die negative Wirkung auf die Gesundheit erheblich. Des Weiteren schädigt Schwefeldioxid Pflanzen; insbesondere Nadelhölzer, Moose und Flechten reagieren empfindlich auf erhöhte Schwefeldioxidkonzentrationen in der Luft.

Der Abbau von Schwefeldioxid in der Atmosphäre erfolgt durch Oxidation zu Schwefelsäure, die als Niederschlag ausgetragen wird. Schwefeldioxid trägt damit zur Versauerung von Böden und Gewässern sowie zu säurebedingten Korrosions- und Verwitterungsschäden an Metallen und Gestein, z. B. an Gebäuden, bei.

### Emissionen

Schwefeldioxidemissionen entstehen bei der Verbrennung schwefelhaltiger Brennstoffe, insbesondere von Kohle und Heizöl. Im Jahr 2012 wurden in Baden-Württemberg 17 100 t Schwefeldioxid emittiert, davon 95 % durch Kraftwerke und Industrief Feuerungen sowie 4 % durch kleine und mittlere Feuerungsanlagen (Abb. 3.3-32).



Abb. 3.3-32: Verteilung der Schwefeldioxidemissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg im Jahr 2012 [LUBW 2015].

Insgesamt nahmen die Emissionen von Schwefeldioxid zwischen 1994 und 2012 um 71 % ab. Den stärksten Rückgang der Schwefeldioxidemissionen gab es bereits Ende der 1980er-Jahre, vor allem durch die Abgasentschwefelung bei Kraftwerken und Industriefeuerungen. Seit 1994 sind die Emissionen von Schwefeldioxid bei dieser Emissionengruppe nochmals um 49 % gesunken. Auch bei den kleinen und mittleren Feuerungsanlagen hat sich der Rückgang der Emissionen um 95 % durch die Reduzierung des Schwefelgehalts des leichten Heizöls von maximal 0,20 % auf jetzt noch 0,005 % stark auf die Emissionen ausgewirkt. Besonders groß ist der Rückgang der Emissionen um 98 % beim Verkehr durch Einsatz von schwefelfreiem Dieseldieselkraftstoff (max. 10 mg Schwefel je kg Dieseldieselkraftstoff), so dass dieser kaum noch zur Schwefeldioxidemission beiträgt (Abb. 3.3-33).

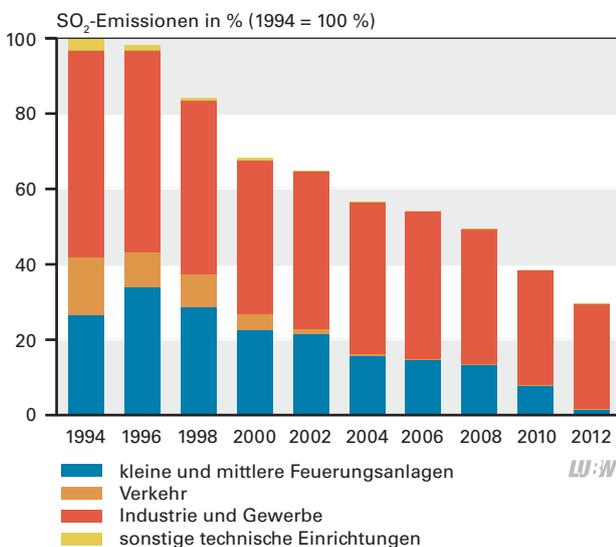


Abb. 3.3-33: Entwicklung der Schwefeldioxidemissionen in Baden-Württemberg (1994 = 100 %) [LUBW 2015].

## Immissionen

Tab. 3.3-7: Immissionswerte für Schwefeldioxid gemäß der 39. BImSchV

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Immissionswert	zulässige Anzahl Überschreitungen
<b>Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)</b>			
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	1 Stunde	350 µg/m <sup>3</sup>	24 im Kalenderjahr
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	1 Tag	125 µg/m <sup>3</sup>	3 im Kalenderjahr
menschliche Gesundheit (Alarmschwelle)	1 Stunde*	500 µg/m <sup>3</sup>	—
Vegetation (kritischer Wert)	Kalenderjahr	20 µg/m <sup>3</sup>	—

\*gemessen in drei aufeinander folgenden Stunden

Die Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit von 350 µg/m<sup>3</sup> (1-Stundenmittelwert) und 125 µg/m<sup>3</sup> (Tagesmittelwert) sowie der kritische Wert zum Schutz der Ökosysteme von 20 µg/m<sup>3</sup> (Jahresmittelwert) (Tab. 3.3-7) wurden im Jahr 2014 an allen Schwefeldioxid erfassenden Messstationen des Luftmessnetzes Baden-Württemberg weit unterschritten (Abb. 3.3-34, 3.3-35, 3.3-36). Lediglich für die städtische Messstation Mannheim-Nord wurde einmalig ein maximaler 1-Stundenmittelwert von 381 µg/m<sup>3</sup> gemessen. Bei zugelassenen 24 Überschreitungen des 1-Stundenmittelwertes von 350 µg/m<sup>3</sup>

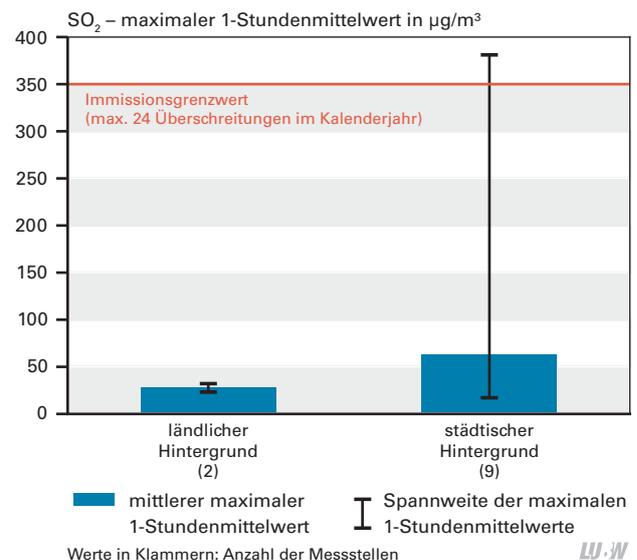


Abb. 3.3-34: Spannweiten der maximalen 1-Stundenmittelwerte der Schwefeldioxidkonzentrationen an den Messstationen des Luftmessnetzes (ländlich, städtisch) in Baden-Württemberg im Jahr 2014.

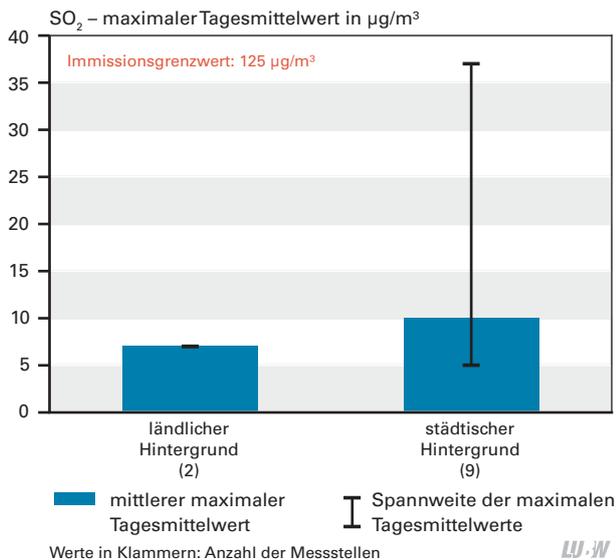


Abb. 3.3-35: Spannweiten der maximalen Tagesmittelwerte der Schwefeldioxidkonzentrationen an den Messstationen des Luftmessnetzes (ländlich, städtisch) in Baden-Württemberg im Jahr 2014.

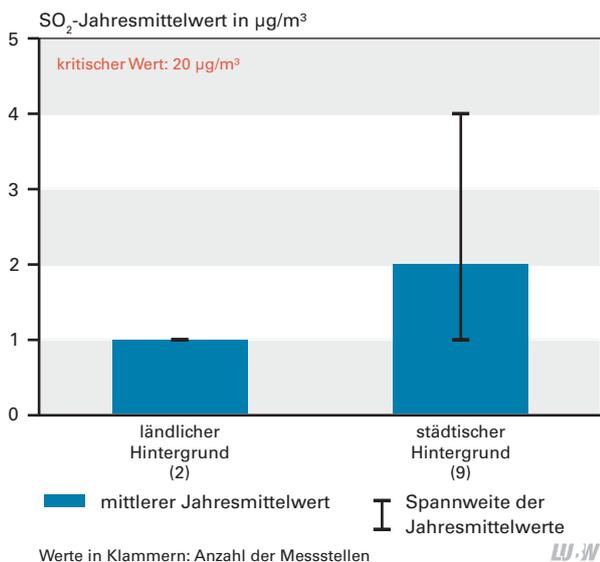


Abb. 3.3-36: Spannweiten der Jahresmittelwerte der Schwefeldioxidkonzentrationen an den Messstationen des Luftmessnetzes (ländlich, städtisch) in Baden-Württemberg im Jahr 2014.

pro Kalenderjahr wurde dennoch der Immissionsgrenzwert eingehalten.

Die Entwicklung der Immissionsbelastung durch Schwefeldioxid in Baden-Württemberg ist seit den 1990er-Jahren stark rückläufig und verdeutlicht die Erfolge der Luftreinhaltepolitik bei der Reduktion der Schwefeldioxidemissionen vor allem bei den Kraftwerken und der Industrie (Abb. 3.3-37). Insbesondere bei den städtischen Messstationen (Mittelwert aus neun Messstationen) ist eine deutliche Verbesserung der Luftqualität eingetreten. Auch an der ländlichen Messstation Schwarzwald-Süd ist die Immis-

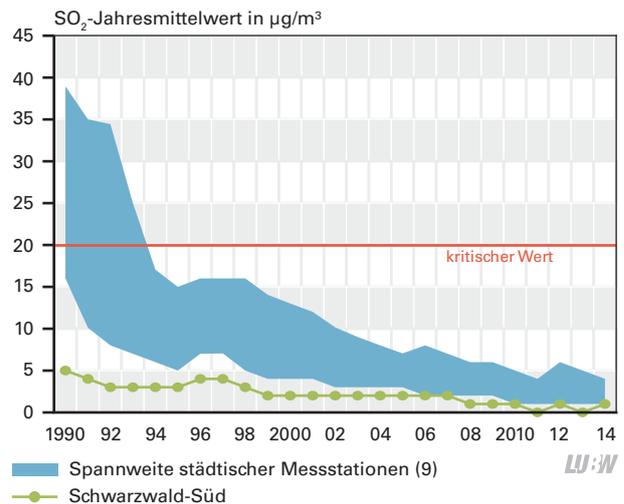


Abb. 3.3-37: Entwicklung der Immissionsbelastung durch Schwefeldioxid in Baden-Württemberg.

sionsbelastung durch Schwefeldioxid heute nur noch sehr gering. An den verkehrsnahen Messstationen werden in der Regel keine Messungen von Schwefeldioxid durchgeführt.

### 3.3.8 Benzo[a]pyren in der Partikelfraktion PM<sub>10</sub>

Benzo[a]pyren (BaP) gehört zur Gruppe der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK). Zur Gruppe der PAK gehören mehrere Hundert Einzelverbindungen. PAK reichern sich in der Umwelt an und werden kaum abgebaut. Sie lassen sich ubiquitär nachweisen. PAK sind toxisch, einige PAK sind kanzerogen und stehen im Verdacht, frucht- und erbgutschädigend zu sein. Benzo[a]pyren wird als Leitsubstanz für die Gruppe der PAK herangezogen.

#### Emissionen

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe werden überwiegend durch Verbrennungsprozesse in Feuerungsanlagen verursacht. Im Jahr 2012 wurden in Baden-Württemberg insgesamt 1 046 kg Benzo[a]pyren emittiert. Hauptverursacher für die BaP-Freisetzung war mit 47 % die Quellengruppe kleine und mittlere Feuerungsanlagen, gefolgt von der Quellengruppe sonstige technische Einrichtungen mit einem Anteil von 44 % an den Gesamtemissionen. Seit dem Jahr 2000 haben sich die Emissionen von Benzo[a]pyren in etwa halbiert.

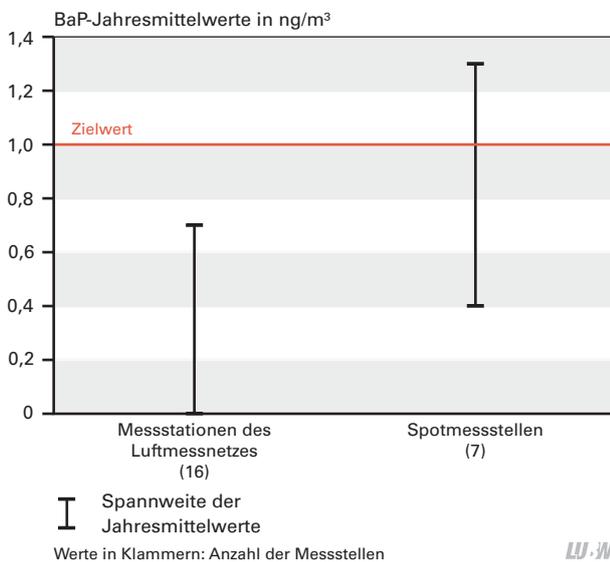
## Immissionen

Tab. 3.3-8: Immissionswerte für Benzo[a]pyren gemäß der 39. BImSchV

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Immissionswert
Benzo[a]pyren (BaP)		
menschliche Gesundheit (Zielwert)	Kalenderjahr	1 ng/m <sup>3</sup>

LUBW

Der Zielwert der BaP-Konzentration (Tab. 3.3-8) wurde im Jahr 2014 unter Berücksichtigung der Rundungsregel an allen Messstationen des Luftmessnetzes und allen Spotmessstellen eingehalten (Abb. 3.3-38). Der an der Spotmessstelle Tübingen Jesinger Hauptstraße gemessene Jahresmittelwert von 1,3 ng/m<sup>3</sup> gibt jedoch Anlass zu weiteren Anstrengungen.



LUBW

Abb. 3.3-38: Spannweiten der Jahresmittelwerte der Benzo[a]pyren-Konzentrationen an den Messstationen des Luftmessnetzes (ländlich, städtisch, verkehrsnah) und den Spotmessstellen in Baden-Württemberg im Jahr 2014.

### 3.3.9 Schwermetalle

Arsen, Blei, Cadmium und Nickel als Inhaltsstoffe der Staubfraktion Partikel PM<sub>10</sub> werden im Allgemeinen unter dem Begriff „Schwermetalle“ zusammengefasst. Während reines elementares Arsen nicht giftig ist, weisen die dreiwertigen, löslichen Arsenverbindungen ein hohes akut toxisches Potenzial auf. Bei den anderen Schwermetallen haben weniger akut toxische Effekte Bedeutung für gesundheitliche Beeinträchtigungen als vielmehr die Akkumulation im Körper aufgrund langjähriger Exposition und inhalativer oder oraler Aufnahme. So kann Blei u. a. zu Nierenfunktionsstörungen, zu Schäden des blutbildenden

Systems und der Muskulatur sowie des Nervensystems führen. Zudem kann es fruchtschädigend wirken und die Zeugungsfähigkeit beeinträchtigen. Cadmium kann u. a. den Eiweiß- und Kohlenhydratstoffwechsel stören sowie Knochenschäden und Erkrankungen des Immun- und Nervensystems verursachen. Bestimmte Cadmiumverbindungen sind kanzerogen und erbgutschädigend. Nickel ist ein häufiger Auslöser für Kontaktallergien und kann u. a. die Lunge und das Immunsystem schädigen. Es wirkt außerdem fruchtschädigend. Nickelstäube stehen ferner im Verdacht, kanzerogen zu sein.

## Emissionen

Während Blei bis zum Verbot bleihaltiger Zusätze in Kraftstoffen hauptsächlich durch den Verkehr freigesetzt wurde, sind die Hauptquellen atmosphärischer Emissionen von Cadmium, Nickel und Arsen die Verbrennung von Öl und Kohle in Feuerungsanlagen. 2012 wurden in Baden-Württemberg 3 957 kg Blei, 243 kg Cadmium, 1 218 kg Nickel sowie 273 kg Arsen freigesetzt.

## Immissionen

Tab. 3.3-9: Immissionswerte für Schwermetalle in der Partikelfraktion PM<sub>10</sub> gemäß der 39. BImSchV

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Immissionswert
Arsen		
menschliche Gesundheit (Zielwert)	Kalenderjahr	6 ng/m <sup>3</sup>
Blei		
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	Kalenderjahr	0,5 µg/m <sup>3</sup>
Cadmium		
menschliche Gesundheit (Zielwert)	Kalenderjahr	5 ng/m <sup>3</sup>
Nickel		
menschliche Gesundheit (Zielwert)	Kalenderjahr	20 ng/m <sup>3</sup>

LUBW

Im Jahr 2014 wurden Schwermetalle in der Partikelfraktion PM<sub>10</sub> an zwölf Stationen des Luftmessnetzes und an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor gemessen. Die Zielwerte bzw. der Immissionsgrenzwert für Blei (Tab. 3.3-9) wurden an allen Messstationen weit unterschritten (Abb. 3.3-39).

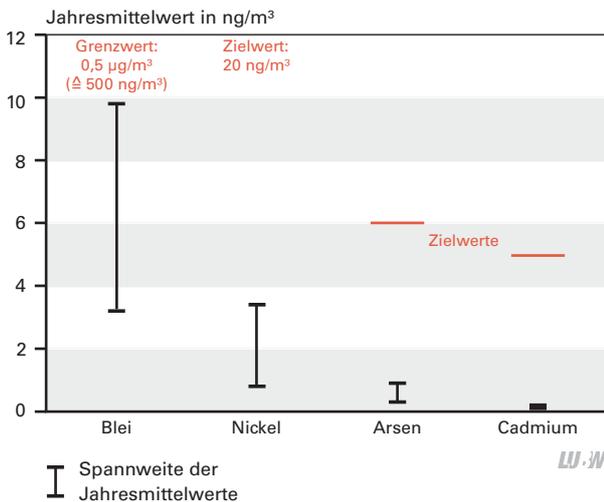


Abb. 3.3-39: Spannweiten der Jahresmittelwerte der Schwermetallgehalte in der Partikelfraktion PM<sub>10</sub> an den Messstationen des Luftmessnetzes (städtisch, verkehrsnah) und der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor in Baden-Württemberg im Jahr 2014.

### 3.4 Depositionen

Die in die Atmosphäre eingebrachten Luftschadstoffe werden durch trockene, feuchte und nasse Deposition (Ablagerung) wieder aus der Atmosphäre entfernt. Dies reinigt einerseits die Atmosphäre, andererseits können diese Depositionen zu einer Belastung für Pflanzen, Böden und Gewässer führen. Als nasse Deposition wird der Stoffeintrag über Niederschläge wie Regen, Hagel oder Schnee bezeichnet. Bei der feuchten Deposition, z. B. über Nebel oder Tau, und der trockenen Deposition (trockene Partikel, Gase) hängen die Stoffeinträge überwiegend von Größe und Struktur der beaufschlagten Oberfläche ab. Bei Bäumen bilden die Blätter und Nadeln eine große Oberfläche mit unterschiedlicher Rauheit, d. h. der Depositionswiderstand ist hier recht hoch und die luftgetragenen Schadstoffe lagern sich vermehrt ab (Auskämmereffekt).

Stoffe wie Schwefeldioxid, Stickstoffoxide oder Ammoniak können sich sowohl direkt am Ort der Emission als auch in weit entfernten Regionen ablagern und dort zur Eutrophierung und Versauerung von Ökosystemen beitragen. Das Depositionsmessnetz dient dazu, diese Vorgänge zu überwachen. Langfristig sollen insbesondere die empfindlichen Ökosysteme vor zu hohen Stickstoff- und Säureeinträgen geschützt werden (BImSchG).

#### 3.4.1 Staub-, Sulfat- und Nitrateinträge

Tab. 3.4-1: Immissionswert für Staubbiederschlag zum Schutz vor erheblichen Belästigungen oder erheblichen Nachteilen gemäß der TA Luft

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Immissionswert
Staubbiederschlag	Kalenderjahr	0,35 g/(m <sup>2</sup> -d)

LUBW

Für die Untersuchung des langjährigen Trends wurden an 23 Standorten die Staubbiederschläge und an 18 Standorten die Sulfateinträge bestimmt (vgl. Abb. 3.2-2). Für die Auswertung werden einzelne Standorte aus bestimmten Regionen (Städte, Schwarzwald, Oberschwaben, Schwäbische Alb) dargestellt. Diese Regionen unterscheiden sich z. B. hinsichtlich ihres Emissionspotenzials, ihrer Niederschlagsmenge und ihres Vegetationsspektrums. Der Schwarzwald (Schauinsland) und Oberschwaben (Isny) zählen zu den niederschlagsreichen Regionen und damit zu den Gebieten mit potenziell höheren nassen Depositionen. Die Schwäbische Alb sowie der Schwarzwald stehen für eine naturnahe Umgebung ohne direkten Emittenteneinfluss. Der Standort Mannheim-Nord steht für eine hohe Industrie- und Verkehrsdichte und damit für ein höheres Emissions- und Eintragspotenzial. Die Standortvegetation und die damit verbundene unterschiedliche Oberflächenstruktur beeinflusst ebenfalls das Eintragspotenzial.

Beim Staub (Abb. 3.4-1) lagen im Jahr 2014 die Einträge in einem Wertebereich zwischen 0,02 Gramm pro Quadrat-

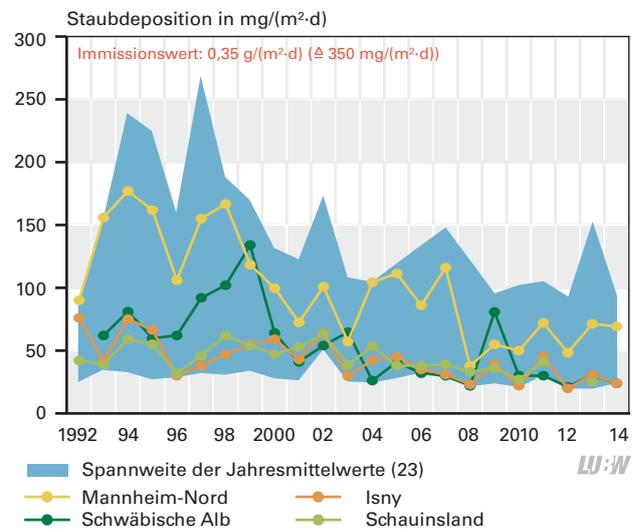


Abb. 3.4-1: Entwicklung des Staubbiederschlags an den Standorten des Depositionsmessnetzes Baden-Württemberg.

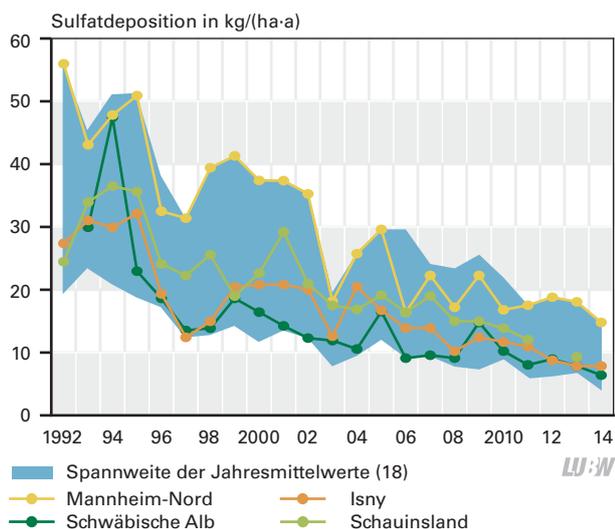


Abb. 3.4-2: Entwicklung der Sulfateinträge an den Standorten des Depositionsmessnetzes Baden-Württemberg.

meter und Tag ( $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ) und  $0,09 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  und damit deutlich unter dem Immissionswert von  $0,35 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  (Tab. 3.4-1). Seit Beginn der Messungen ist der Trend bei den Staubeinträgen leicht abnehmend. In den Städten liegen die höchsten Staubeinträge vor.

Die Sulfateinträge (Abb. 3.4-2) sind seit 1992 deutlich zurückgegangen und liegen seit 2011 unter 20 Kilogramm pro Hektar und Jahr ( $\text{kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ ) und für 2014 zwischen 4 und  $15 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ . Die höchsten Sulfateinträge verzeichnen die Städte und der Schwarzwald. Die Schwefeldioxidfreisetzung, verursacht durch Verbrennung schwefelhaltiger Energieträger, bedingt in den Städten höhere Sulfateinträge. Dagegen können im Schwarzwald die höheren Niederschläge, der Auskämmeffekt und der Ferntransport Gründe für höhere Einträge sein.

Nitratdepositionen wurden im Jahr 2014 an 23 Standorten des Depositionsmessnetzes erfasst. Sie lagen in einem breiten Wertebereich zwischen  $3,3$  und  $22 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ .

### 3.4.2 Schwermetalleinträge

Tab. 3.4-2: Immissionswerte für Schadstoffdepositionen gemäß der TA Luft

Stoffgruppe	Mittelungszeitraum	Immissionswert
Arsen und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Arsen	Kalenderjahr	$4 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
Blei und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Blei	Kalenderjahr	$100 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
Cadmium und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Cadmium	Kalenderjahr	$2 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
Nickel und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Nickel	Kalenderjahr	$15 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
Quecksilber und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Quecksilber	Kalenderjahr	$1 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
Thallium und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Thallium	Kalenderjahr	$2 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

LUBW

In Baden-Württemberg werden seit dem Jahr 2007 an zehn Standorten die Depositionen von Schwermetallen gemessen. Zusätzlich zu den Schwermetallen Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd) und Nickel (Ni), die auch in der Partikelfraktion  $\text{PM}_{10}$  überwacht werden (vgl. Kap. 3.3.9), wird im Staubbiederschlag auch das Schwermetall Antimon (Sb) bestimmt. Dieses stammt aus dem Abrieb von Bremsbelägen. Darüber hinaus werden an sechs Standorten die Quecksilbereinträge (Hg) erfasst. Quecksilber kann das Nervensystem und die Fruchtbarkeit beeinträchtigen sowie Gehirnfunktionen und Erbinformation schädigen. Es wird hauptsächlich beim Verbrennen von Kohle, bei der Abfallverbrennung, beim Einschmelzen von Metallschrott oder bei der Zementherstellung freigesetzt. Im Jahr 2012 wurden in Baden-Württemberg insgesamt  $654 \text{ kg}$  Quecksilber emittiert. Thallium wird heute nicht mehr erfasst, da sich die Emissionssituation durch technische Maßnahmen im Abluftbereich bei der Zementherstellung deutlich gebessert hat, so dass die Thalliuminträge heute im Bereich der Nachweisgrenze liegen.

Die mittleren jährlichen Schwermetalldepositionen für die Jahre 2007 bis 2014 (Abb. 3.4-3) lagen bei den gemessenen Stoffen (Arsen, Cadmium, Blei, Nickel, Quecksilber und Antimon) weit unterhalb der entsprechenden Immissionswerte (Tab. 3.4-2). Die höchsten Schwermetalleinträge fanden in den städtisch bzw. industriell (z. B. Kehl Kinzigallee) geprägten Gebieten statt, wobei die vorgegebenen



# 4 Boden

## Das Wichtigste in Kürze

Im Zusammenhang mit dem **Moorkataster** wurden weitere, zuvor nicht erfasste Moore insbesondere im südlichen Schwarzwald kartiert. Die Analytik der **Bodendauerbeobachtung** umfasst seit der letzten Beprobungskampagne erstmals die **Elemente Uran, Cobalt, Antimon, Beryllium, Selen und Mangan**, für die nun vorläufige **Hintergrundwerte** erhoben wurden. In drei Landkreisen im Süden des Landes mit geogen, also in der Erde entstandenen erhöhten Schwermetall- und Arsengehalten, werden Analysen durchgeführt, um daraus **gebietsbezogene Beurteilungswerte** für Regionen mit Spurenstoffgehalten im Boden abzuleiten, die über dem landesweiten Hintergrund liegen.

Aktuell werden 17 380 altlastverdächtige Flächen und **Altlasten** im Kataster geführt. Landesweite Auswertungen des Bodenschutz- und Altlastenkatasters zeigen, dass in den letzten drei Jahren bei rund 2 200 Flächen der Verdacht auf Vorliegen einer Altlast entweder ausgeräumt oder bestätigt werden konnte.

Im Jahr 2014 wurde die **Bodenkarte** von Baden-Württemberg im Maßstab 1 : 50 000 (BK50) in einer landesweit flächendeckenden Version als ein Teil des Projekts „Integrierte Geowissenschaftliche Landesaufnahme (GeoLa)“ fertiggestellt.

## 4.1 Moore

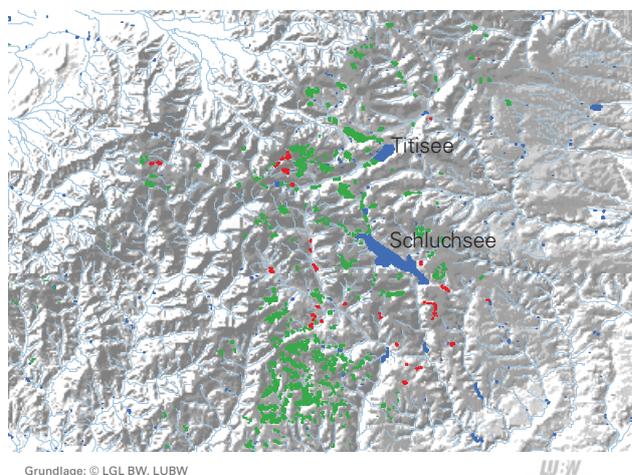
Moore und organische Böden stellen einen bedeutenden Speicher für biogenen Kohlenstoff dar. Anders als die Bodenentwicklung aus mineralischem Gestein, bilden sich Moore aus den Abbauresten von abgestorbenen moortypischen Pflanzen. Sie bestehen aus mindestens 30 cm, häufig aber mehrere Meter mächtigen Humushorizonten mit wenigstens 30 % – meist jedoch wesentlich mehr – organischer Substanz. Nährstoffarmut und ein kühles, nasses Klima hemmen darüber hinaus die Zersetzung der Biomasse und fördern die Moorbildung.

Aufgrund ihrer Funktion als Kohlendioxid-speicher bzw. -quelle spielen Moore und Böden mit einem hohen Gehalt an organischer Substanz eine bedeutende Rolle im CO<sub>2</sub>-Haushalt. Solange Moore naturnah sind, werden sie als Kohlenstoffspeicher und damit klimaschützend, zumindest aber als klimaneutral beurteilt. Dagegen wird geschätzt, dass stark entwässerte Moore unter intensiver landwirtschaftlicher Nutzung jährlich etwa 5 % der bundesweiten Kohlendioxidemissionen verursachen. Gegenüber knapp 4 % auf Bundesebene ist der Anteil der Moorflächen an der Fläche Baden-Württembergs mit 1,3 % wesentlich geringer. Daher sind auch die anteiligen Kohlendioxidemissionen niedriger anzusetzen.

Moore kommen in Baden-Württemberg in Oberschwaben und im Allgäu sowie auf der Baar, im Schwarzwald und im Oberrheingraben häufig vor und werden im Moorkataster der LUBW dokumentiert ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Daten- und Kartendienst der LUBW > Navigator > Boden und

Geologie > Moorkataster). Umfangreiche Daten und Informationen werden in einer Datenbank vorgehalten. Kartiert werden die Moorflächen, die Torfzusammensetzung und die Schichtmächtigkeit ab 30 cm von Hochmooren, Niedermooren, überdeckten Mooren und teilweise auch von Anmooren (Grundwasserböden mit einem Gehalt an organischer Substanz von mindestens 15 % und einer Schichtmächtigkeit < 30 cm).

Nach der Auswertung der Bodenkarte BK50 und der Forstlichen Standortskartierung konnten gegenüber dem Stand 2012 noch weitere, zuvor nicht erfasste Moore, insbesondere im südlichen Schwarzwald kartiert werden (Abb. 4.1-1).



 Moore, Stand bis 2013  
 Nachkartierung von Mooren im Jahr 2014

Abb. 4.1-1: Ergänzung der Moorkartierung im Raum Schluchsee.

Die Bohrprofile erfassen außerdem die Schichtfolgen der Moore von der Oberfläche bis zum mineralischen Untergrund. Ausgewiesen werden die Schichten nach Lagerungsdichte, Zersetzungsgrad, Mächtigkeit und Torfzusammensetzung. Als Arbeitsergebnis enthält das Moorkataster heute ca. 50 000 ha Moor- und Anmoorflächen aus über 1 700 Mooren bzw. Moorgruppen.

Das Moorkataster bietet heute eine wichtige Datenbasis in der Klimaberichterstattung.

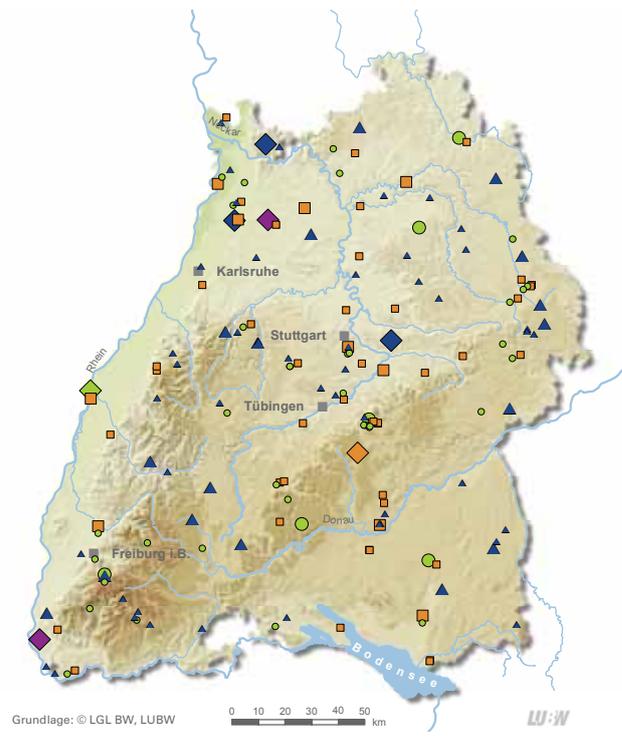
## 4.2 Bodendauerbeobachtung

Unverzichtbare Informationsgrundlage für den Bodenschutz ist die Bodendauerbeobachtung und der darauf aufbauende Betrieb von Bodeninformationssystemen. Beides ist in Baden-Württemberg durch das Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (LBodSchAG 2004) geregelt.

### 4.2.1 Konzeption, Standorte und Methoden

Die Bodendauerbeobachtung ist gesetzlicher Auftrag der LUBW. Sie ist gegliedert in ein Grundmessnetz, ein Basismessnetz und ein Intensivmessnetz (Abb. 4.2-1). Im Grundmessnetz mit 155 Standorten werden seit 1986 landesweite Werte für den Schadstoffhintergrund, d. h. für nicht spezifisch belastete Böden (ländlicher Raum) ermittelt [LfU 1994, LABO 2003]. Von den 155 Standorten des Grundmessnetzes werden 33 Messstellen auch im Basismessnetz geführt. An diesen Messstellen sind Wiederholungsuntersuchungen in Zeitabständen von etwa zehn Jahren vorgesehen. Die Bodennutzung wird als wesentlicher Einflussfaktor detailliert dokumentiert. Die Bodenuntersuchungen im Basismessnetz dienen dem Nachweis eventueller Bodenveränderungen im Hintergrundbereich.

Seit 1991 werden ergänzend Intensivmessstellen betrieben, 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 Ursachenanalysen und Prognosen künftiger Entwicklungen möglich. Die Intensivmessstellen sind jeweils speziellen Umweltthemen gewidmet, z. B. Straßenverkehr oder intensive Landwirtschaft, an denen sich spezifisch abgestimmte Untersuchungsprogramme wie Stoffflussmessungen orientieren.



Grundmessnetz	Basismessnetz	Intensivmessstellen
■ Acker	■ Acker	◆ Acker
● Grünland	● Grünland	◆ Grünland
▲ Wald	▲ Wald	◆ Wald
		◆ Erosionsmonitoring

Abb. 4.2-1: Lage der Messstellen zur Bodendauerbeobachtung. Stand: 2015

### 4.2.2 Ergebnisse der Bodendauerbeobachtung

Im Basismessnetz mit 33 Messstellen wurde im Zeitraum von 2007 bis 2014 eine Wiederholungsuntersuchung durchgeführt, bei der im anorganischen Stoffspektrum erstmals zusätzlich die Elemente Uran, Cobalt, Antimon, Beryllium, Selen und Mangan analysiert wurden. Im Zusammenhang mit der Novellierung der Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) wird die Einführung von Vorsorgewerten auch für diese Elemente (außer Mangan) diskutiert. Zum Abgleich wurden 2008 von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe bundesweit entsprechende Hintergrundwerte (HGW) abgeleitet [BGR 2008]. Für Baden-Württemberg lagen diese bislang nicht vor, konnten nun aber auf Basis der Daten aus der Bodendauerbeobachtung in einem ersten Entwurf abgeleitet werden.

Ergänzt wurde der Datensatz aus dem Basismessnetz durch Daten von Messstellen des Grundmessnetzes, die 2009 ebenfalls auf die betreffenden Elemente untersucht wurden. Eine weitere Ergänzung erfolgte durch ausge-

wählte Daten aus dem Bodeninformationssystem Baden-Württembergs. Die dort eingespeisten Daten stammen häufig aus Projekten, die spezielle lokale Belastungssituationen untersuchten. Sie wurden zunächst auf ihre Eignung zur Ableitung von HGW geprüft, wofür die Daten aus der Bodendauerbeobachtung den Plausibilitätsrahmen lieferten.

Für anorganische Elemente werden die Stoffgehalte in Böden maßgeblich durch die Stoffgehalte im Ausgangsgestein bestimmt [LUBW 2008]. Diese werden durch Bodenbildungsprozesse überprägt. Im Oberboden kann es je nach Löslichkeit des Elements im Zuge der Bodenbildung zu Gehalteabnahmen (Auswaschung überwiegt) oder Zunahmen (sogenannte Residualanreicherung) gegenüber dem Ausgangsgehalt kommen. Im Unterboden können Tonanreicherung oder Fällungsreaktionen zu Gehaltzunahmen führen. Manche Böden können unmittelbar aus mehreren Ausgangsgesteinen hervorgegangen sein, z. B. durch überlagernde Löss- oder Solifluktuionsdecken. Im Hintergrundbereich sind zudem untergeordnet anthropogene Beeinflussungen möglich.

Um in der Praxis handhabbare HGW zu erhalten, hat es sich bewährt, die Vielfalt der Böden nach dem Bodenausgangsgestein zu gruppieren. Die hier verwendete Gruppenbildung folgt primär der Stratigraphie der Süddeutschen Schichtstufenlandschaft und sekundär petrographischen (gesteinkundlichen) Aspekten. Um auch Bodenbildungs-

prozesse in den HGW berücksichtigen zu können, kann es sinnvoll sein, weiter nach Untergruppen wie organische Auflage, mineralischer Oberboden, Unterboden und Untergrund zu unterteilen. Bedingt durch die Zielsetzungen der eingeflossenen Projekte sind im vorliegenden Datensatz jedoch überwiegend Oberböden vertreten, so dass die Datendichte für eine derartige Unterteilung speziell für Unterboden und Untergrund nicht ausreicht. Zudem war in den wenigen vorhandenen Daten zu tieferen Bodenschichten kein signifikanter Zusammenhang mit der Tiefe auszumachen. Dadurch konnte hier nur eine Unterscheidung in organische Auflage und Mineralboden getroffen werden. Aufgrund der teilweise geringen Anzahl von Messwerten in den Untergruppen geben die dargestellten HGW eine erste Orientierung, die künftig durch weitere Analysen zu untermauern ist.

Im Folgenden werden die Werteverteilungen in den Untergruppen in Form von Boxplots gezeigt. Dabei entsprechen die waagerechten Linien von unten nach oben dem 10., 25., 50. (Median), 75. und 90. Perzentilwert der Werteverteilung. Um einen Hintergrundbereich anzugeben, werden üblicherweise das 50. und 90. Perzentil herangezogen.

### Uran

Uran kommt in höheren Konzentrationen in den Kristallgebieten Baden-Württembergs vor, gefolgt von den Keupergebieten, in denen Uran mitunter im Sedimentge-

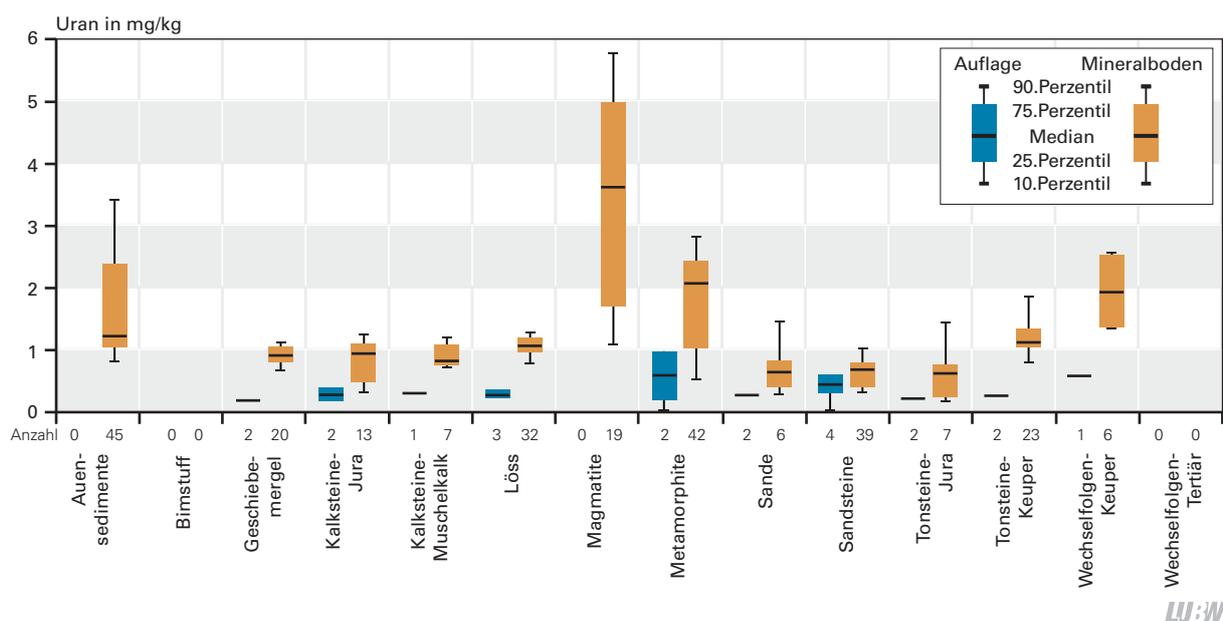


Abb. 4.2-2: Urangelhalte im Königswasserextrakt (Königswasseraufschluss) in mg/kg von Böden Baden-Württembergs im Hintergrundbereich nach Bodenausgangsgesteinsgruppen.

stein enthalten ist. Höhere Gehalte in den Auen-sedi-  
 menten können durch höhere Gehalte der Liefergebiete,  
 aber auch durch spezielle Akkumulationsprozesse verur-  
 sacht worden sein.

Insgesamt entsprechen die gefundenen Wertebereiche de-  
 nen der bundesweiten Ableitung [UTERMANN ET AL. 2008].

Im Bereich hydrothermalen Vererzungen im Südschwarz-  
 wald wurden Bodengehalte zwischen 2,1 mg/kg und  
 31,6 mg/kg gemessen. Diese Gehalte wurden wegen der  
 besonderen Situation (Vererzung) jedoch nicht in Abbil-  
 dung 4.2-2 dargestellt. Ein Eintrag von Uran über Phos-  
 phatdünger in Ackerböden kann aufgrund des geringen  
 Datenumfangs nicht nachgewiesen werden, wurde aber auf  
 Basis umfangreicher bundesweiter Daten gezeigt [UTER-  
 MANN ET AL. 2008]. Die im Vergleich zu den Mineralböden  
 geringeren Gehalte in der Auflage weisen auf unbedeu-  
 tende atmosphärische Einträge hin.

### Antimon

Bei Antimon ist die Verteilung mit Medianen meist im Be-  
 reich unter 1 mg/kg stärker ausgeglichen. Besonders bei  
 den Metamorphiten, aber auch bei den Tonsteinen des  
 Keupers, treten vereinzelt höhere Werte auf, die auf spe-  
 zielle Bereiche mit geogen erhöhten Gehalten zurückzu-  
 führen sind. In einem Boden aus Flasergrais wurden z. B.  
 Antimongehalte von 11,9 mg/kg bis 18,6 mg/kg gemessen  
 (Metamorphit, nicht im Kollektiv enthalten). Der Deposi-

tionspfad scheint bei Antimon eine Rolle zu spielen, das  
 zeigen die höheren Gehalte in der Auflage (Abb. 4.2-3).  
 Antimon wurde in jüngerer Zeit hauptsächlich durch  
 Bremsabrieb emittiert, Bilanzierungen sind an Intensiv-  
 Messstellen möglich [LUBW 2008].

### Cobalt

Cobalt tritt in höheren Gehalten in der Gruppe Tonsteine-  
 Jura sowie in der Gruppe Bimstuff-Kalksteine und Wech-  
 selfolgen-Tertiär auf. Die geringsten Gehalte finden sich bei  
 den Sanden, Kiesen und Sandsteinen. Ein ähnliches Verteilungsspektrum zeigt auch der bundesweite Datensatz. Die  
 dort allerdings mit sehr hohen Gehalten hervortretenden  
 Basischen Magmatite und Metamorphite finden sich in  
 Baden-Württemberg nicht in nennenswerter Häufigkeit.  
 Gut ersichtlich ist hier der Zusammenhang des Cobaltvor-  
 kommens mit dem Vulkanismus; Cobalt kann aber auch in  
 Sekundärgesteinen angereichert sein. Wie die geringen  
 Auflagegehalte zeigen, ist der Depositionspfad bei Cobalt  
 unbedeutend (Abb. 4.2-4).

### Beryllium

Beryllium findet sich in Baden-Württemberg vor allem in  
 Böden aus Magmatiten, aber auch in Böden aus Metamor-  
 phiten, Ton- und Kalkgesteinen (Abb. 4.2-5). Die geringsten  
 Gehalte weisen wieder die Sande, Kiese und Sandsteine  
 auf. Ein ähnliches Verteilungsspektrum findet sich in

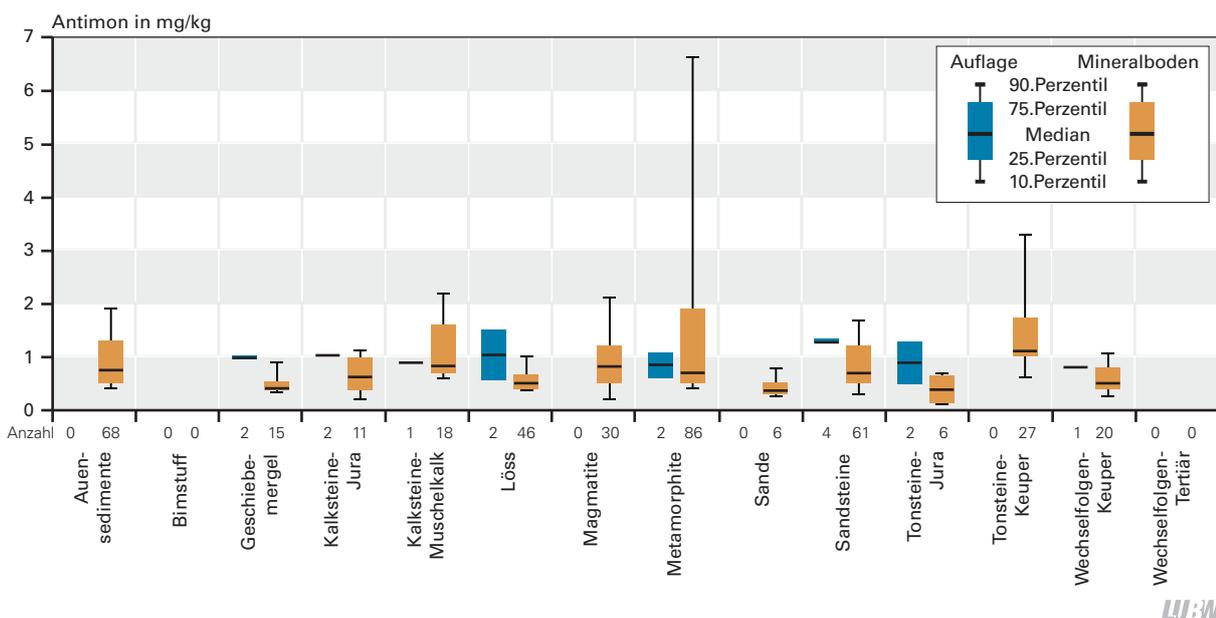


Abb. 4.2-3: Antimongehalte (Königswasseraufschluss) in mg/kg von Böden Baden-Württembergs im Hintergrundbereich nach Bodenausgangsgesteinsgruppen.

Rheinland-Pfalz [MWKEL 2013] und bundesweit, dort allerdings auf einem etwas höheren Gehalteniveau. Zu Beryllium in Böden liegen vergleichsweise wenige Informationen vor. In der Literatur werden mittlere Gehalte in der Erdkruste von 2,4 mg/kg genannt [WEDEPOHL 1995]. Der atmosphärische Eintrag erscheint unbedeutend.

### Mangan

Mangan kann aufgrund seiner hohen Gehalte nicht mehr als Spurenelement in Böden bezeichnet werden. Es ist viel-

mehr ein essentielles Nährelement, das intensiv am Boden-Pflanze-Kreislauf teilnimmt. Das belegen Stoffflussbilanzen an Intensiv-Messstellen, aber auch die hier gezeigten hohen Gehalte in den Auflagen. Speziell Laubbäume geben Mangan über die Kronentraufe und den Streufall an die organische Auflage ab. So drücken sich in den Mangan-Verteilungsspektren der Auflagen die Standortseignungen der verschiedenen Gesteinsgruppen für Laubbaumarten aus (Abb. 4.2-6).

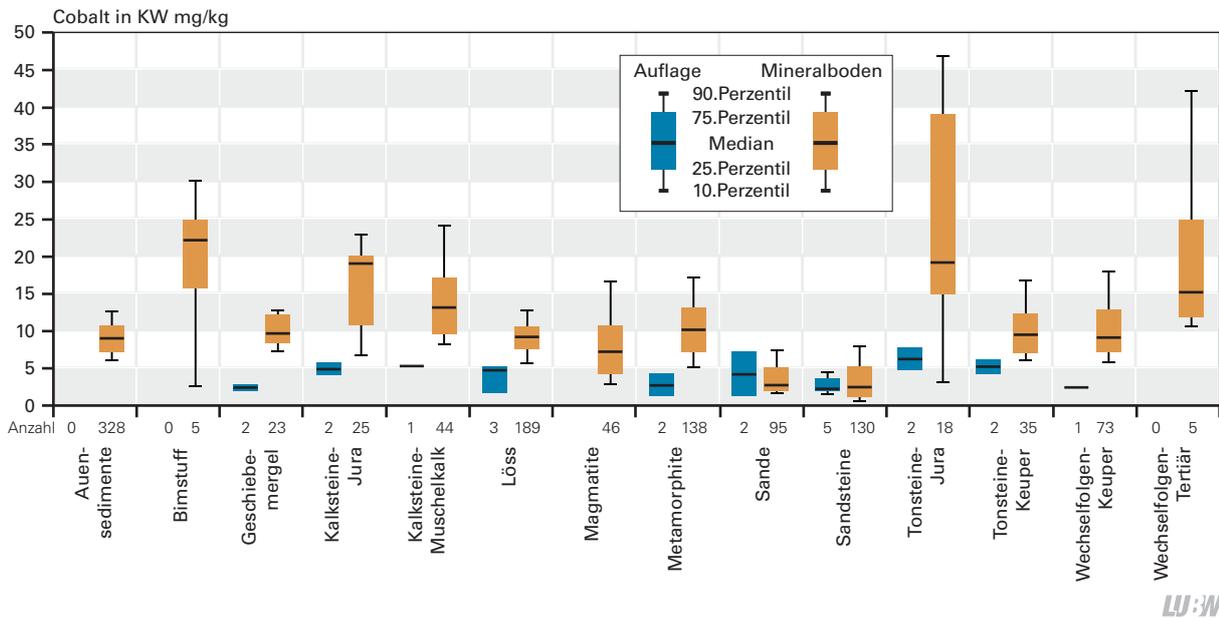


Abb. 4.2-4: Cobaltgehalte (Königswasseraufschluss) in mg/kg von Böden Baden-Württembergs im Hintergrundbereich nach Bodenausgangsgesteinsgruppen.

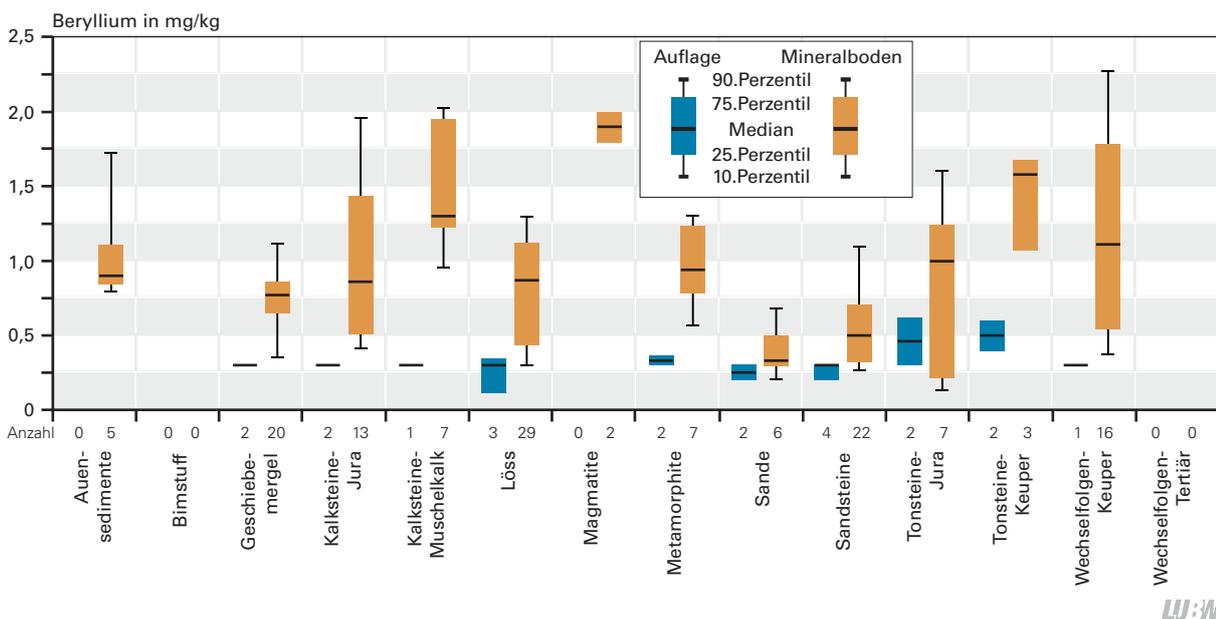


Abb. 4.2-5: Berylliumgehalte (Königswasseraufschluss) in mg/kg von Böden Baden-Württembergs im Hintergrundbereich nach Bodenausgangsgesteinsgruppen.

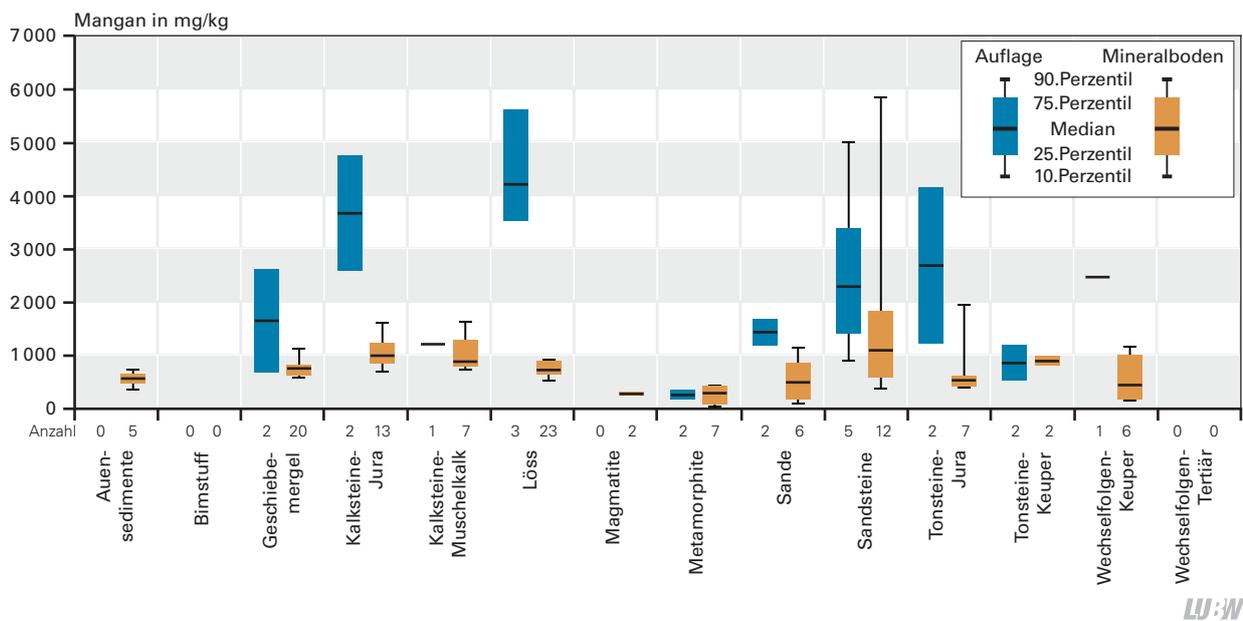


Abb. 4.2-6: Mangangehalte (Königswasseraufschluss) in mg/kg von Böden Baden-Württembergs im Hintergrundbereich nach Bodenausgangsgesteinsgruppen.

### Selen

Im betrachteten Kollektiv lagen die Selengehalte aller untersuchten Bodenproben unterhalb der Bestimmungsgrenze von 1 mg/kg für Mineralböden (n = 201) und 3 mg/kg für organische Auflagen (n = 21). Dies deckt sich mit dem bundesweiten Datensatz, in dem nur sehr vereinzelt Werte oberhalb 1 mg/kg vorkommen. Weitere Selenmessungen sind nur sinnvoll, wenn in Zukunft die analytische Bestimmungsgrenze von 0,1 mg/kg bis 0,2 mg/kg erreicht werden kann.

### 4.3 Böden mit geogen erhöhten Spurenelementgehalten

Im Süden Baden-Württembergs, insbesondere im Schwarzwald-Baar-Kreis und in den Landkreisen Rottweil und Waldshut, stehen auf engem Raum unterschiedliche geologische Schichten im Untergrund an. Die darauf entwickelten Böden können geogen bedingt höhere Schwermetall- und Arsengehalte aufweisen als der sonst übliche landesweite Hintergrund natürlicher Spurenelementgehalte in Böden. Höhere Kosten bei der Entsorgung von solchem Bodenmaterial bei Baumaßnahmen waren bisher die Regel, weil Daten über großflächig erhöhte Stoffgehalte in den Böden bisher noch nicht vorlagen, um die betreffenden Gebiete abzugrenzen.

Abbildung 4.3-1 zeigt die wichtigsten Abschnitte in der Folge der mesozoischen Schichten des Landes (Mesozoikum = Erdmittelalter; vor ca. 250 bis 60 Millionen Jahren), in denen Böden in dieser Region von Natur aus höhere Schwermetall- und Arsengehalte über den landesweiten Hintergrundwerten aufweisen können. Unterschieden wird nach der erwarteten Höhe der Gehalte in den aus diesen Gesteinen entstandenen Böden. Innerhalb der Gesteinsserien des Buntsandsteins und des Unterjuras können über die bekannten Schichten hinaus (rot und orange markiert in Abb. 4.3-1) weitere Lagen auftreten, deren Böden erhöhte Schwermetalle und Arsen enthalten. Demgegenüber werden in den Bereichen der oberflächennah, d. h. bodenbildend anstehenden Gesteinsserien im Muschelkalk und im Keuper nur in einem Teil der Flächen (Oberer Muschelkalk und Erfurt-Formation im Unteren Keuper) Böden mit höheren Spurenelementgehalten erwartet.

In den bezeichneten Gebieten (Abb. 4.3-1) werden bis Ende 2015 an insgesamt 300 Standorten die Ober- und die Unterböden untersucht.

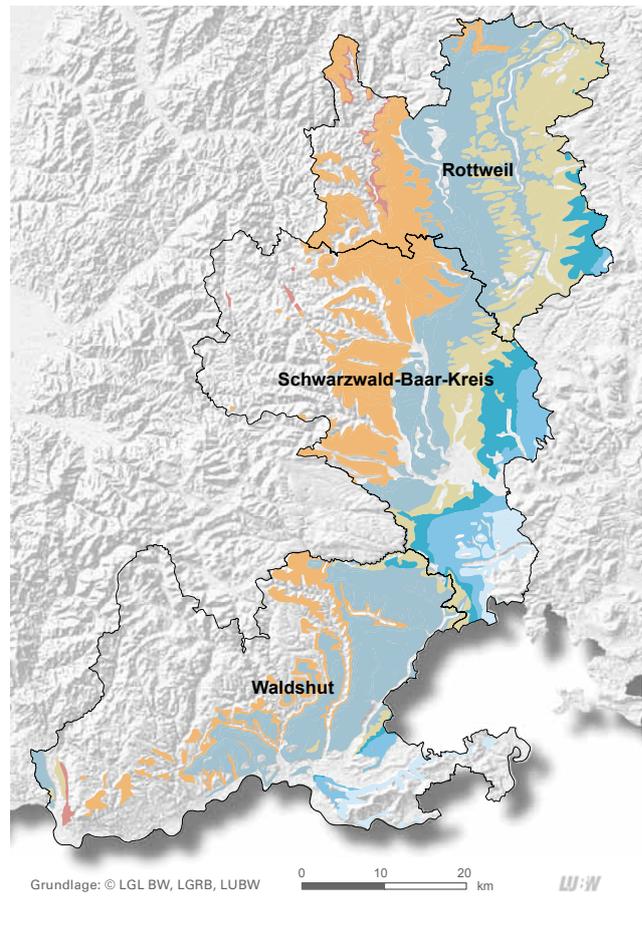
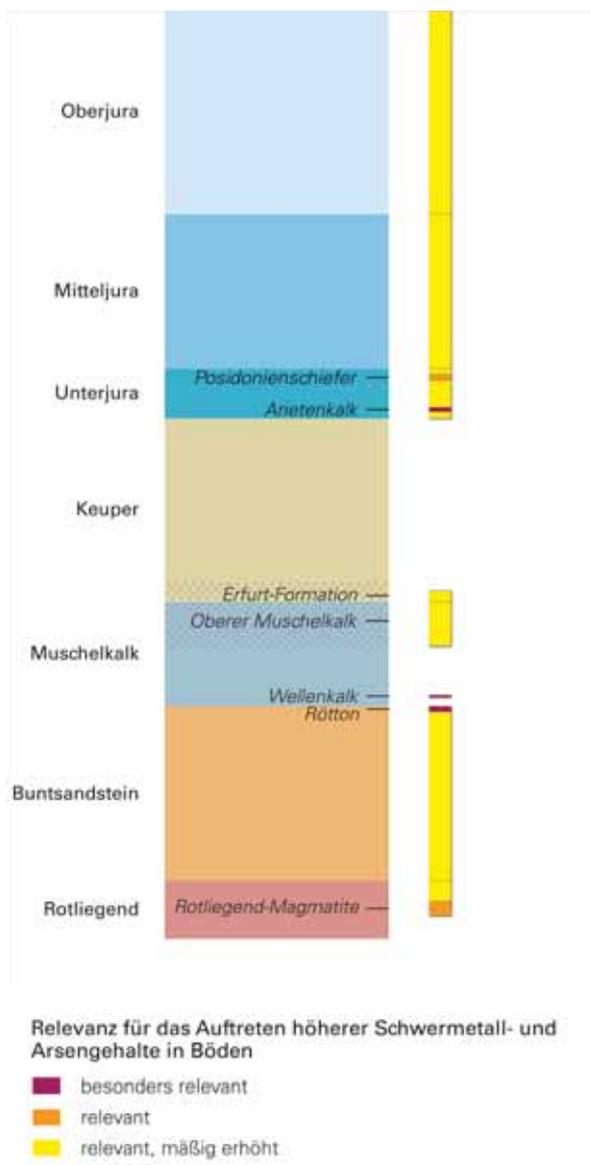


Abb. 4.3-1: Chronostratigraphische Einheiten der wichtigsten mesozoischen Bodenausgangsgesteine im Süden Baden-Württembergs mit Relevanz für das Auftreten erhöhter Schwermetall- und Arsengehalte in Böden (links) mit Übersichtskarte (rechts).

#### 4.4 Altlastenbearbeitung

Das Land Baden-Württemberg hat bereits 1988 begonnen, die Altlastenproblematik systematisch aufzuarbeiten. Der Begriff „Altlasten“ ist im Bundes-Bodenschutzgesetz (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 gegenwärtig Gefahren für den Menschen oder die Umwelt ausgehen können. Ende 2002 wurde die erste landesweite Erhebung altlastverdächtiger Flächen abgeschlossen. Die Erfassung wird seither in den Land- und Stadtkreisen fortgeführt und regelmäßig aktualisiert. Aus

heutiger Sicht ist davon auszugehen, dass zur weitgehenden Bearbeitung des Altlastenproblems noch mindestens zwanzig Jahre benötigt werden.

##### 4.4.1 Erfassung

Die unteren Bodenschutz- und Altlastenbehörden der Stadtkreise und Landratsämter erfassen im Rahmen der systematischen Altlastenbearbeitung flurstücksgenau im Bodenschutz- und Altlastenkataster alle Flächen, bei denen aufgrund der Aktenlage oder sonstiger Hinweise Anhaltspunkte für das Vorliegen einer Altlast bestehen. Bis Ende 2014 waren rund 100 000 Flächen erfasst. Davon konnten bisher 41 849 Fälle (42 %) als sogenannte A-Fälle

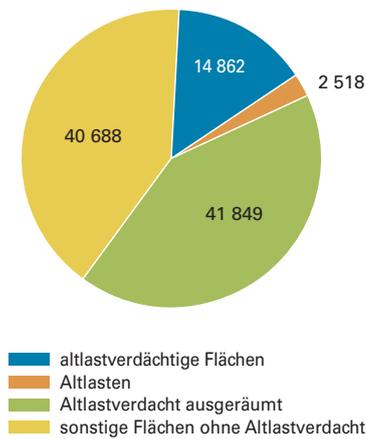


Abb. 4.4-1: Seit Beginn der Altlastenbearbeitung bis Ende 2014 erfasste Flächen.

ohne Altlastenverdacht ausgeschieden werden. 14 862 Flächen (15 %) sind als altlastverdächtig eingestuft, 2 518 Flächen (2 %) stehen als Altlasten fest (Abb. 4.4-1). Das Kataster enthält als „sonstige Flächen“ 40 688 Fälle mit Handlungsbedarf B = Belassen (ohne Gefahrenbezug), dies sind 41 % aller erfassten Flächen (Abb. 4.4-1). Hierbei handelt es sich um Flächen, die derzeit ohne weiteren Handlungsbedarf belassen werden können, die jedoch bei einer Umnutzung oder Expositionsänderung neu bewertet werden müssen. Auch bei zukünftigen Baumaßnahmen sind diese Flächen hinsichtlich der Entsorgungsrelevanz von Aushubmaterial besonders zu beachten.

Nachdem zwischen 2002 und 2004 die Zahl der altlastverdächtigen Flächen eher rückläufig war, zeigt sich seit 2004, bedingt durch die Nacherfassungsaktivitäten, eine Zunahme um 4 775 Flächen bis Ende 2014 (Abb. 4.4-2). Seit 2008

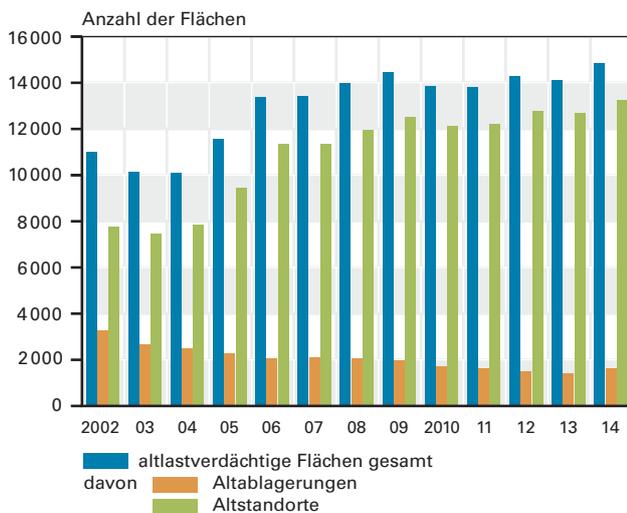


Abb. 4.4-2: Entwicklung der Zahl der altlastverdächtigen Flächen (Summe Altablagerungen und Altstandorte) zwischen 2002 und 2014.

liegt die Zahl der Flächen bei durchschnittlich rund 14 200 Fällen. Wie aus Abbildung 4.4-2 deutlich wird, hat sich der Anteil der altlastverdächtigen Altablagerungen zwischen 2002 und 2013 kontinuierlich verringert. Im Jahr 2014 kamen 205 neu erfasste Altablagerungen dazu. Altablagerungen, wie ehemalige Müllkippen und Industrieabfalldeponien, machen 2014 noch 11 % (1 618 Flächen) der zu bearbeitenden altlastverdächtigen Flächen aus. 89 % der Flächen (13 244) sind Altstandorte.

#### 4.4.2 Gefährdungsabschätzung

Durch Altlasten können die Schutzgüter Boden, Grundwasser, Oberflächengewässer sowie Flora und Fauna gefährdet sein. In den überwiegenden Fällen ist in Baden-Württemberg das Schutzgut Grundwasser durch Einwirkungen aus Altlasten betroffen.

Das BBodSchG unterteilt die Gefährdungsabschätzung in 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 dann in der Regel die technischen Untersuchungen abgeschlossen. Bis 2014 war die Gefährdungsabschätzung bei 18 133 Fällen, davon 13 213 Altstandorte und 4 920 Altablagerungen, abgeschlossen (Abb. 4.4-3). Allein in den letzten drei Jahren konnten die Untersuchungen bei 2 231 Flächen abge-

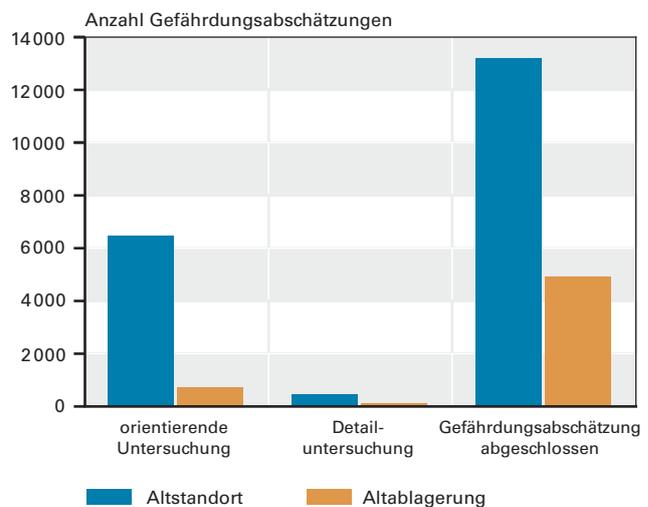


Abb. 4.4-3: Bis Ende 2014 in Bearbeitung befindliche und abgeschlossene Gefährdungsabschätzungen.

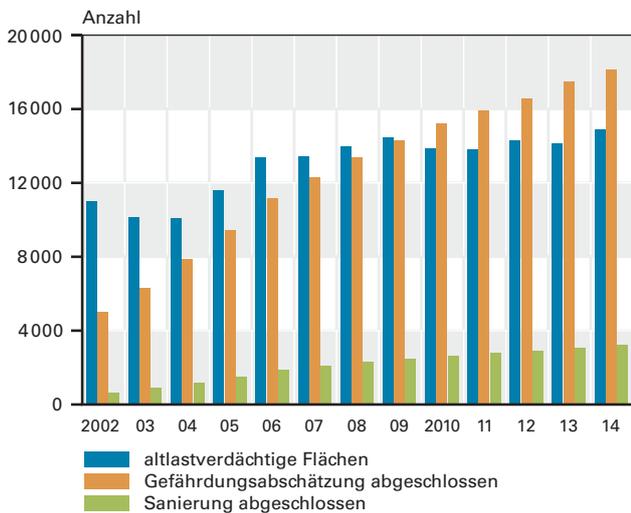


Abb. 4.4-4: Entwicklung der Sanierungen 2002 bis 2014.

schlossen werden. 7 207 Fälle befanden sich in der orientierenden Untersuchung, 576 in der Detailuntersuchung. Alle weiteren Schritte – wie Sanierungsuntersuchung und Sanierungsplanung – zielen bereits in Richtung Sanierung. Erst nach einer Sanierungsuntersuchung wird entschieden, ob und wie saniert werden muss.

#### 4.4.3 Sanierung

Seit Beginn der Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg wurde bei 3 830 Flächen ein Sanierungsbedarf festgestellt. Bis Ende 2014 konnten davon 3 232 Sanierungen abgeschlossen werden, 598 Altlasten befinden sich derzeit in der Phase der Sanierung. Im Vergleich zur Gesamtzahl der noch zu bearbeitenden altlastverdächtigen Flächen und der Zahl der bereits abgeschlossenen Gefährdungsabschätzungen ist die Zahl der sanierten Fälle jedoch verhältnismäßig klein (Abb. 4.4-4). Zu den Fällen, deren Gefährdungsabschätzung abgeschlossen ist, werden alle Fälle gezählt, bei denen entweder der Verdacht einer Altlast ausgeräumt ist oder eine Altlast vorliegt. Dazu gehören auch die abgeschlossenen oder in Bearbeitung befindlichen Sanierungen.

## 4.5 Die Bodenkarte von Baden-Württemberg

Nach zwölfjähriger Bearbeitungszeit wurde vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) im Regierungspräsidium Freiburg die Bodenkarte von Baden-Württemberg im Maßstab 1:50 000 (BK50) in einer landesweit flächendeckenden Version vorgelegt. Damit steht für Anwendungen und Planungen erstmals ein Bodenkartenwerk der mittleren Maßstabsebene zur Verfügung.

Als Teil des Projekts „Integrierte Geowissenschaftliche Landesaufnahme (GeoLa)“ ist die BK50 ein mit den Fachbereichen Geologie, Rohstoff-, Hydro- und Ingenieurgeologie abgestimmtes Kartenwerk. Wichtige Anforderungen an Planungsgrundlagen sind heute neben einer hohen Auflösung vor allem die fachübergreifende Abstimmung der geowissenschaftlichen Inhalte. Dies fand insbesondere bei den Kartenwerken der Fachbereiche Geologie und Bodenkunde bisher noch keine oder zu wenig Berücksichtigung. Im Rahmen von GeoLa wurde auf der Maßstabsebene 1:50 000 für die gesamte Landesfläche von Baden-Würt-



Abb. 4.5-1: Musterprofil des Bodentyps Gley-Pseudogley. Quelle: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau.

temberg ein homogener, themenübergreifender Datensatz der Geologie und Bodenkunde erstellt. Mit diesem innovativen Kartierkonzept kommt dem LGRB im bundesweiten Vergleich eine Vorreiterrolle zu.

Im Gegensatz zu den bisherigen, auf einen vorgegebenen Blattschnitt bezogenen Kartenwerken, wurde die BK50 im Rahmen von GeoLa von vornherein blattschnittfrei mit einer landesweiten Generallegende konzipiert. Entsprechende Karten und Datenabfragen werden aus dieser gemeinsamen Datenbasis generiert. Beim Datenvertrieb liegt der Schwerpunkt auf digitalen Produkten, jedoch werden auch weiterhin Kartenplots angeboten. Zudem können beliebige Ausschnitte bedient und die Karteninhalte mit relativ geringem Aufwand aktualisiert und an sich verändernde Datengrundlagen angepasst werden. Beispielfähig können hier die für Planungszwecke wichtigen Datengrundlagen des amtlichen topographisch-kartographischen Informationssystems (ATKIS) der Landesvermessungsverwaltung genannt werden, die nunmehr auch GeoLa als topographische Grundlage dienen.

Die Legende der BK50 gliedert sich in insgesamt 26 Bodengroßlandschaften mit ähnlicher Ausprägung der bodenkundlichen Faktoren, wobei insbesondere Geologie und Ausgangsgesteine der Böden berücksichtigt werden. Zu jeder der insgesamt rund 4 000 Kartiereinheiten sind das Bodenformeninventar aus Leit- und Begleitbodenformen,

wichtige physikalische und chemische Bodeneigenschaften, Kennwerte des Wasser- und Lufthaushalts sowie die Bewertung der Bodenfunktionen hinterlegt. Referenzprofile aus der Kartierung sowie aufwendig untersuchte und dokumentierte Musterprofile geben darüber hinaus wichtige Informationen zum Profilaufbau und für profilbezogene Auswertungen. Um gemessene Eigenschaften und Kennwerte der Böden angeben zu können, bedarf es zur Bodenkartierung auch der Aufnahme ausgewählter Musterprofile. Neben der Beprobung und anschließenden Laboruntersuchung wird vom LGRB eine detaillierte Profilaufnahme mit boden- und substratgenetischer Interpretation durchgeführt. Abb. 4.5-1 zeigt beispielhaft das Musterprofil eines Gley-Pseudogley, westlich von Offenburg auf dem Schwemmfächer der Kinzig gelegen. Dieser hat sich aus geschichteten, lehmig-tonigen Hochflutsedimenten entwickelt, die von einer nassgebleichten lösshaltigen Deckschicht überlagert werden.

Neben den Vektordaten bietet das LGRB zur BK50 einen Kartenviewer mit zahlreichen Auswertungsthemen an. Dieses Kartenwerk hat sich schon jetzt neben der Bodenschätzung als zweite unverzichtbare Datengrundlage für Fragen des Bodenschutzes und der angewandten Bodenkunde etabliert. Nähere Informationen finden sich unter [www.lgrb-bw.de](http://www.lgrb-bw.de).

# 5 Wasser

## Das Wichtigste in Kürze

In Baden-Württemberg ist das **Grundwasser** großflächig durch Nitrat aus stickstoffhaltigen Düngemitteln sowie kleinräumig durch Pflanzenschutzmittel belastet. In den letzten 20 Jahren ist aufgrund landwirtschaftlicher Maßnahmen und Programme ein abnehmender Trend festzustellen.

Im **Bodensee**-Obersee ist das Phytoplankton vor allem durch Maßnahmen zur Verringerung des Phosphorgehalts zurückgegangen. Die Konzentration von anorganischem Stickstoff im Bodensee liegt aktuell in der gleichen Größenordnung wie in den Vorjahren. Ein Trend kann für die letzten 30 Jahre nicht festgestellt werden.

An vielen der biologischen Untersuchungsstellen in den **Fließgewässern** sind ökologische Defizite vorhanden. Wesentliche Ursachen hierfür sind zu hohe Gehalte am Pflanzennährstoff Phosphat sowie naturferne Gewässerstrukturen und Wanderrückhindernisse. Durch die allgemeine Verbreitung bestimmter Schadstoffe, wie Quecksilber, werden Umweltqualitätsnormen flächendeckend überschritten. Für die übrigen Schadstoffe werden lokal nur wenige Überschreitungen festgestellt. In den Oberflächengewässern werden weitere Spurenstoffe, die bisher nicht gesetzlich geregelt sind, teilweise in deutlich messbaren Konzentrationen vorgefunden. Sie werden in Haushalt, Industrie und Gewerbe eingesetzt, können aber in Abwasserbehandlungsanlagen nur teilweise zurückgehalten werden.

Kleine **Kläranlagen** wurden aufgrund besserer Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit an größere Anlagen angeschlossen. Deshalb nahm die Anzahl der Kläranlagen insgesamt ab. Im Jahr 2014 gibt es in Baden-Württemberg noch 944 kommunale Kläranlagen.

Abflüsse an Pegeln werden seit etwa 150 Jahren ermittelt. Das Pegelmessnetz der oberirdischen Gewässer ist das älteste der gewässerkundlichen Messnetze in Baden-Württemberg. Zum hydrologischen **Pegelmessnetz** zählen 245 Landespegel.

Für die regionale wasserbauliche Planung und Bewertung sind Kenngrößen in hoher räumlicher Auflösung nötig. Die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg setzt dafür das GIS-basierte Informationssystem BW-Abfluss ein. Damit können für über 14 000 Gewässerstellen **regionalisierte Abflusskennwerte** bereitgestellt werden.

## 5.1 Grundwasser

Im Jahr 2013 wurden in Baden-Württemberg 71 % des Trinkwassers aus Grund- und Quellwasser gewonnen. Ziel ist es, dem Verbraucher Trinkwasser ohne aufwendige Aufbereitung zur Verfügung zu stellen. Daher muss Grundwasser sowohl in quantitativer als auch qualitativer Hinsicht beobachtet werden, um rechtzeitig über Entwicklungen, die dieses Ziel gefährden, informiert zu sein. Zu vielen Grundwasserproblemen wurden gezielt Gesetze und Verordnungen erlassen. Mittlerweile sind Erfolge feststellbar, wengleich sich diese aufgrund der langen Verweilzeiten der Schadstoffe im Untergrund erst nach vielen Jahren einstellen. So sind die Nitratkonzentrationen zurückgegangen und die Belastung des Grundwassers, insbesondere mit Pflanzenschutz- und Lösemitteln, hat abgenommen.

In den Fokus des Interesses sind in den letzten Jahren die organischen Spurenstoffe gerückt. Dies sind z. B. Arznei- und Röntgenkontrastmittel, Süßstoffe, Benzotriazole (Korrosionsschutzmittel), per- und polyfluorierte Verbindungen (PFC) und nicht relevante Metaboliten von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen.

### 5.1.1 Grundwassermessnetz

Die LUBW betreibt das Landesmessnetz Grundwasser, das aus den Teilmessnetzen Grundwassermenge und Grundwasserbeschaffenheit besteht. Daten zur Grundwassermenge werden schon seit über 100 Jahren erhoben. Seit 30 Jahren gibt es ein Messnetz zur Erfassung der Grundwasserbeschaffenheit. Ein repräsentatives Grundwassermessnetz mit den zugehörigen Untersuchungsprogrammen und aktuellen Datendiensten ist zugleich auch Frühwarnsystem für großräumige Veränderungen des Grundwassers, beispielsweise durch Versauerung, Klimaveränderungen, Bewirtschaftungsänderungen und Übernutzungen. Ziel des Messnetzes ist die Dokumentation des aktuellen Zustands und der Entwicklung von Grundwasserqualität und -quantität sowie das Aufzeigen der Einflussfaktoren, d. h. die Untersuchung und Beurteilung der Auswirkungen von Nutzungen und hydrologischem Geschehen auf das Grundwasser [LUBW 2011a, b]. Zahlreiche Daten sind dem Land, dem Bund und der EU im Rahmen von Berichtspflichten bereitzustellen. In der Regel wird an allen Messstellen das Grundwasser mindestens einmal pro Jahr

auf Nitrat und die Parameter Temperatur, Sauerstoff, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit untersucht. Bei anderen Parametern laufen die Beprobungskampagnen über zwei bis vier Jahre. Fallweise werden Untersuchungen zu speziellen Fragestellungen durchgeführt. Messungen von Grundwasserstand und Quellschüttung erfolgen in der Regel wöchentlich, teilweise bei elektronischer Messwerter-

fassung auch in kürzeren Intervallen. Nur bei einem Teil der Messstellen wird Rohwasser für Trinkwasserzwecke verwendet. Ansonsten handelt es sich bei den Messstellen um Beobachtungsrohre oder Brunnen und Quellen, die teilweise auch für Berechnungszwecke oder für Brauchwasser genutzt werden.

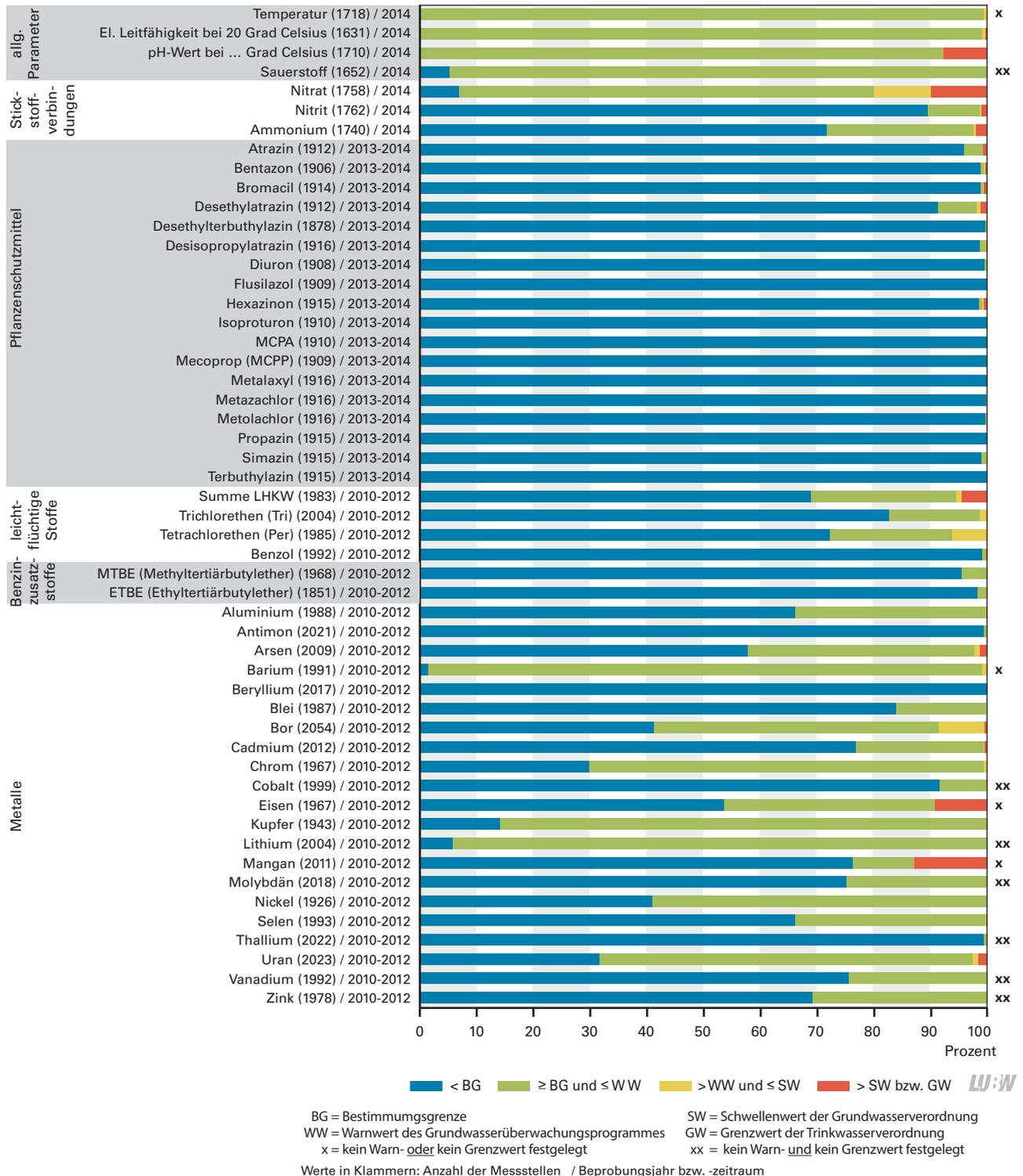


Abb. 5.1-1: Ergebnisse der Beprobungen zur Grundwasserbeschaffenheit in Baden-Württemberg 2010 bis 2014. Prozentuale Verteilung der Messwerte.

### 5.1.2 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 Schwellenwerte für das Grundwasser gibt es in der Grundwasserverordnung (GrwV) für Nitrat und Pflanzenschutzmittel, für Arsen, Cadmium, Blei, Quecksilber, Ammonium, Chlorid, Sulfat sowie die Summe aus Tri- und Tetrachlorethen. Für die anderen Grundwasserparameter werden als Orientierungshilfe die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) und die durch das Grundwasserüberwachungsprogramm eingeführten Warnwerte herangezogen. Abbildung 5.1-1 gibt einen Überblick über die Beprobungsergebnisse im Zeitraum 2010 bis 2014 und bildet landwirtschaftliche Belastungen aus der Stickstoffdüngung (Nitrat, Nitrit, Ammonium) und aus Pflanzenschutzmittelanwendungen, Versauerung durch sauren Regen (pH-Wert), Einträge von organischen Spurenstoffen und geogen bedingten metallischen Spurenstoffen ab.

#### Nitrat

In Baden-Württemberg wird fast die Hälfte der Landesfläche landwirtschaftlich genutzt. Der damit verbundene Einsatz an stickstoffhaltigen Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln kann zu einer flächenhaften Beeinträchtigung des Grundwassers führen. Im Jahr 2014 wurde Nitrat an 1 758 Messstellen des Landesmessnetzes untersucht. An rund 70 % der Messstellen liegen die Nitratwerte über der „natürlichen Hintergrundkonzentration“ von rund 10 mg/l. Der Schwellenwert der GrwV von 50 mg/l wird an jeder zehnten Messstelle überschritten.

Jede 29. Landesmessstelle, bei der Rohwasser für die öffentliche Wasserversorgung entnommen wird, wies 2014 einen Nitratwert über dem Schwellenwert der GrwV auf, dagegen jede fünfte Messstelle im landwirtschaftlichen Einflussbereich. Bei den in Abbildung 5.1-2 dargestellten Belastungsschwerpunkten handelt es sich insbesondere um Gebiete mit erhöhtem Ackerbauanteil und Sonderkulturen wie Wein- oder Gemüseanbau.

Die mittelfristige Änderung der Nitratkonzentrationen wird anhand der Landesmessstellen ermittelt, von denen durch-

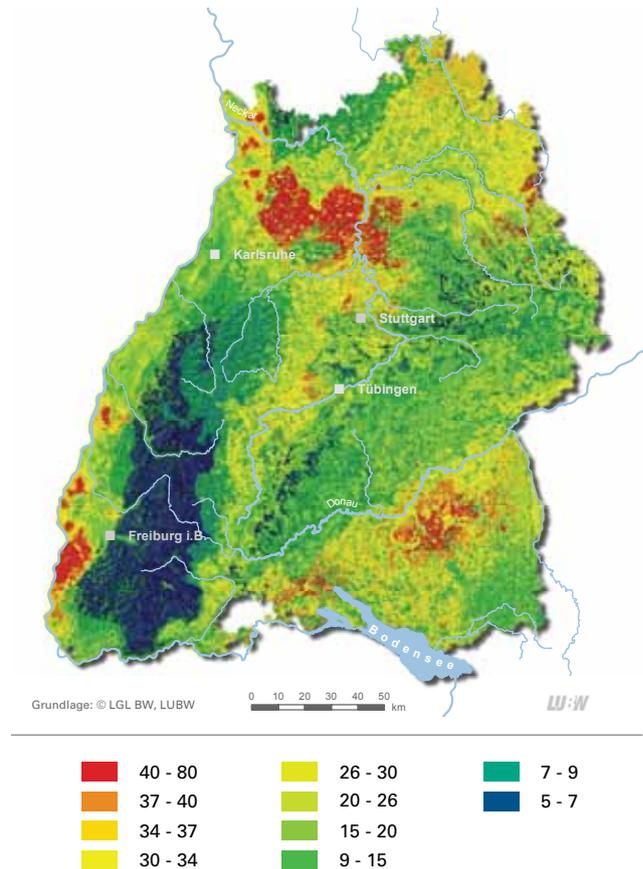


Abb. 5.1-2: Konzentrationsverteilung von Nitrat in mg/l im oberflächennahen Grundwasser 2014 in Baden-Württemberg – regionalisierte Darstellung. Stand: Juni 2015

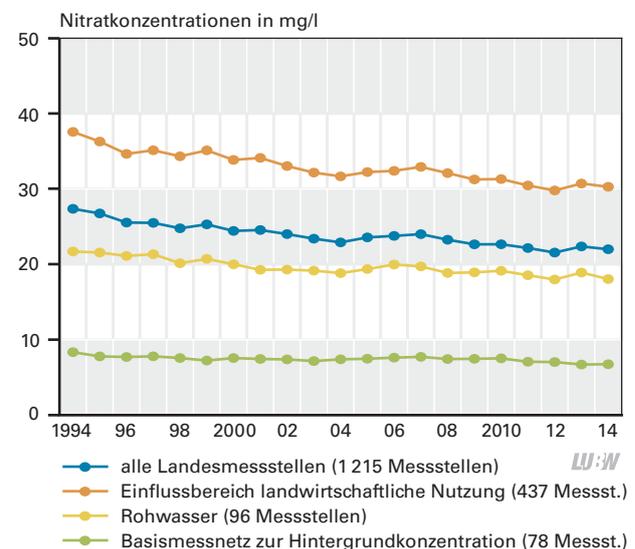


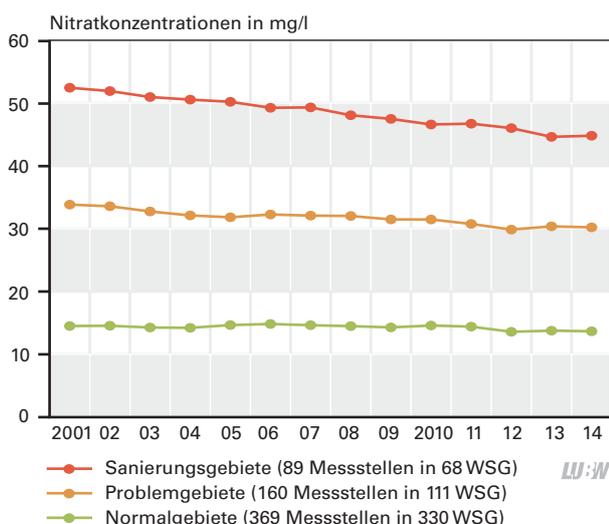
Abb. 5.1-3: Mittelfristige Trends der mittleren Nitratkonzentrationen in Baden-Württemberg für durchgehend beprobte Messstellengruppen, Gesamtsituation innerhalb und außerhalb von Wasserschutzgebieten.

gehend ab 1994 bis 2014 Messwerte vorliegen (Abb. 5.1-3). Diese 1 215 durchgehend beprobten Landesmessstellen repräsentieren im Jahr 2014 rund 70 % des gesamten Messnetzes. Im Landesmessnetz ist in den vergangenen 20 Jah-

ren ein rückläufiger Trend der Nitratkonzentrationen zu beobachten.

Den Grundwasservorkommen zur Trinkwassergewinnung kommt durch Ausweisung von Wasserschutzgebieten 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 vor Einträgen von Nitrat und Pflanzenschutzmitteln sowie die schnellstmögliche Sanierung nitratbelasteter Grundwasservorkommen durch grundwasserschonende Bewirtschaftungsmaßnahmen.

Seit der Novellierung der SchALVO im Jahr 2001 richtet sich die Einstufung der Wasserschutzgebiete nach der Nitratbelastung des Grundwassers. Je nach Belastung werden diese in Gebiete mit niedriger Nitratbelastung, Nitratproblemgebiete und Nitratsanierungsgebiete eingeteilt. Der mittlere Nitratrückgang seit 2001 ist mit rund 15 % in den Sanierungsgebieten am größten. Dort gelten die strengsten Bewirtschaftungsauflagen (Abb. 5.1-4). Es folgen die Problemgebiete mit rund 11 %, aber auch in den gering belasteten Normalgebieten gibt es einen Nitratrückgang von etwa 6 %. Insgesamt haben die Maßnahmen zur Reduzierung der Nitratbelastung – hierzu zählen neben der Düngeverordnung insbesondere die SchALVO sowie das Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleichs-Pro-



WSG: Wasserschutzgebiet

Abb. 5.1-4: Mittelfristige Trends der Nitratkonzentrationen für jährlich beobachtete Messstellen in Wasserschutzgebieten in Baden-Württemberg; Klassifizierung gemäß Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO). Quelle: Landesmessstellen und Kooperationsmessstellen der Wasserversorgungsunternehmen.

gramm (MEKA) – in den letzten 20 Jahren zu einer Abnahme der Nitratbelastung geführt. Das Programm MEKA wird ab 2015 durch das „Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl“ (FAKT) fortgeführt.

### Pflanzenschutzmittel

Mit Stand April 2015 sind in der Bundesrepublik Deutschland 277 Pflanzenschutzmittelwirkstoffe in rund 1400 Handelsprodukten auf dem Markt. Im Jahr 2013 entfiel mit 55,0 % der mengenmäßig größte Anteil auf Herbizide, gefolgt von Fungiziden mit 31,9 % und Insektiziden mit 2,9 %. Gegenüber 2012 fiel der Gesamtinlandsabsatz um rund 6,0 %. Die meisten Pflanzenschutzmittel werden in der Landwirtschaft eingesetzt, nur etwa 1 % der abgesetzten Wirkstoffmenge entfällt auf den Bereich Haus und Garten. Pflanzenschutzmittel dürfen gemäß Pflanzenschutzgesetz (PflSchG) nur auf Freilandflächen mit landwirtschaftlicher, gärtnerischer oder forstwirtschaftlicher Nutzung angewendet werden. Anwendungen auf Nichtkulturland, um diese Flächen z. B. zur Wahrung der Verkehrs- und Betriebssicherheit oder aus optischen Gründen von Pflanzenbewuchs freizuhalten, bedürfen nach PflSchG jeweils einer Ausnahmegenehmigung durch das zuständige Landratsamt oder Regierungspräsidium.

Zur Beschreibung der Gesamtsituation bei Pflanzenschutzmitteln wurden im Zeitraum von 2010 bis 2014 an bis zu 3903 Messstellen (LUBW- und Kooperationsmessstellen der Wasserversorgungsunternehmen) die Daten von 31 häufig gemessenen Substanzen, 28 Wirkstoffen und drei Abbauprodukten (Metaboliten) ausgewertet:

- 11 Substanzen, darunter fünf zugelassene und sechs nicht mehr zugelassene Wirkstoffe, wurden an keiner einzigen Messstelle nachgewiesen.
- Positive Befunde in Konzentrationen unter dem Schwellenwert der GrwV von 0,1 µg/l lagen von sieben Stoffen vor, darunter sechs mit und einer ohne Zulassung.
- Überschreitungen des Schwellenwerts von 0,1 µg/l an bis zu 1 % der Messstellen werden durch 13 Stoffe verursacht, darunter vier zugelassene, sechs nicht mehr zugelassene Wirkstoffe und drei Metaboliten.

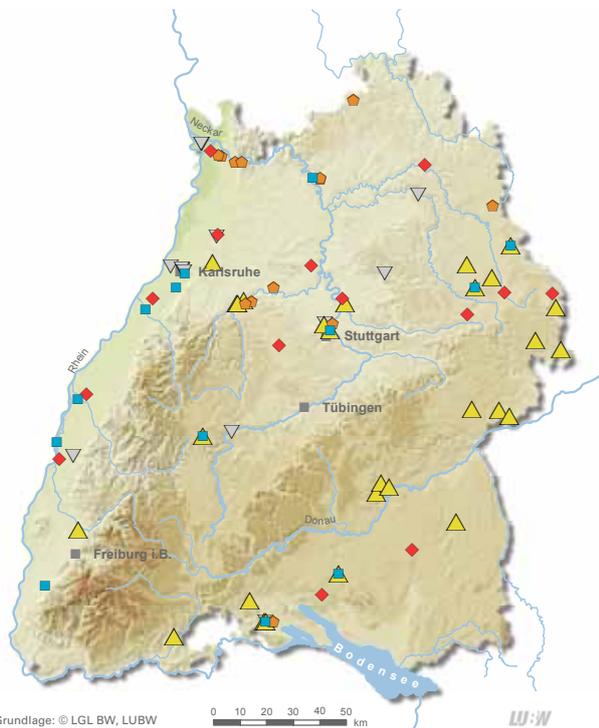
Die meisten Überschreitungen des Schwellenwerts von 0,1 µg/l werden immer noch durch den Metaboliten Desethylatrazin des seit 1991 verbotenen Herbizids Atrazin an

28 von 3 903 Messstellen, also an 0,7 % der Messstellen, hervorgerufen.

Im Zeitraum von 2010 bis 2014 zeigten neben Desethylatrazin insbesondere Atrazin, Bentazon, Bromacil und Hexazinon Überschreitungen des Schwellenwertes der GrwV von 0,1 µg/l an den Messstellen des Landesmessnetzes und des Kooperationsmessnetzes Wasserversorgung (Abb. 5.1-5).

Die noch vorhandene Belastung mit Pflanzenschutzmitteln wird überwiegend durch Wirkstoffe oder deren Metaboliten verursacht, die schon seit den 1990er Jahren nicht mehr zugelassen sind (Abb. 5.1-6). So war im Zeitraum 2013 bis 2014 die Häufigkeit der Überschreitungen des Schwellenwertes von nicht mehr zugelassenen Wirkstoffen und deren Metaboliten, insbesondere von Atrazin und Desethylatrazin, nur noch weniger als ein Fünftel so hoch wie im Zeitraum von 1995 bis 1997. Trotzdem sind diese „Altlasten“ für 4,5-mal so viele Überschreitungen verantwortlich wie die zugelassenen Wirkstoffe.

Zahlreiche Pflanzenschutzmittelwirkstoffe werden auch als Biozide in Produkten des täglichen Gebrauchs eingesetzt, u. a. in Kosmetika oder in Fassadenfarben.



■ Atrazin    ◆ Bromacil    ▼ Hexazinon  
◆ Bentazon    ▲ Desethylatrazin

Abb. 5.1-5: Hauptbelastungen mit Pflanzenschutzmitteln in Baden-Württemberg: vier Wirkstoffe und der Metabolit Desethylatrazin (DEA) an 69 Messstellen mit Befunden über dem Schwellenwert der GrwV von 0,1 µg/l. Quellen: Landesmessstellen LUBW und Kooperationsmessstellen der Wasserversorgungsunternehmen. Stand: April 2015

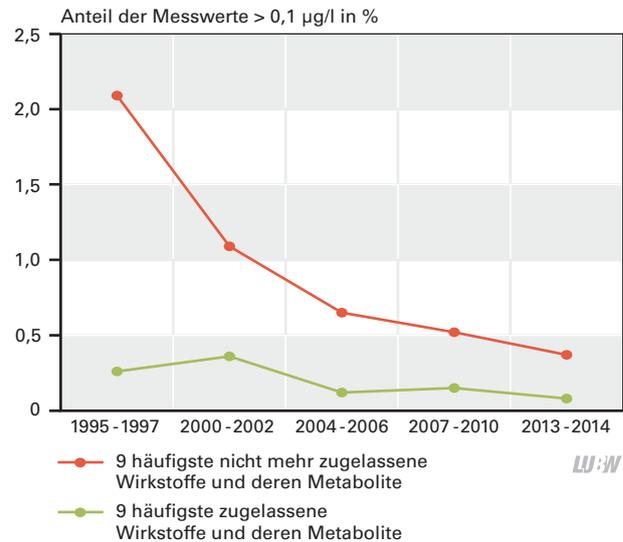


Abb. 5.1-6: Tendenz der Überschreitungshäufigkeiten bei den Untersuchungen von Pflanzenschutzmitteln in Baden-Württemberg 1995 bis 2014. Datengrundlage: jeweils 16 000 bis 19 500 Einzelmessungen.

#### Nicht relevante Metabolite von Pflanzenschutzmitteln

Seit 2006 werden Untersuchungen auf im Sinne der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln nicht relevante Metabolite (nrM) von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen durchgeführt. Darunter versteht man Abbauprodukte, die keine pestizide Wirkung mehr haben und hinsichtlich ihrer Human- und Ökotoxizität nicht bedenklich, aber in Grund- und Trinkwasser unerwünscht sind. Von 28 untersuchten nrM waren 12 nicht und sieben nur in niedrigen Konzentrationen oder geringen Fundhäufigkeiten nachweisbar. Die mit Abstand höchsten Konzentrationen wurden bei den Metaboliten des Rübenherbizids Chloridazon und von DMS (N,N-Dimethylsulfamid), dem Metaboliten des nicht mehr zugelassenen Fungizids Tolyfluanid, gefunden. Danach folgen die Metaboliten von Metolachlor, Metazachlor und Dimethachlor. Hinsichtlich der Bewertung werden die Gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) für Trinkwasser herangezogen, die das Umweltbundesamt zusammen mit dem Bundesinstitut für Risikobewertung für zahlreiche nrM veröffentlicht hat. Zieht man die genannten GOW von 3 µg/l bzw. 1 µg/l als Vergleichsmaßstab für das Grundwasser heran, so erhält man die in Tabelle 5.1-1 zusammengestellten Ergebnisse für den Zeitraum von 2010 bis 2014.

Die auffälligen DMS-Werte sind in der Vorbergzone des Schwarzwaldes, dem mittleren Neckarraum und im Bodenseegebiet zu finden. In diesen Gebieten wird Wein- und Obstbau in größerem Umfang betrieben, wobei in der Ver-

Tab. 5.1-1: Überschreitungen der Gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) in Baden-Württemberg. Beprobungen 2010 bis 2014 der LUBW sowie Daten des Kooperationsmessnetzes, jeweils neuester Messwert. Stand April 2015 (Bewertungsstand der GOW: 18.02.2012 unter: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de) > Wasser, Trinkwasser und Gewässerschutz > Publikationen > Trinkwasser > Toxikologie)

Metabolit	GOW in µg/l	Anzahl Mst.	Anzahl Mst. > BG	% Mst. > BG	Anzahl Mst. > GOW	% Mst. > GOW	Maximal- wert in µg/l
DMS (N,N-Dimethylsulfamid)	1	3574	1346	37,7	105	2,9	19
Desphenylchloridazon (Metabolit B)	3	3591	1615	45	55	1,5	11,8
Metabolit NOA 413173 von S-Metolachlor	1	1990	176	8,8	10	0,5	6,08
Metabolit CGA 369873 von Dimethachlor	1	1987	369	18,6	5	0,3	1,7
Metabolit CGA 380168/CGA 354743 von S-Metolachlor (Metolachlorsulfonsäure)	3	1990	199	10	6	0,3	12
Methyldesphenylchloridazon (Metabolit B1)	3	3577	982	27,4	3	0,1	4,95
Metabolit BH 479-8 von Metazachlor (Metazachlorsulfonsäure)	3	1995	227	11,4	1	0,05	3,56
Metabolit BH 479-4 von Metazachlor (Metazachlorsäure)	1	1989	77	3,9	1	0,05	1,3
Metabolit CGA 51202/CGA 351916 von S-Metolachlor (Metolachlorsäure)	3	1990	68	3,4	1	0,05	3,96
2,6-Dichlorbenzamid	3	3897	109	2,8	1	0,03	3,9
Metabolit R 417888/Vis-01 von Chlorthalonil (Chlorthalonilsulfonsäure)	3	193	8	4,1	0	0	1,73
Metabolit M27 von Dimethenamid-P und Dimethenamid	1	193	5	2,6	0	0	0,54
Metabolit BH 479-12 von Metazachlor	1	193	3	1,6	0	0	0,04
Metabolit CGA 354742 von Dimethachlor (Dimethachlorsulfonsäure)	3	2003	33	1,6	0	0	0,9
Metabolit CGA 368208 von S-Metolachlor	1	193	1	0,5	0	0	0,06
Metabolit R 234886 / ICIA5504/021 von Azoxystrobin	1	324	1	0,3	0	0	0,1
Metabolit CGA 357704 von S-Metolachlor	1	193	0	0	0	0	-
Metabolit CGA 50266 von Dimethachlor (Dimethachlorsäure)	3	209	0	0	0	0	-
Metabolit M2 von Benalaxyl-M	3	324	0	0	0	0	-
Metabolit M1 von Benalaxyl-M	3	324	0	0	0	0	-
Metabolit CGA 37735 von S-Metolachlor	1	193	0	0	0	0	-
Metabolit CGA 50267 von S-Metolachlor	1	193	0	0	0	0	-
Metabolit CGA 50720 von S-Metolachlor	1	193	0	0	0	0	-
Metabolit SYN 530561 von Dimethachlor	1	193	0	0	0	0	-
Metabolit CGA 373464 von Dimethachlor	1	193	0	0	0	0	-
Metabolit 3 / R 403814 von Picoxystrobin	-	324	0	0	-	-	-
Metabolit F8 von Benalaxyl-M	-	324	0	0	-	-	-
Metabolit F4 von Benalaxyl-M	-	324	0	0	-	-	-

GOW: Gesundheitlicher Orientierungswert

Mst.: Messstelle

BG: Bestimmungsgrenze

LUBW

gangenheit inzwischen verbotene Pflanzenschutzmittel mit dem Wirkstoff Tolyfluanid eingesetzt wurden. Erhöhte Befunde von Desphenylchloridazon (Metabolit B) sind insbesondere im Raum Heilbronn konzentriert, dem Zentrum des baden-württembergischen Rübenanbaus. Weitere einzelne GOW-Überschreitungen sind bei den Meto-

lachlor-Metaboliten NOA 413173 und CGA 380168 in den bekannten Maisanbaugebieten zu beobachten. Ebenso vereinzelt treten GOW-Überschreitungen des Dimethachlor-Metaboliten CGA 369873 bzw. des Metazachlor-Metaboliten BH 479-8 in Rapsanbaugebieten auf.

### Weitere Spurenstoffe

Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe (LHKW), gemessen als Summenparameter „**Summe LHKW**“ (Summe aus Tri- und Tetrachlorethen, da im Grundwasser überwiegend nur diese beiden vorkommen), wurden in den Jahren 2010 bis 2012 an 31,2 % der Messstellen über der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l nachgewiesen. Der Schwellenwert der Grundwasserordnung von 10 µg/l wurde an 4,5 % der Messstellen überschritten. Die höchsten Belastungen sind an Messstellen im Einflussbereich von Siedlung und Industrie zu finden, wobei sich die Verursacher meist eindeutig zuordnen lassen. Die Schwerpunkte der LHKW-Belastung liegen in städtischen Ballungsräumen wie Stuttgart, Pforzheim, Mannheim/Heidelberg sowie in Städten, in denen die metallverarbeitende Industrie eine lange Tradition hat. Dazu gehören beispielsweise Reutlingen, Villingen-Schwenningen, Heidenheim, Schwäbisch Gmünd und Lahr. Dort finden sich auch zahlreiche LHKW-Altlasten. Die Konzentrationen an diesen höher mit LHKW belasteten Messstellen sind landesweit in den letzten 15 Jahren zurückgegangen. Die am häufigsten gefundenen Einzelstoffe sind Tetrachlorethen (Per) und Trichlorethen (Tri) mit jeweils zweistelligen Nachweisquoten von 27,8 % bzw. 17,3 % bei einer Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l. Mehr als die Hälfte der Positivbefunde zu Per und mehr als drei Viertel der Befunde zu Tri liegen im unteren Konzentrationsbereich von 0,1 bis 1 µg/l. Sie stellen mehr oder weniger eine „diffuse“ Hintergrundbelastung dar, die sich auch über die Jahre nur wenig geändert hat.

Die Belastung des Grundwassers mit **BTEX-Aromaten** (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol) ist insgesamt gering. Bei den rund 2 000 im Zeitraum von 2010 bis 2012 untersuchten Messstellen wurden nur in wenigen Einzelfällen erhöhte Konzentrationen gemessen.

Bei der Untersuchung auf die **Benzinzusatzstoffe MTBE** (Methyltertiärbutylether) (Abb. 5.1-1) und **ETBE** (Ethyltertiärbutylether) in rund 2 000 Grundwassermessstellen in den Jahren 2010 bis 2012 wurden nur wenige Positivbefunde über der Bestimmungsgrenze von 0,05 µg/l festgestellt: Bei MTBE an 4,5 % der Messstellen, bei ETBE an 1,7 %. Nur zwei Proben lagen mit ihrem MTBE-Gehalt über dem Geringfügigkeitsschwellenwert der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) von 15 µg/l. Im Zeitraum von 2010 bis 2012 nahm die Belastung sowohl nach Messstellenanteil als auch

nach Höhe der Konzentrationen gegenüber der Untersuchungskampagne 2007 bis 2009 ab.

In allen Grundwässern sind **metallische Spurenstoffe** in unterschiedlich hohen Konzentrationen zu finden. Diese Stoffgehalte sind in den meisten Fällen natürlichen Ursprungs und je nach umgebender geologischer Formation in ihrer Zusammensetzung verschieden. Darüber hinaus können weitere Belastungen auch durch anthropogene Einträge entstehen, sei es durch Schadensfälle oder durch Abwässer, die aus undichter Kanalisation ins Grundwasser gelangen. Von solchen Kontaminationen sind in erster Linie Messstellen betroffen, in deren Einzugsbereichen sich Siedlungen oder Gewerbegebiete mit Firmen befinden, die im weitesten Sinne mit Metallver- und -bearbeitung oder mit der Farbpigmentherstellung zu tun haben. Von den insgesamt 23 untersuchten metallischen Spurenstoffen sind für zwölf aufgrund ihrer Toxizität Schwellen- oder Grenzwerte festgelegt. Bei Antimon und Kupfer traten keine Überschreitungen auf. Bei Aluminium, Blei, Bor, Cadmium, Chrom, Nickel, Selen und Uran wurden die Schwellen- bzw. Grenzwerte in Einzelfällen überschritten, teilweise geogen bedingt, teilweise aber auch durch Schadensfälle verursacht. Überschreitungen bei Arsen, Eisen und Mangan haben in Gebieten mit reduzierenden, d. h. sauerstoffarmen Grundwässern fast immer eine natürliche Ursache. Insgesamt sind Belastungen des Grundwassers mit metallischen Spurenstoffen überwiegend geogen bedingt und stellen auf die Fläche bezogen für die Grundwassernutzung kein Problem dar.

In einer Sondermesskampagne wurde 2013 die Belastung mit **Süßstoffen, Benzotriazolen, Arznei- und Röntgenkontrastmitteln** sowie **per- und polyfluorierten Chemikalien** an 57 durch Abwasser beeinflussten Messstellen untersucht. Generell lässt sich feststellen, dass das Konzentrationsniveau für die genannten Gruppen von Spurenstoffen unter direktem Abwassereinfluss aus der Kanalisation höher ist als bei Uferfiltrat. So wurden Süßstoffe und hierbei insbesondere Acesulfam in nahezu allen 57 risikobasiert ausgewählten Messstellen nachgewiesen. Per- und polyfluorierte Chemikalien sind am zweithäufigsten zu finden. Es folgen die Röntgenkontrastmittel und die Benzotriazole, die etwa halb so häufig wie die Süßstoffe auftreten. Die geringsten Fundhäufigkeiten sind innerhalb dieser Messkampagne bei

den Arzneimitteln zu beobachten. Die für Trinkwasser geltenden Gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) wurden, soweit sie für einzelne Verbindungen abgeleitet wurden, nur in Einzelfällen überschritten.

### 5.1.3 Grundwassermenge

#### Quantitatives Grundwassermessnetz

Das quantitative Grundwassermessnetz von Baden-Württemberg, das seit 1913 betrieben wird, umfasst rund 2 530 Messstellen (Stand: März 2015) 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 230 Trendmessstellen zum Grundwasserstand, rund 130 ausgewählten Quellen sowie 32 Lysimeteranlagen (Anlagen zur Erfassung der Sickerwassermengen) gewährleistet. Weitere Informationen enthält der jährlich erscheinende Bericht zum Grundwassermessprogramm ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Themen > Wasser > Grundwasser).

#### Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Die Grundwasserneubildung aus Niederschlag ist eine der wichtigsten Komponenten des Grundwasserhaushalts. Sie hängt von der jahreszeitlichen, längerfristigen und auch räumlichen Variabilität der Niederschlagsereignisse ab. Die Niederschläge beeinflussen aufgrund ihrer Sickerzeiten durch die Deckschichten meist zeitverzögert die Grundwasservorräte.

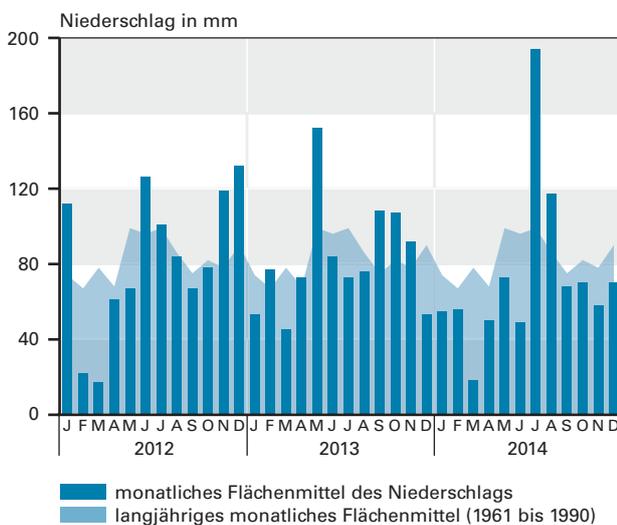


Abb. 5.1-7: Mittelwert des Niederschlags für Baden-Württemberg. Quelle: Deutscher Wetterdienst.

Im Zeitraum von 2012 bis 2014 waren die landesweiten mittleren Jahresniederschläge in der Summe leicht unterdurchschnittlich im Vergleich zum Referenzzeitraum der Jahre 1981 bis 2010 (Abb. 5.1-7). Die Mittelwerte verbergen starke monatliche Kontraste, beispielsweise außergewöhnlich hohe Niederschläge im Juni 2012, zum Jahresende 2012, im Mai 2013, im Herbst 2013 sowie insbesondere im Sommer 2014. Ungewöhnlich waren die geringen Niederschlagsmengen zum Jahresbeginn 2012, in den Monaten Januar und März 2013 sowie im ausgedehnten Zeitraum von Dezember 2013 bis einschließlich Juni 2014.

Die defizitären Niederschläge in der ersten Jahreshälfte des Jahres 2012 haben für eine geringe Grundwasserneubildung und somit landesweit rückläufige Grundwasservorräte gesorgt. Zum Jahresende haben starke Regenfälle eine Erholung des Bodenwasserspeichers bewirkt, was zu einem generellen Wiederanstieg der Grundwasserstände und Quellschüttungen geführt hat. Die überdurchschnittlichen Neubildungswerte erstreckten sich bis Mitte des Jahres 2014, wobei die kurzzeitigen, aber markanten Anstiege im Juni 2013 die naturgemäßen Rückgänge im darauf folgenden Sommer ausgleichen konnten.

Auf das niederschlagsreiche und neubildungsintensive Jahr 2013 folgten überwiegend trockene Monate. Dieses anhaltende Niederschlagsdefizit führte ab dem Frühjahr 2014 zu rückläufigen Versickerungen und Grundwasservorräten. Die extremen Niederschläge im Sommer 2014 konnten keine Trendumkehr einleiten (Abb. 5.1-8).

Weitere wichtige Einflussfaktoren für den Grundwasserhaushalt sind die Oberflächengewässer.

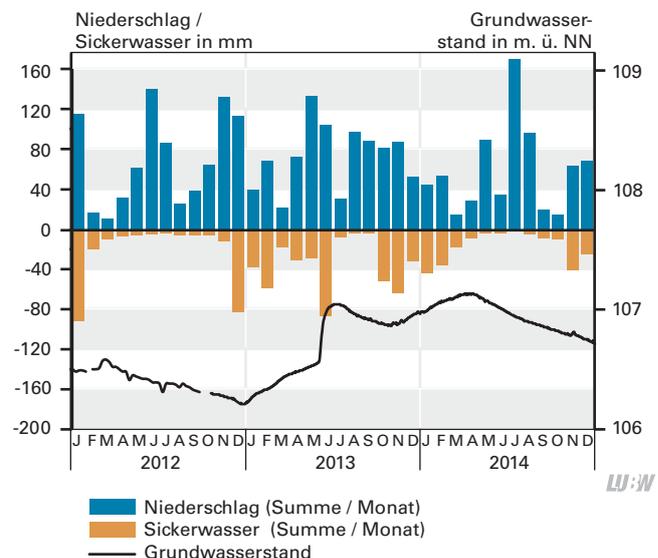


Abb. 5.1-8: Niederschlag, Sickerung und Grundwasserstand an der Lysimeteranlage Büchig nördlich von Karlsruhe.

## Grundwasservorräte

Die kurz- und langfristige Entwicklung der Grundwasservorräte wird an repräsentativen Messstellen (Trendmessstellen) beobachtet.

Insgesamt bewegten sich die Grundwasserstände und Quellschüttungen im Jahr 2012 auf etwa vergleichbarem Niveau wie im Vorjahr und entsprachen langjährigen, leicht unterdurchschnittlichen Verhältnissen. Die starken Niederschläge zum Jahresende 2012 haben für wirkungsvolle Anstiege auf ein hohes Niveau im gesamten Landesgebiet gesorgt. Im weiteren Verlauf des Jahres 2013 wurde diese Tendenz fortgesetzt und im Mai/Juni 2013 noch bekräftigt; vielerorts wurden im Frühjahr 2013 langjährige Monatshöchstwerte überschritten. Dank dieser günstigen Ausgangssituation bewegten sich die Grundwasserstände und Quellschüttungen bis zum Jahresende 2013 dauerhaft auf überdurchschnittlichem Niveau. Grundwasserstände und Quellschüttungen waren im Jahr 2014 dagegen überwiegend rückläufig. Der extrem nasse Sommer und das feuchte Jahresende sorgten für eine allmähliche Entspannung der quantitativen Grundwassersituation, weshalb im Dezember 2014 in allen Landesteilen mittlere Verhältnisse zu verzeichnen waren.

Die Abfolgen von Neubildungsarmen Zeiträumen (Sommer 2012 und 2014) und Perioden mit hoher Versickerung (von Herbst 2012 bis Frühjahr 2014) prägen die Grundwasserdynamik im Berichtszeitraum der Jahre 2012 bis 2014.

## 5.2 Zustand der Fließgewässer

Das Landesüberwachungsnetz Fließgewässer dient dem umfassenden und repräsentativen Überblick über den ökologischen und chemischen Zustand der Fließgewässer, der Dokumentation des bereits Erreichten und dem Aufzeigen von Defiziten.

Die Bewertung des ökologischen und chemischen Zustandes erfolgt nach europaweit einheitlichen Grundsätzen und beruht auf den Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie. Den Auswertungen der nachfolgenden Kapitel liegen in der Regel Untersuchungsdaten der Jahre 2011 bis 2013 zugrunde.

### 5.2.1 Ökologischer Zustand

Die Bewertung des ökologischen Zustandes erfolgt in erster Linie anhand der biologischen Qualitätskomponenten

- Phytoplankton (frei im Wasser schwebende Algen),
- Makrophyten und Phytobenthos (Gefäßpflanzen und Aufwuchsalgen),
- Makrozoobenthos (am Boden lebende, mit bloßem Auge sichtbare Wirbellose) sowie
- Fische.

Sie beruht auf dem Vergleich mit einem gewässerspezifischen Referenzzustand. Bei der Bewertung des ökologischen Zustandes sind unterstützend hydromorphologische sowie chemisch-physikalische Qualitätskomponenten heranzuziehen und die flussgebietspezifischen Schadstoffe zu berücksichtigen. Fortgeschrieben wird die Bewertung des ökologischen Zustandes mindestens alle sechs Jahre im Rahmen der Aktualisierung der Bewirtschaftungspläne.

#### Phytoplankton

Die biologische Qualitätskomponente Phytoplankton besteht aus im Freiwasser schwebenden Mikroalgen verschiedener Algenklassen, u. a. Kieselalgen, Grünalgen und Goldalgen. Deren Biomasseentwicklung in Fließgewässern ist hauptsächlich abhängig von der Nährstoffverfügbarkeit, der Wasseraufenthaltszeit, den Lichtverhältnissen sowie der Beeinträchtigung durch „grazing“ (Fraßverluste durch pflanzenfressende Zooplankter oder Filtrierer wie z. B. Muscheln). Das Phytoplankton ist in planktondominierten Flüssen wichtigster Primärproduzent von Biomasse und somit Ausgangspunkt im Nahrungsnetz. Als biologische Qualitätskomponente sind Algen für die meist größeren planktonführenden Flüsse Belastungsanzeiger für die Eutrophierung, die durch ein übermäßiges Angebot an Nährstoffen verursacht wird.

In Baden-Württemberg werden monatliche Proben in Rhein, Donau, Neckar, Kocher und Jagst erhoben und ausgewertet. Aufgrund natürlicher Schwankungen sind für belastbare Aussagen Untersuchungsreihen über mindestens drei Jahre erforderlich. Solche Untersuchungsreihen liegen für 14 Messstellen vor. Sie zeigen, dass sich Rhein und Donau in einem sehr guten bzw. guten Zustand im Hinblick auf die Nährstoffsituation befinden (Abb. 5.2-1). Dagegen wird ein guter Zustand des schiffbaren Neckars und seiner

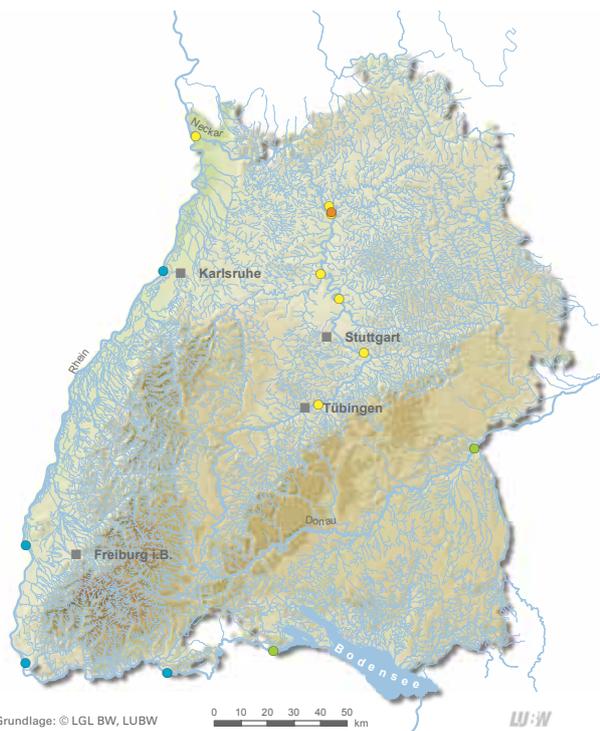


Abb. 5.2-1: Phytoplankton; Qualitätsklassen an den Untersuchungsstellen in Baden-Württemberg (aggregiert über den Zeitraum 2011 bis 2013).

beiden Nebenflüsse Jagst und Kocher, bedingt durch ihr hohes trophisches Niveau, mit dem massive Algenblüten und erhebliche Probleme mit dem Sauerstoffhaushalt einhergehen können, nicht erreicht (Abb. 5.2-1). Besonders im Neckar ist wegen der zahlreichen Staustufen und des phasenweise stillwasserartigen Charakters eine im Vergleich zu anderen frei fließenden Strömen erhöhte Sensitivität gegenüber Nährstoffbelastungen zu verzeichnen.

### Makrophyten und Phytobenthos

Die biologische Qualitätskomponente Makrophyten und Phytobenthos umfasst mehrere pflanzliche Organismengruppen: Gefäßpflanzen, untergetaucht lebende Moose, Armleuchteralgen sowie am Gewässerboden festsitzende Algen. Die verschiedenen Pflanzengruppen ergänzen sich als Zeigerorganismen und dienen der Bewertung der Nährstoffsituation, von strukturellen Defiziten sowie der Versauerung.

Die drei Teilkomponenten Makrophyten, Diatomeen (Kieselalgen) und Phytobenthos ohne Diatomeen wurden

an 549 Untersuchungsstellen kartiert und ausgewertet. Das Verfahren ist leitbildbezogen, d. h. es ermittelt je nach Artenzusammensetzung und Besiedlungsdichte den jeweiligen Grad der Abweichung von einem gewässertypspezifischen Referenzzustand.

An etwa 63 % der Untersuchungsstellen fallen die Ergebnisse mäßig oder schlechter aus. Nur etwa 37 % der untersuchten Fließgewässerabschnitte weisen einen guten oder sehr guten Zustand auf (Abb. 5.2-2). Untersuchungsstellen mit mäßigem und unbefriedigendem Zustand finden sich vermehrt im Neckareinzugsgebiet, in Oberschwaben und im nordbadischen Raum.

Die Nährstoffverhältnisse haben maßgeblichen Einfluss auf die Gewässer. Wo hohe Nährstoffkonzentrationen (gelöstes Orthophosphat) gemessen werden, zeigen durchweg auch die Wasserpflanzen Defizite an (vgl. Abb. 5.2-12 und Abb. 5.2-13). Die Reduktion der Phosphoreinträge aus Kläranlagen und landwirtschaftlichen Flächen ist daher eine wichtige Voraussetzung, um diesen Zustand zu verbessern.

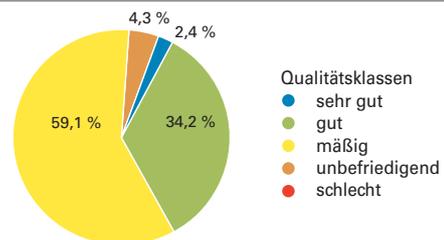
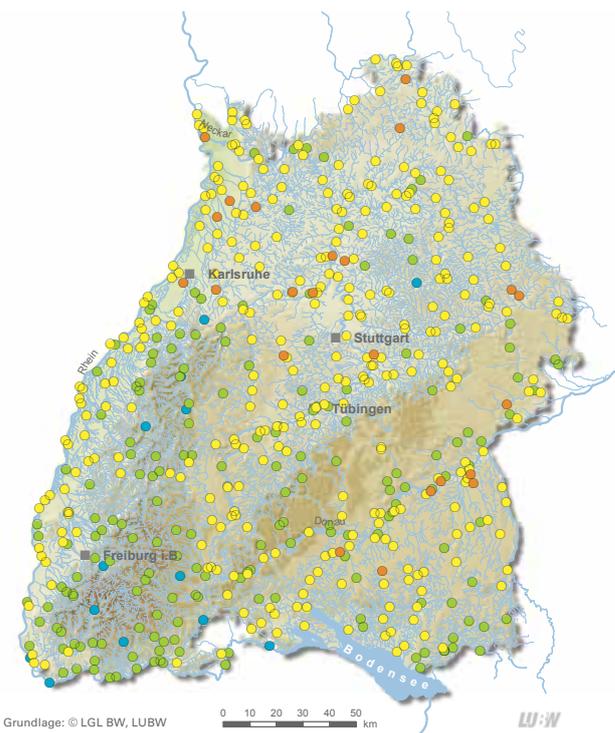


Abb. 5.2-2 Makrophyten und Phytobenthos; Qualitätsklassen an den Untersuchungsstellen in Baden-Württemberg und prozentuale Verteilung der Qualitätsklassen. Stand: 2012

## Makrozoobenthos

Zur biologischen Qualitätskomponente Makrozoobenthos gehören alle benthischen, d. h. am Boden lebenden und mit dem bloßen Auge sichtbaren wirbellosen Gewässertiere wie Krebse, Insekten, Schnecken, Muscheln, Würmer, Egel, Strudelwürmer und Schwämme. Das Makrozoobenthos ist aufgrund seiner relativen Langlebigkeit und weiten Verbreitung besonders gut als Umweltindikator geeignet.

Mit Hilfe des Makrozoobenthos kann der Einfluss verschiedener Gewässerbelastungen aufgezeigt werden. Die Bewertung erfolgt nach Artenzusammensetzung und Besiedlungsdichte leitbildorientiert am Referenzzustand des jeweiligen Fließgewässertyps. In den Untersuchungsjahren 2012 und 2013 wurden insgesamt 908 Untersuchungsstellen beprobt und ausgewertet.

Die Auswirkungen von Belastungen der Fließgewässer mit organischen, leicht abbaubaren Stoffen und die sich daraus ergebenden Sauerstoffverhältnisse im Gewässer werden anhand der Saprobie erfasst.

In der langjährigen Entwicklung hat sich der Gütezustand der Fließgewässer stetig verbessert. Im Vergleich zur Gütekartierung aus dem Jahr 1968 sank die Zahl der saprobiell defizitären Gewässerabschnitte von 59 % auf heute unter 10 %. Ursächlich dafür sind insbesondere die stetig abnehmenden Belastungen mit organischen, leicht abbaubaren Stoffen (vgl. Abb. 5.2-8 und Abb. 5.2-9). Sie sind das Ergebnis der landesweit verbesserten Abwasserreinigung und Regenwasserbehandlung. Die Nachrüstung der Kläranlagen mit Stickstoff- und Phosphorelimination wirkte sich ebenfalls positiv auf die Gewässergüte aus.

Belastungsschwerpunkte stellen nach wie vor die Oberrheinebene sowie Teile des Neckar-, Donau- und Bodenseeeinzugsgebietes dar (Abb. 5.2-3). Hauptgründe für die Defizite sind zumeist hohe Abwasseranteile und das niedrigere Selbstreinigungspotenzial der oft gefällearmen und langsam strömenden Gewässer.

Anhand des Makrozoobenthos lässt sich im Unterschied zu früheren Untersuchungen keine gravierende Versauerung

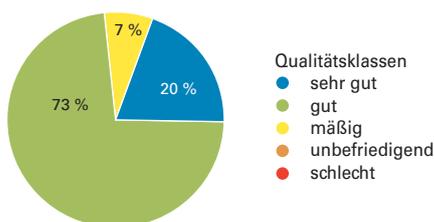
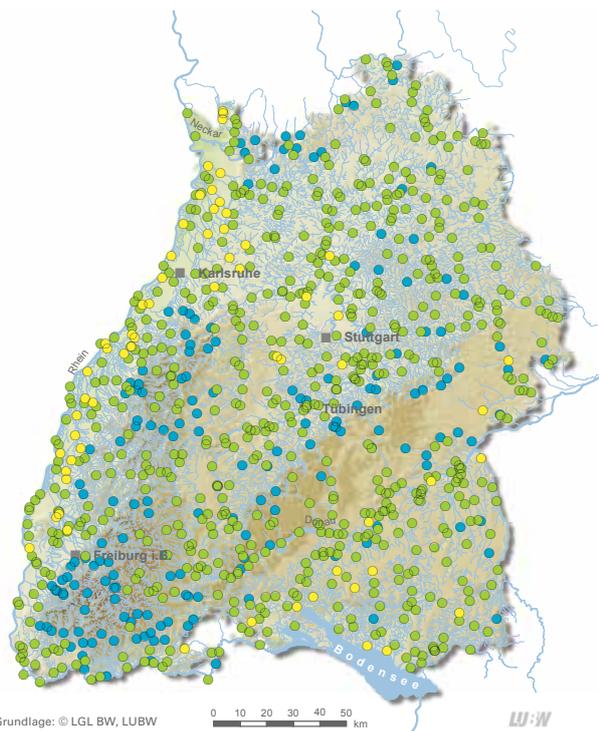


Abb. 5.2-3: Makrozoobenthos, Saprobie; Qualitätsklassen an den Untersuchungsstellen in Baden-Württemberg und prozentuale Verteilung der Qualitätsklassen. Stand: 2013

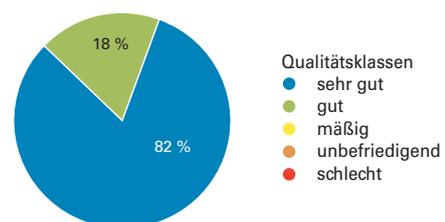
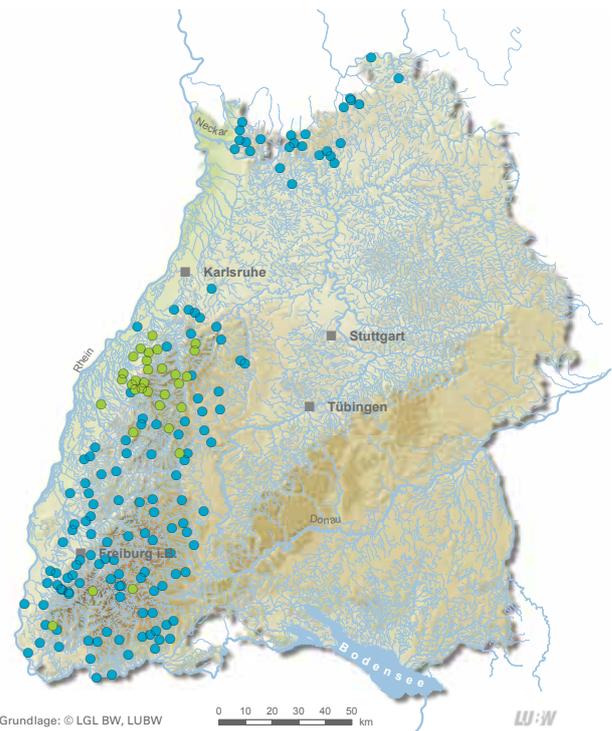


Abb. 5.2-4 Makrozoobenthos, Versauerung; Qualitätsklassen an den Untersuchungsstellen in Baden-Württemberg und prozentuale Verteilung der Qualitätsklassen. Stand: 2013

der Gewässer mehr feststellen (vgl. Abb. 5.2-18). Bei den 2013 durchgeführten Untersuchungen der versauerungsgefährdeten Fließgewässertypen der grob- und feinmaterialreichen, silikatischen Mittelgebirgsbäche weisen etwa 82 % der Probestellen einen nicht sauren Zustand (Säureklasse 1) auf, während 18 % der Probestellen einen überwiegend neutralen bis episodisch schwach sauren Säurezustand (Säureklasse 2) indizieren (Abb. 5.2-4).

Mithilfe des Makrozoobenthos lassen sich auch Beeinträchtigungen der Gewässermorphologie, wie z. B. naturferne Gewässerstrukturen aufgrund von Ausbaumaßnahmen anhand der Allgemeinen Degradation indizieren. Auch Nutzungen und Einflüsse aus dem Einzugsgebiet wie die Einschwemmung von Feinmaterial aus Ackerflächen können das Ergebnis beeinflussen.

Hinsichtlich der Allgemeinen Degradation konnten an ca. 44 % der Untersuchungsstellen Defizite festgestellt werden (Abb. 5.2-5). Die strukturelle Degradation an Fließgewässern ist damit ein landesweites, flächendeckendes Problem.

Lediglich in den Höhenlagen des Schwarzwaldes, Teilen der Schwäbischen Alb und dem Westallgäuer Hügelland weisen weiträumige Gebiete noch Fließgewässerstrecken mit intakten Strukturen auf.

### Fische

Fischbestandsuntersuchungen und die darauf basierenden Fließgewässerbewertungen werden von der Fischereiforschungsstelle (FFS) des Landwirtschaftlichen Zentrums für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei (LAZBW) im Auftrag und in Zusammenarbeit mit der LUBW durchgeführt. Um repräsentative Ergebnisse zu erzielen, werden ähnlich wie beim Phytoplankton Untersuchungen aus mehreren Jahren zusammengefasst. Dadurch werden auch weiter zurückliegende Untersuchungsergebnisse einbezogen.

Weichen die bei den Bestandsaufnahmen vorgefundenen Fischbestände in ihrer Artenzusammensetzung und Altersstruktur von den Referenzbedingungen ab, so ist dies in-

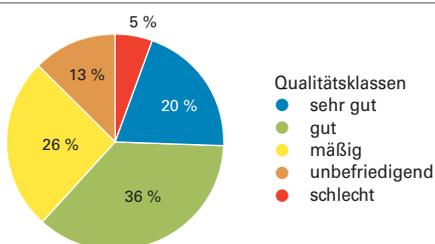
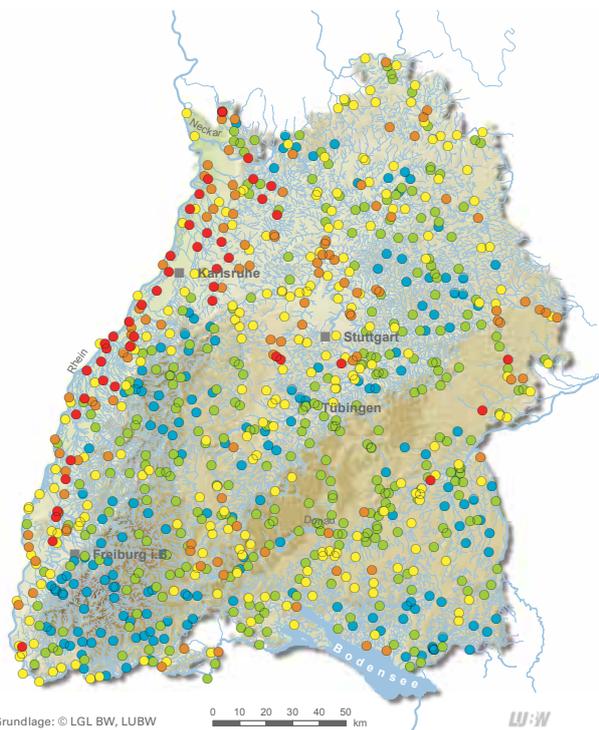


Abb. 5.2-5: Makrozoobenthos, Allgemeine Degradation; Qualitätsklassen an den Untersuchungsstellen in Baden-Württemberg und prozentuale Verteilung der Qualitätsklassen. Stand: 2013

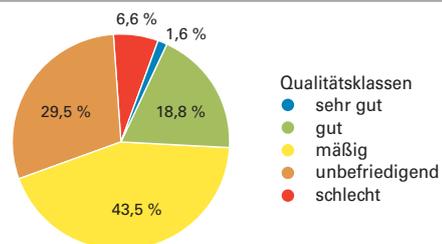
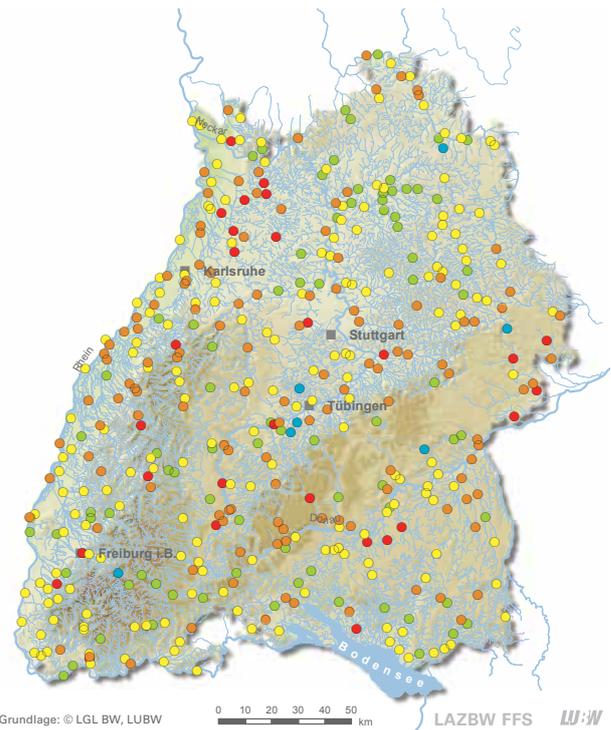


Abb. 5.2-6: Ergebnisse Fische, Qualitätsklassen an den Untersuchungsstellen in Baden-Württemberg und prozentuale Verteilung der Qualitätsklassen. Untersuchungen: Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg – Fischereiforschungsstelle. Stand: 2014

der Regel ein Hinweis auf Defizite der Hydromorphologie (Gewässerstruktur, Durchgängigkeit, Abflussgeschehen). Der Abbildung 5.2-6 liegen Fischbestandsuntersuchungen an 427 Untersuchungsstrecken aus den Jahren 2007 bis 2013 (in Ausnahmen auch aus 2006 und 2014) zugrunde. Nur 20 % der Stellen erreichen derzeit eine gute Bewertung. Diese liegen erwartungsgemäß in den eher dünn besiedelten Gebieten. In weiten Teilen des Landes muss der gute Zustand durch strukturelle Verbesserungen, durch Wiederherstellen der Durchgängigkeit oder bessere Abflussbedingungen erst wieder geschaffen werden (vgl. „hydromorphologische Qualitätskomponenten“).

### Hydromorphologische Komponenten

Zu den hydromorphologischen Qualitätskomponenten bei Fließgewässern zählen „Durchgängigkeit“, „Morphologie“ und „Wasserhaushalt“. Diese sind mit ihren Teilkomponenten und Einzelparametern bedeutende Indikatoren für die ökologische Funktionsfähigkeit der Gewässer, die unterstützend in die ökologische Zustandsbewertung einfließen. Jede Komponente muss ausreichend naturnahe Bedingungen aufweisen, damit sich der gute ökologische Zustand einstellen kann.

Die hydromorphologischen Qualitätskomponenten sind integraler Bestandteil der Überwachungsprogramme und unterliegen im Regelfall dem sechsjährigen Überwachungszyklus.

Die Datenbank Anlagenkataster Wasserbau als Datengrundlage für Durchgängigkeit und Wasserhaushalt wird von den für die Daten zuständigen Behörden kontinuierlich fortgeschrieben und verbessert. Zur Verbesserung der Datengrundlage für die Morphologie wird seit 2010 eine landesweite Gewässerstrukturkartierung nach dem Feinverfahren Baden-Württembergs durchgeführt, dabei werden die in Tab. 5.2-1 aufgeführten Hauptparameter erhö-

ben. Ziel ist es, einen landesweit aktuellen Überblick über die hydromorphologischen Komponenten zu erhalten. Die Vor-Ort-Kartierung der Gewässerstruktur nach dem Feinverfahren umfasst ca. 14 000 km und wird 2015 abgeschlossen. Anschließend wird eine Plausibilisierung durch die zuständigen Behörden – Landratsämter und Regierungspräsidien – erfolgen, damit zuverlässige Daten in der Datenbank landesweit zur Verfügung stehen.

### Chemisch-physikalische Komponenten

Wie die hydromorphologischen Komponenten prägen auch die chemisch-physikalischen Komponenten die Lebensbedingungen in den Fließgewässern und fließen daher unterstützend in die ökologische Zustandsbewertung ein. Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) hat für aussagekräftige Kenngrößen nach Gewässertypen differenzierte Orientierungswerte festgelegt [LAWA 2007]. Diese wurden anhand biologischer Bewertungsergebnisse überprüft und entsprechend dem aktuellen Kenntnisstand angepasst [LAWA 2014]. Überschreitungen dieser Werte weisen auf Defizite des Gewässerzustandes hin und können Ansatzpunkte für notwendige Sanierungsmaßnahmen sein. Im Folgenden wird der aktuelle Zustand anhand der im Zeitraum von 2011 bis 2013 durchgeführten Untersuchungen für die maßgeblichen Güteaspekte Temperaturverhältnisse, Sauerstoffhaushalt, Nährstoffverhältnisse, Salzgehalt und Säurezustand dargestellt. Ergänzend wird, soweit möglich, auch auf die langjährige Entwicklung eingegangen. Diese Trendbetrachtung erfolgt anhand der Daten des Zeitraumes von 2000 bis 2013.

Die langjährigen Untersuchungsdaten zur chemisch-physikalischen Beschaffenheit der Fließgewässer sind im Internet über den Jahresdatenkatalog abrufbar ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Themen > Wasser > Fließgewässer > Fließgewässerbeschaffenheit > mehrjährige Datenreihen).

Tab. 5.2-1: Datengrundlagen hydromorphologischer Komponenten. Stand: 2014

Komponente	Parameter	Datengrundlage
Durchgängigkeit	Durchgängigkeit bei anthropogenen Wanderungshindernissen	Anlagenkataster Wasserbau (AKWB)
Morphologie	Hauptparameter: Laufentwicklung, Längsprofil, Querprofil, Sohlenstruktur, Uferstruktur und Gewässerumfeld	Übersichtsverfahren der Bund-Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA (siebenstufige Zustandsklassen) seit 2010: Feinverfahren Baden-Württemberg (fünf- bzw. siebenstufige Zustandsklassen)
Wasserhaushalt	Mindestabfluss in Ausleitungsstrecken, Brauchwasserentnahme ohne sofortige Wiedereinleitung	Pegelnetz LUBW, Anlagenkataster Wasserbau (AKWB)

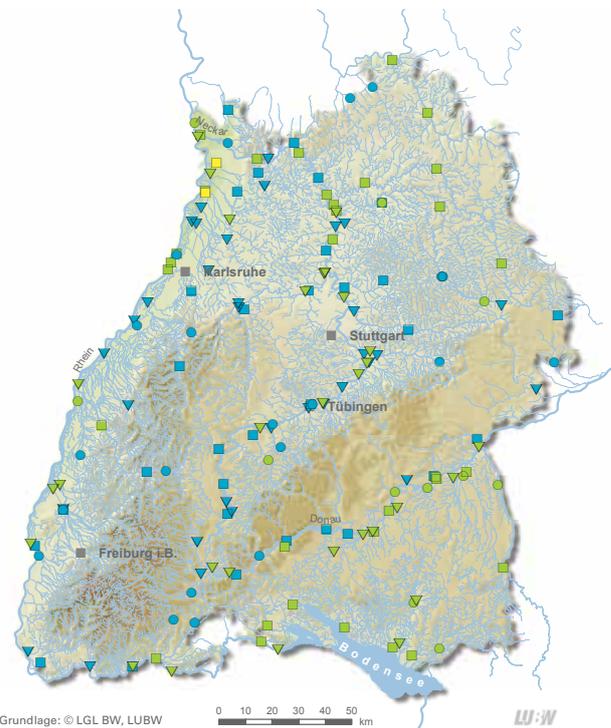
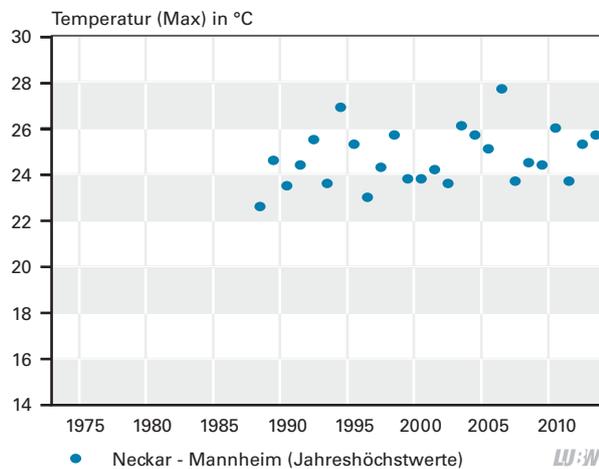
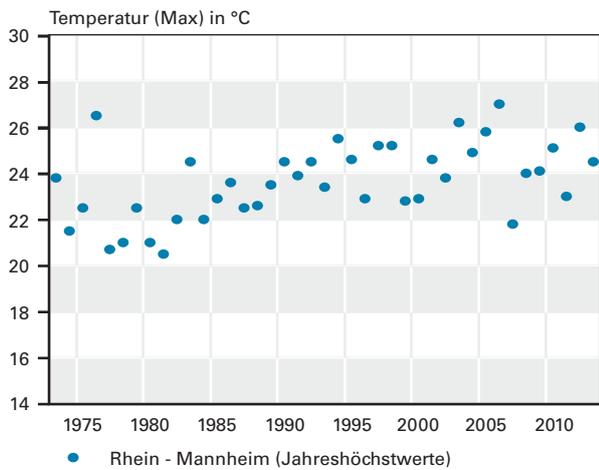
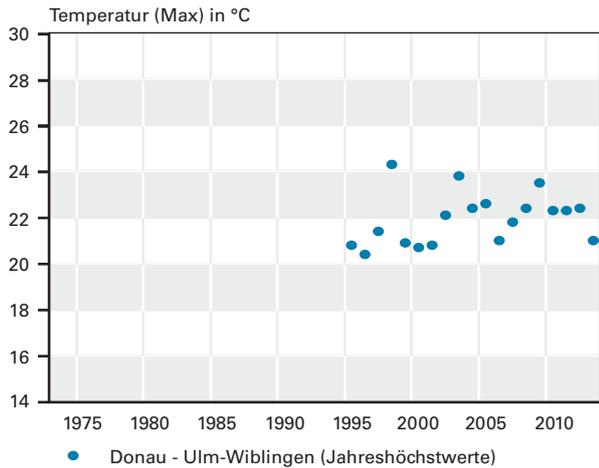
Die jährlichen Schwankungen der **Wassertemperatur** werden primär von der Wasserführung und der meteorologischen Situation der einzelnen Jahre bestimmt. An Rhein und Neckar wird die Wassertemperatur zusätzlich vom Wärmeeintrag der Kraftwerke beeinflusst.

Feststellbar in Rhein und Neckar ist gegenüber Anfang der 1970er-Jahre ein Anstieg der gemessenen Maximaltemperaturen, der im Wesentlichen auf gestiegene Lufttemperaturen zurückzuführen ist (Klimawandel) (Abb. 5.2-7). In

den letzten fünf Jahren wurde der Wärmeeintrag durch Kraftwerksstilllegungen in Folge des Atomausstiegs und der Energiewende deutlich reduziert – ein Trend, der sich voraussichtlich in den folgenden Jahren weiter fortsetzen wird. Ein klimabedingter Anstieg der Wassertemperaturen kann hierdurch abgemildert werden.

Der **Sauerstoffhaushalt** der Fließgewässer wird einerseits durch die Belastung durch biologisch leicht abbaubare Stoffe und deren Abbauprozesse im Gewässer sowie andererseits durch die Wiederbelüftung bestimmt.

Die Belastung des Gewässers durch sauerstoffzehrende Substanzen kann durch den „biochemischen Sauerstoffbedarf in 5 Tagen“ (BSB<sub>5</sub>) charakterisiert werden. Sie ist heute, gemessen an den gewässertypischen Orientierungswerten der LAWA [LAWA 2014], vergleichsweise gering (Abb. 5.2-8). Höhere BSB<sub>5</sub>-Belastungen weisen nur 1 % der Messstellen auf. Diese liegen an Gewässern, die einen besonders hohen Abwasseranteil oder unzureichend gereinigte Abwässer aufnehmen. Insbesondere bei ungenügender Re-



Zustand	sehr gut (Referenzbedingungen)	gut (Orientierungswert eingehalten)	nicht gut (Orientierungswert überschritten)
Trend	▲ ansteigend	▼ abnehmend	■ nicht signifikant
			● zu wenige Daten

Abb. 5.2-7: Entwicklung der Jahreshöchstwerte der Wassertemperatur von Rhein, Neckar und Donau.

Abb. 5.2-8: Belastung der Fließgewässer durch sauerstoffzehrende Stoffe in Baden-Württemberg (gemessen als BSB<sub>5</sub>, Zustand anhand der Mittelwerte aus den Jahren 2011 bis 2013, Trend der Jahrmittelwerte von 2000 bis 2013).

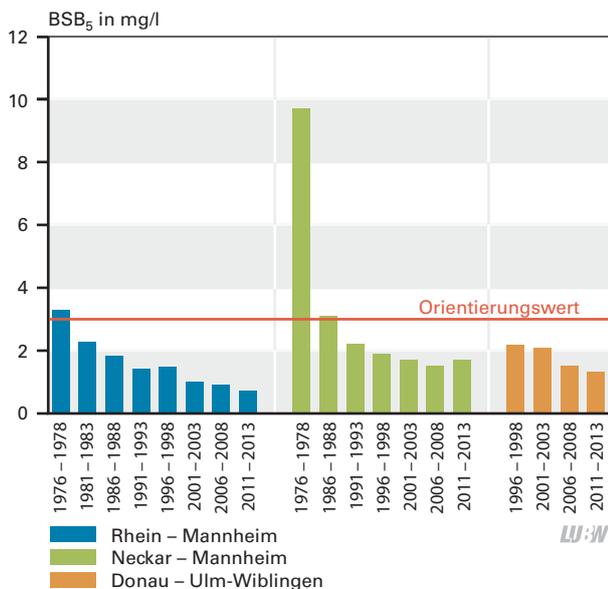


Abb. 5.2-9: Langjährige Entwicklung der Belastung durch sauerstoffzehrende Stoffe in Rhein, Neckar und Donau, gemessen als BSB<sub>5</sub> (Mittelwerte), Orientierungswert [LAWA 2014].

genwasserbehandlung und bei Überlastung von Kläranlagen oder bei Störungen im Klärbetrieb können größere Mengen sauerstoffzehrender Stoffe in die Gewässer eingetragen werden.

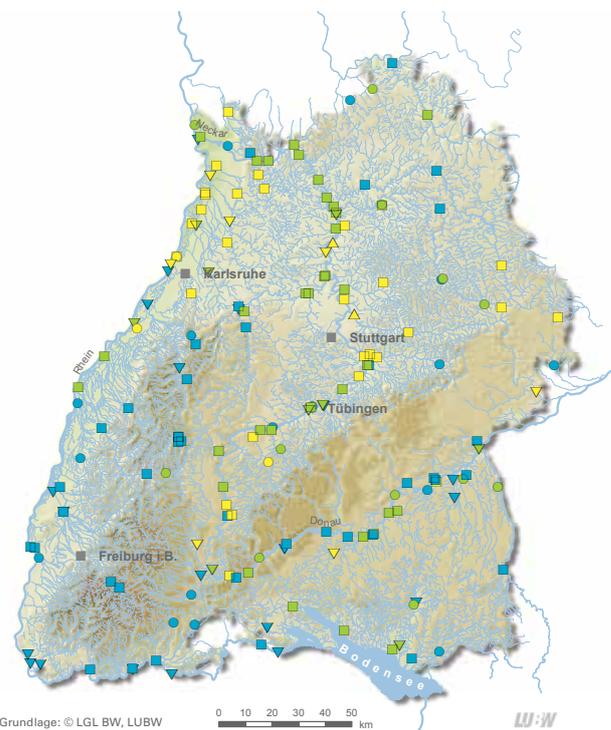
Die heute geringe Belastung der Fließgewässer ist dem in den vergangenen Jahrzehnten erfolgten konsequenten Neu- und Ausbau von Kläranlagen und Regenwasserbehandlungsanlagen zu verdanken. Die Verringerung beträgt im Rhein im Mittel um über 78 %, im Neckar um 82 % und in der Donau bei allerdings kürzerer Beobachtungszeit um über 39 % (Abb. 5.2-9). An den Messstellen mit möglicher Trendbetrachtung zeigt sich, dass auch in den letzten Jahren die Belastung an 49 % der Messstellen weiter reduziert wurde. An den übrigen 51 % der Messstellen stagnieren die Gehalte auf vergleichsweise niedrigem Niveau.

Der **Sauerstoffgehalt** der Fließgewässer ist heute infolgedessen meist gut bis zufriedenstellend. Allerdings werden in empfindlichen Gewässerabschnitten, z. B. in dem durch Aufstau schiffbar gemachten Neckar, bei sommerlichem Niedrigwasser und hohen Wassertemperaturen weiterhin zeitweise zu niedrige Sauerstoffgehalte vorgefunden. Neben den sauerstoffzehrenden Substanzen trägt hierzu auch das Pflanzenwachstum durch Nährstoffe aus Abwasser und Landwirtschaft bei. Für den gestauten Neckar wurde daher das sogenannte „Sauerstoffreglement Neckar“ eingerichtet, um einem Absinken der Sauerstoffgehalte auf fischkritische Werte entgegenzuwirken (vgl. Kap. 11.6).

Die Stickstoffverbindung **Ammonium** ist als Abbauprodukt eiweißhaltiger Verbindungen in ungereinigtem häuslichen Abwasser in vergleichsweise hohen Konzentrationen enthalten. Bei unzureichender Nitrifikation in den Kläranlagen oder durch die Regenentlastung kann Ammonium in die Gewässer eingetragen werden. Eine hohe Restbelastung an Ammonium ist problematisch für die Gewässer, da Ammonium mit dem stark fischtoxischen Ammoniak in einem Gleichgewicht steht. In höheren Gehalten belastet es zudem den Sauerstoffhaushalt.

Aktuell weisen 23 % der Messstellen des Landes Ammoniumgehalte über dem deutlich abgesenkten Orientierungswert der LAWA [LAWA 2014] von 0,1 mg/l Ammoniumstickstoff auf (Abb. 5.2-10).

Die Ammoniumbelastung der Gewässer ist durch die ergriffenen Sanierungsmaßnahmen bei der Abwasser- und Regenwasserbehandlung in den letzten Jahrzehnten stark reduziert worden: im Rhein um über 90 %, im Neckar um über 95 % und in der Donau um 58 % (Abb. 5.2-11).



Zustand	● sehr gut (Referenzbedingungen)	● gut (Orientierungswert eingehalten)	● nicht gut (Orientierungswert überschritten)
Trend	▲ ansteigend	■ nicht signifikant	● zu wenige Daten
	▼ abnehmend		

Abb. 5.2-10: Belastung der Fließgewässer mit Ammonium (Zustand anhand der Mittelwerte aus den Jahren 2011 bis 2013, Trend der Jahresmittelwerte von 2000 bis 2013).

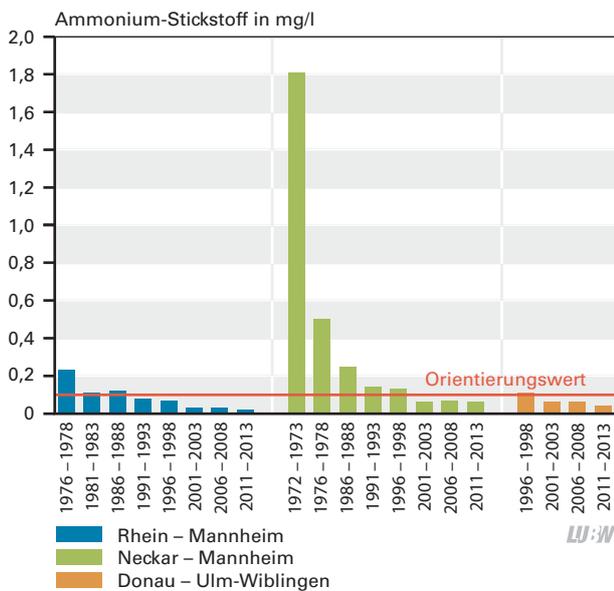
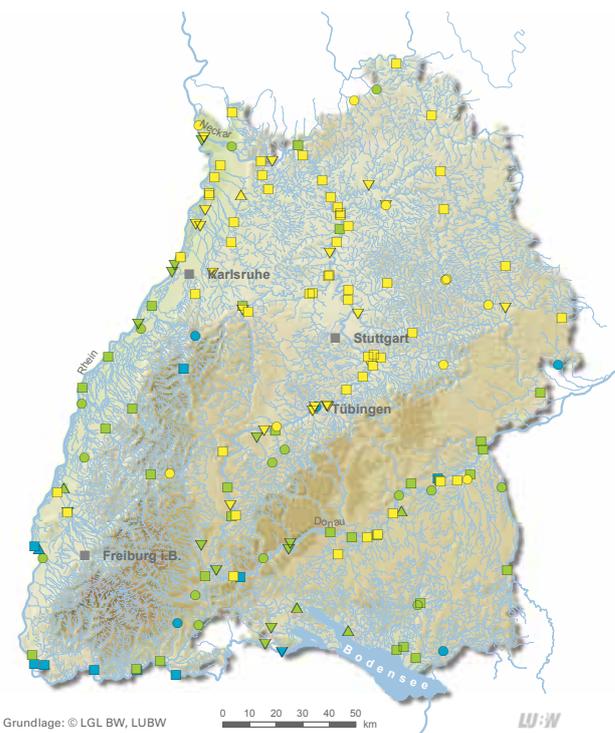


Abb. 5.2-11: Ammonium-Stickstoffkonzentrationen in Rhein, Neckar und Donau (Mittelwerte), Orientierungswert [LAWA 2014].

In den letzten Jahren wurden an 26 % der Messstellen mit möglicher Trendbetrachtung weiter abnehmende Gehalte festgestellt; 73 % der Messstellen weisen keinen einheitlichen Trend mehr auf. Eine zunehmende Belastung wird an 1 % der Messstellen beobachtet. Diese liegen an Rems und Schozach.

Die **Nährstoffverhältnisse** eines Gewässers werden insbesondere durch die Pflanzennährstoffe Phosphat und Nitrat beeinflusst. Erhöhte **Phosphatgehalte** führen zur Eutrophierung, 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 die gestauten Bereiche von Neckar und Donau. Phosphat wird überwiegend aus kommunalen Kläranlagen sowie diffus aus landwirtschaftlich genutzten Flächen durch Abschwemmung eingetragen.

Die nach Gewässertyp differenzierten Orientierungswerte der LAWA [LAWA 2014] von 0,05 mg/l bzw. 0,07 mg/l werden an 52 % der Messstellen und somit in weiten Landesteilen überschritten (Abb.5.2-12). Um die Eutrophierung zu reduzieren und den guten ökologischen Zustand für die pflanzlichen Komponenten zu erreichen, kommt der weiteren Reduktion der Phosphateinträge besondere Bedeutung zu.



Grundlage: © LGL BW, LUBW

0 10 20 30 40 50 km

LU:W

- |                |   |
|----------------|---|
| <b>Zustand</b> | ● sehr gut (Referenzbedingungen)              |
|                | ● gut (Orientierungswert eingehalten)         |
|                | ● nicht gut (Orientierungswert überschritten) |
| <b>Trend</b>   | ▲ ansteigend                                  |
|                | ▼ abnehmend                                   |
|                | ■ nicht signifikant                           |
|                | ● zu wenige Daten                             |

Abb. 5.2-12: Belastung der Fließgewässer durch Phosphat in Baden-Württemberg (Zustand anhand der Mittelwerte aus den Jahren 2011 bis 2013, Trend der Jahresmittelwerte von 2000 bis 2013).

Betrachtet man die langjährige Entwicklung, zeigt sich bis Mitte 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. Auch in der Landwirtschaft ist der Einsatz von Phosphor als Dünger zurückgegangen. An Rhein und Neckar zeigt die langjährige Beobachtung einen Rückgang von 79 % bzw. 89 % für den aus der Wasserphase aufnehmbaren pflanzenverfügbaren Phosphor (Orthophosphat-Phosphor), verglichen mit den Werten zu Beginn der Messungen Anfang der 1970er-Jahre (Abb. 5.2-13).

An 25 % der Messstellen mit möglicher Trendbetrachtung nahm auch in den letzten Jahren die Phosphatbelastung weiter signifikant ab. Dagegen weisen 70 % der Messstellen stagnierende und 5 % der Messstellen sogar zunehmende Gehalte auf.

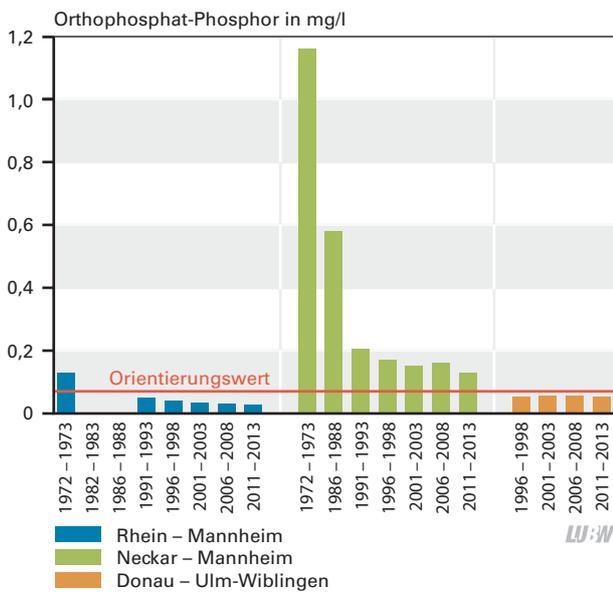


Abb. 5.2-13: Phosphatkonzentrationen (Orthophosphat-Phosphor) in Rhein, Neckar und Donau (Mittelwerte), Orientierungswert [LAWA 2014].

**Nitrat**, die mengenmäßig bedeutendste Stickstoffverbindung in Fließgewässern, trägt als Pflanzennährstoff in den Fließgewässern nicht maßgeblich zur Eutrophierung bei. Es wird aber in den aufnehmenden Küstengewässern und Meeren für die dort beobachtbaren Eutrophierungserscheinungen verantwortlich gemacht. Nitrat wird aus kommunalen Kläranlagen und zu einem erheblichen Anteil auch diffus über Abschwemmungen und über das Grundwasser in die Fließgewässer eingetragen (Abb. 5.2-14).

Die bislang in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) festgelegte Umweltqualitätsnorm von 50 mg/l Nitrat (entsprechend 11,3 mg/l Nitrat-Stickstoff) wird in den Fließgewässern des Landes eingehalten. Als weitergehendes Ziel wurde von den Rheinanliegern zum Schutz der Nordsee vereinbart, dass bis 2015 im Rhein an der deutsch-niederländischen Grenze das Jahresmittel für Gesamtstickstoff auf 2,8 mg/l reduziert werden soll [IKSR 2009].

Die Nitratgehalte in den Flüssen haben bis Ende der 1980er-Jahre zugenommen. Danach erfolgte eine Trendumkehr zu abnehmenden Gehalten (Abb. 5.2-15). Seitdem konnten die Nitratgehalte im Rhein um 24 %, im Neckar um 36 % und in der Donau bei allerdings kürzerer Beobachtungszeit um 6 % reduziert werden. Diese positive Entwicklung ist in erster Linie eine Folge der Nachrüstung von Kläranlagen mit Verfahrensstufen zur Stickstoffeliminierung, aber auch des reduzierten Einsatzes in der Landwirtschaft.

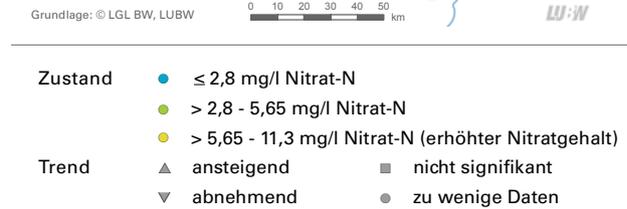
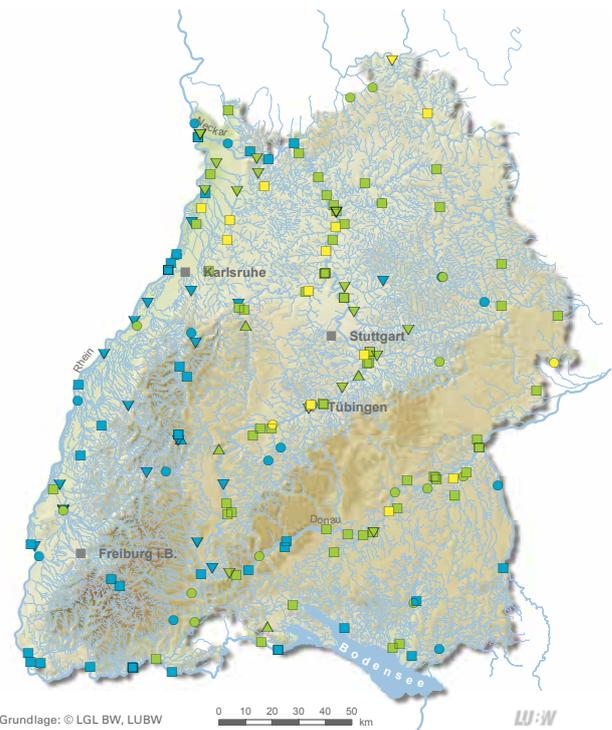


Abb. 5.2-14: Belastung der Fließgewässer durch Nitrat in Baden-Württemberg (Zustand anhand der Mittelwerte aus den Jahren 2011 bis 2013, Trend der Jahresmittelwerte 2000 bis 2013).

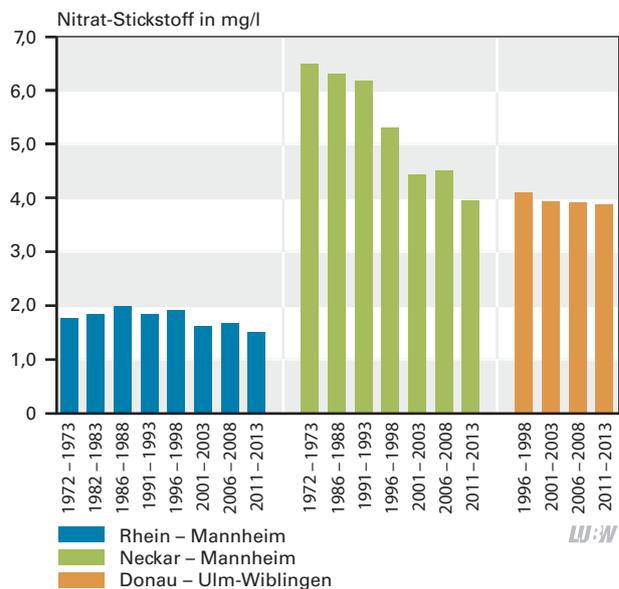


Abb. 5.2-15: Nitrat-Stickstoffkonzentrationen in Rhein, Neckar und Donau (Mittelwerte).

Die Trendbetrachtung zeigt, dass in den letzten Jahren die Nitratgehalte an 24 % der Messstellen weiter abnahmen, an 72 % der Messstellen stagnierten und an 4 % der Messstellen anstiegen.

Hohe **Salzgehalte** können zur Beeinträchtigung aquatischer Organismen und zu Korrosionsproblemen bei der Trinkwasserversorgung führen. Die Chlorideinträge in die kleinen Gewässer stammen im Wesentlichen aus häuslichen Abwässern, die über die kommunalen Kläranlagen eingetragen werden. Weitere Einträge kommen aus Streusalz, das im Winter nach Erfordernis eingesetzt wird und von den Verkehrswegen in die Gewässer gelangt. An den Messstellen des Landes wird der Orientierungswert der LAWA [LAWA 2014] von 200 mg/l Chlorid eingehalten (Abb. 5.2-16).

Im Oberrhein ist die Salzbelastung gegenüber Mitte der 1980er-Jahre um rund 80 % zurückgegangen, im Wesentlichen als Ergebnis des Chloridübereinkommens zwischen den Rheinanliegerstaaten sowie der 2003 erfolgten Produktionseinstellung in den elsässischen Kaliminen. Im Neckar unterhalb von Heilbronn waren die Chloridkonzentrationen bis 1992 ebenfalls stark erhöht. Nach der Einstellung der Sodaproduktion in einem Betrieb im Raum Heilbronn im Jahr 1993 ist die Chloridbelastung des Neckars sprunghaft um nahezu 60 % zurückgegangen. Die

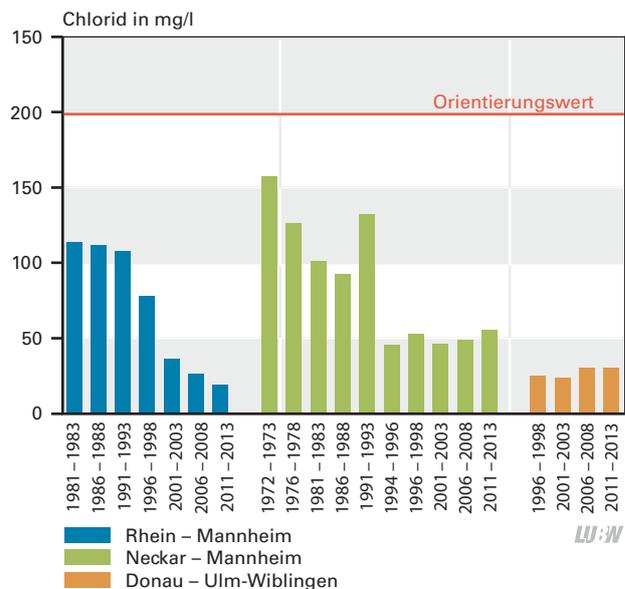
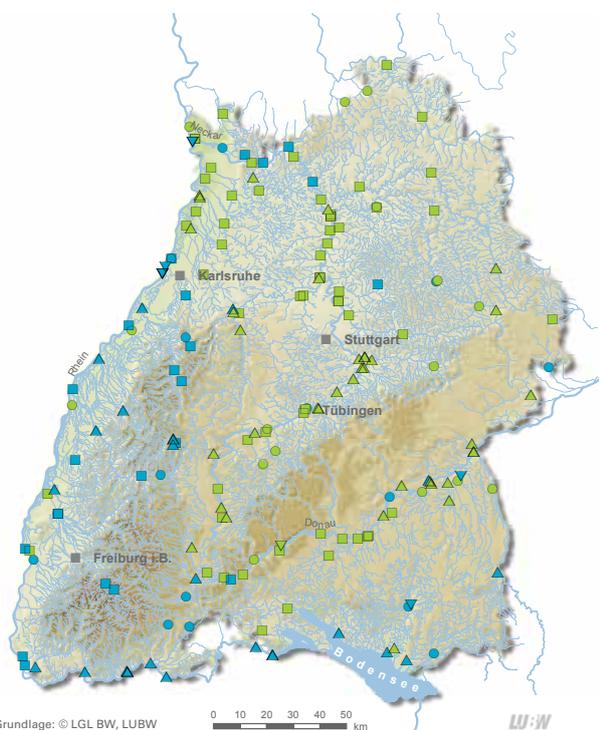


Abb. 5.2-17: Chloridkonzentrationen in Rhein, Neckar und Donau (Mittelwerte), Orientierungswert gemäß [LAWA 2014].

Salzbelastung der Donau ist seit Beginn der Messungen vergleichsweise gering (Abb. 5.2-17).

In den letzten Jahren werden an 40 % der Messstellen mit möglicher Trendbetrachtung ansteigende Chloridgehalte beobachtet. Neben Streusalzen tragen hierzu auch Industriebetriebe und Enthärtungsanlagen zur Trinkwasseraufbereitung bei.

Zu einer Versauerung der Gewässer führen luftgetragene **Säureinträge** in Naturräumen, deren Böden natürlicherweise nur schwach gepuffert sind. In Gewässern mit einem Einzugsgebiet über 10 km<sup>2</sup> wird der nach verschiedenen Gewässertypen differenzierte Orientierungswert [LAWA 2014] weitestgehend eingehalten. Dagegen können in Oberläufen kleiner Gewässer des Schwarzwaldes und Odenwaldes auch heute noch deutlich geringere pH-Werte insbesondere nach Schneeschmelzen und Starkregen auftreten. Daher werden ausgewählte Gewässer bereits seit Mitte der 1980er-Jahre im Rahmen eines Sonderuntersuchungsprogrammes überwacht. Ersichtlich ist die insgesamt positive Entwicklung mit ansteigenden pH-Werten in Abbildung 5.2-18, in welcher exemplarisch die langjährigen Daten für den Oberlauf des im Südschwarzwald gelegenen Goldersbach und für den im Nordschwarzwald gelegenen Dürreychbach dargestellt sind.



Zustand	sehr gut (Referenzbedingungen)	gut (Orientierungswert eingehalten)
Trend	▲ ansteigend	▼ abnehmend
	■ nicht signifikant	● zu wenige Daten

Abb. 5.2-16: Belastung der Fließgewässer durch Chlorid in Baden-Württemberg (Zustand anhand der Mittelwerte aus den Jahren 2011 bis 2013, Trend der Jahresmittelwerte 2000 bis 2013).

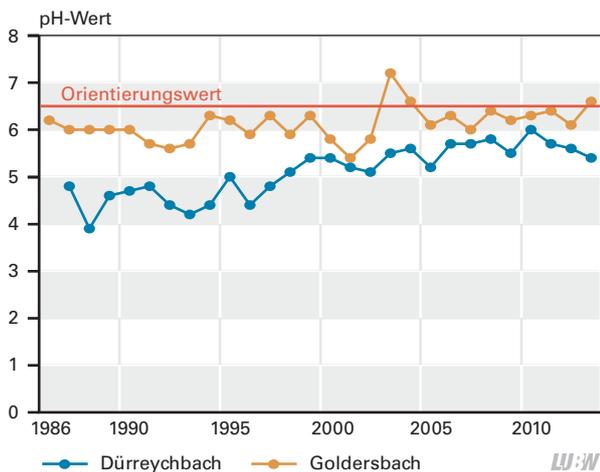


Abb. 5.2-18: Entwicklung der pH-Werte in Goldersbach und Dürreychbach (jährliche Minima), Orientierungswert [LAWA 2014].

### Flussgebietspezifische Schadstoffe

In Deutschland sind für eine Vielzahl von Schadstoffen, die nach WRRL als „flussgebietspezifische Schadstoffe“ bezeichnet werden, rechtsverbindliche, nationale Umweltqualitätsnormen (UQN) festgelegt (Oberflächengewässerverordnung – OGewV 2011). Diese sind bei der ökologischen Zustandsbewertung zu berücksichtigen. Die Belastung der Gewässer durch diese flussgebietspezifischen Schadstoffe ist heute, gemessen an den Umweltqualitätsnormen, überwiegend gering. Hierzu haben die in den letzten Jahrzehnten vielfältig ergriffenen Maßnahmen – wie Stoffverbote und Zulassungsbeschränkungen oder der Ersatz durch toxikologisch weniger kritische Stoffe, weitergehende Abwasserreinigungsmaßnahmen und Umstellungen bei Produktionsprozessen in Industrie und Gewerbe – maßgeblich beigetragen.

Aktuell werden lokal wenige Überschreitungen einschlägiger Umweltqualitätsnormen vorgefunden. Betroffen sind die Körsch, die Würm und die Glerns durch das sowohl als Herbizid als auch als Biozid eingesetzte Mecoprop, der Kriegbach durch das nicht mehr zugelassene Insektizid Parathion sowie der Leimbach durch das Schwermetall Thallium.

Polychlorierte Biphenyle (PCB) weisen in Sedimenten lokal Anreicherungen in Höhe der einschlägigen Umweltqualitätsnorm auf. Betroffen hiervon sind der Oberlauf der Donau bei Pfohren, der Saalbach, die Enz und die Alb. Höchstwahrscheinlich handelt es sich hierbei um die Auswirkungen historischer Einträge. PCB wurde früher hauptsächlich in Transformatoren, Hydraulikflüssigkeiten und

Kondensatoren eingesetzt. Der Einsatz ist bereits seit Jahrzehnten verboten. Aufgrund der sehr geringen Abbaubarkeit der PCB werden diese auch heute noch in Sedimenten vorgefunden.

### 5.2.2 Chemischer Zustand

Der chemische Zustand wird anhand von Umweltqualitätsnormen bewertet, die für die prioritären und bestimmten anderen Schadstoffe und Schadstoffgruppen europaweit einheitlich vorgegeben sind. Durch die Richtlinie 2013/39/EU wurden die Umweltqualitätsnormen (UQN) der bisherigen 38 prioritären bzw. bestimmten anderen Schadstoffe überprüft und gegenüber den Regelungen der bisherigen Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2011) teilweise deutlich abgesenkt. Einige der prioritären Stoffe, die sich in der Nahrungskette anreichern und in der Wasserphase kaum noch nachzuweisen sind, sind nunmehr anhand von Biota-bezogenen Umweltqualitätsnormen zu bewerten. Die neuen Vorgaben für bereits geregelte prioritäre Stoffe gelten ab dem 22.12.2015 und werden in den nachfolgenden Ausführungen bereits zur Bewertung des chemischen Zustands herangezogen. In der Richtlinie sind darüber hinaus zwölf weitere prioritäre Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen neu aufgenommen. Die UQN für diese Stoffe sind ab dem 22.12.2018 anzuwenden und bis zu diesem Zeitpunkt sind Überwachungsprogramme aufzustellen.

Der gute chemische Zustand wird durch die ubiquitäre Verbreitung einzelner Schadstoffe flächendeckend verfehlt:

In Fischen werden in ganz Deutschland **Quecksilbergehalte** vorgefunden, welche die zum Schutz vor Anreicherungen in der Nahrungskette festgelegte sehr strenge Umweltqualitätsnorm von 20 µg/kg Frischgewicht in aller Regel deutlich überschreiten. Ein Großteil der Belastung stammt aus historischen Einträgen, Anreicherungen im Sediment und durch atmosphärische Deposition. Heute wird Quecksilber in Deutschland insbesondere durch Verbrennungsprozesse freigesetzt und diffus in die Gewässer eingetragen.

Die Stoffgruppe der **bromierten Diphenylether** ist ebenfalls weit verbreitet und weist bei den bislang durchgeführten Fischuntersuchungen in Baden-Württemberg durchweg deutliche Überschreitungen der neu für Biota festgelegten

Umweltqualitätsnorm von 0,0085 µg/kg Frischgewicht auf. Bereits in den 1990er-Jahren lösten die in der Umwelt ansteigenden Konzentrationen der in großen Mengen als Flammschutzmittel in Kunststoffen und Textilien eingesetzten bromierten Diphenylether Besorgnis aus. Durch eine europäische Richtlinie wurde deren Einsatz 2003 verboten. Seitdem dürfen Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse mit bestimmten bromierten Diphenylethern mit Gehalten über 0,1 Gewichtsprozent nicht mehr in Verkehr gebracht oder verwendet werden.

Zur Gruppe der Schadstoffe mit ubiquitärer Verbreitung zählen auch bestimmte **polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)**. Stellvertretend für die Stoffgruppe wurden nunmehr für Benzo[a]pyren Umweltqualitätsnormen sowohl mit Bezug zur Wasserphase als auch mit Bezug zu bestimmten Biota neu festgelegt. PAK entstehen insbesondere bei der unvollständigen Verbrennung. Sie sind in Abgasen von Haushalten, Verkehr und Großfeuerungsanlagen enthalten und werden über den Luftpfad großräumig verbreitet. Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsdaten muss davon ausgegangen werden, dass die wasserbezogene Umweltqualitätsnorm vermutlich in weiten Landesteilen Baden-Württembergs überschritten wird. Allerdings sind die verfügbaren Analyseverfahren für das Wasser noch nicht ausreichend sensibel, um dies auch flächendeckend überprüfen zu können. Gemäß den neuen Vorgaben wurden PAK ergänzend auch in Muscheln untersucht. Diese werden allerdings nur in Rhein und Neckar in ausreichender Anzahl vorgefunden. Im Rhein liegt das Konzentrationsniveau in den Muscheln deutlich unter der einschlägigen Qualitätsnorm, im gestauten Neckar dagegen im Bereich der halben Qualitätsnorm und im gestauten Neckar oberhalb der Enz-Mündung auch darüber.

**Fluoranthen**, welches chemisch ebenfalls zur Stoffgruppe der PAK zählt, wird durch die neue EU-Richtlinie eigenständig geregelt und ist – anders als z. B. Benzo[a]pyren – nicht als ubiquitärer Stoff eingestuft. Gegenüber der OGewV 2011 wurde die Umweltqualitätsnorm für die Wasserphase stark abgesenkt und eine neue Umweltqualitätsnorm für Biota festgelegt. Die Umweltqualitätsnorm der Wasserphase wird an 43 % der untersuchten Stellen überschritten (Abb. 5.2-19). Überschreitungen der Umweltqualitätsnorm in Muscheln werden im gesamten ge-

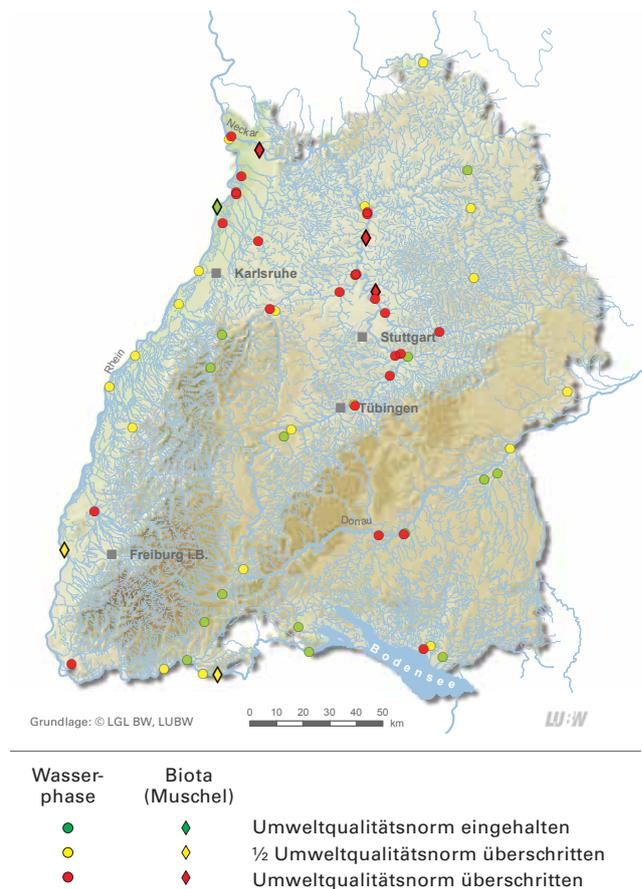


Abb. 5.2-19: Belastung der Fließgewässer in Baden-Württemberg durch Fluoranthen (Zustand anhand der Mittelwerte der Jahre 2011 bis 2013).

stauten Neckar vorgefunden, während in den Muscheln des Rheins Gehalte unterhalb der Umweltqualitätsnorm vorgefunden werden. Fluoranthen wird – wie auch die anderen PAK-Verbindungen – bei der unvollständigen Verbrennung gebildet und über den Luftpfad weiträumig verteilt.

Bei folgenden prioritären oder bestimmten anderen Schadstoffen werden dagegen nur lokal wenige Überschreitungen vorgefunden:

**Isoproturon** ist ein Herbizid, das vorzugsweise beim Anbau von Winter- und Sommergetreide eingesetzt wird. Im Kraichbach bei Ketsch wurde eine Überschreitung der maximal zulässigen Höchstkonzentration vorgefunden. Insgesamt zeichnet sich im Land jedoch ein positiver Trend ab. Dies ist exemplarisch für den Neckar in Abbildung 5.2-20 dargestellt. Allerdings zeigt sich auch dort, dass die Gehalte zur Anwendungszeit im Spätherbst noch immer messbar ansteigen, z. B. 2011 im Zusammenhang mit Starkregen.

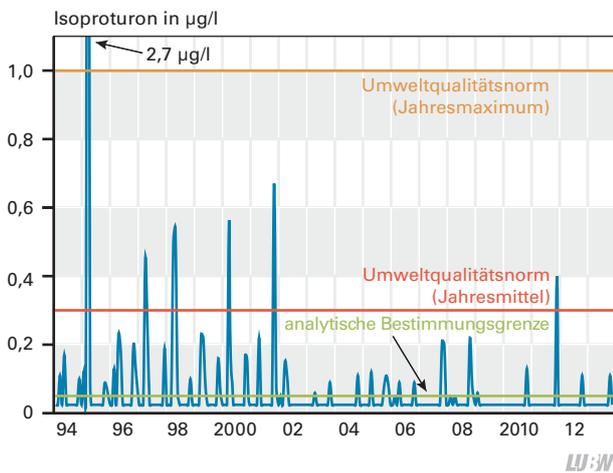


Abb. 5.2-20: Belastung des Neckars bei Mannheim durch Isoproturon, Umweltqualitätsnorm nach OGewV 2011.

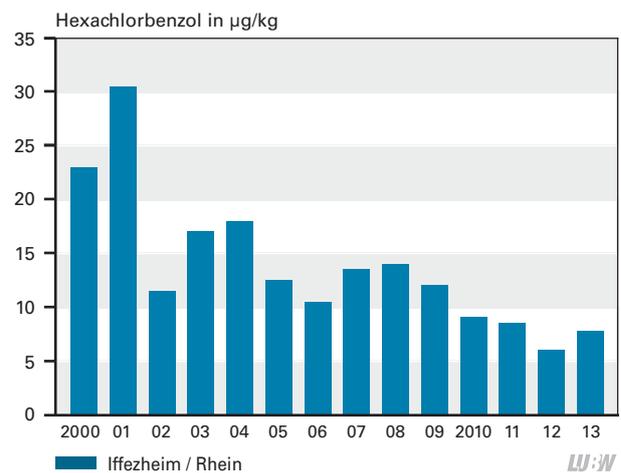


Abb. 5.2-21: Gehalte an Hexachlorbenzol im Schwebstoff des Rheins bei Iffezheim (50-Perzentile).

**Diuron** ist ein Totalherbizid, welches früher im landwirtschaftlichen Bereich sowie auch im nicht landwirtschaftlichen Bereich zur Freihaltung von Wegen und Plätzen sowie auf Gleisanlagen eingesetzt wurde. Heute findet es als Biozid z. B. noch Anwendung in Fassadenfarben. Diuron wird in den Gewässern Baden-Württembergs nur noch selten in messbaren Konzentrationen vorgefunden. Ausnahme hiervon ist der Leimbach, in dem die einschlägige Umweltqualitätsnorm aus bislang unbekanntem Gründen überschritten wird.

**Hexachlorbenzol** gelangte bis Ende der 1980er Jahre vorwiegend mit den Abwassereinleitungen eines Chemiebetriebes im Raum Rheinfelden in den Rhein und ist in den Altsedimenten der Stauhaltungen am Oberrhein in hohen Konzentrationen angereichert. Die heute an der Oberfläche anstehenden Sedimente weisen deutlich geringere Gehalte im Vergleich mit den damaligen Sedimentgehalten auf. Langjährige Untersuchungen der Schwebstoffe zeigen für den Rhein einen abnehmenden Trend. Dieser wurde durch die Hochwässer im Jahr 1999 und in deutlich geringerem Ausmaß durch das Hochwasser im Jahr 2013 unterbrochen, in deren Folge die Hexachlorbenzolgehalte durch Remobilisierungsprozesse anstiegen (Abb. 5.2-21).

In der OGewV 2011 sind für Hexachlorbenzol zum Schutz vor unerwünschter Anreicherung über die Nahrungskette Umweltqualitätsnormen für die Gesamtwasserphase und für Biota festgelegt. Untersuchungen am Ende der Stauhaltungskette bei Iffezheim zeigen, dass diese im Oberrhein noch nicht sicher eingehalten werden. Mit der Erarbeitung eines Sediment- und Baggergut-Managementplans sowie

einer möglichen Sanierung ist eine deutsch-französische Arbeitsgruppe beauftragt.

**Cadmium** ist ein sehr seltenes Schwermetall, das fast ausschließlich aus anthropogenen Quellen in die Umwelt gelangt. Es findet Verwendung in Akkumulatoren, als Korrosionsschutzmittel und bei der Kunststoffproduktion. Aufgrund seiner hohen Toxizität ist die industrielle Bedeutung von Cadmium heute nur noch gering. In den Gewässern des Landes wurde es zuletzt im Jahr 2012 im Kriegbach in Konzentrationen über der Umweltqualitätsnorm vorgefunden. Das Regierungspräsidium Karlsruhe führt hierzu weitere Untersuchungen durch.

### 5.2.3 Spurenstoffe

In den Gewässern werden weitere Spurenstoffe in zum Teil deutlich messbaren Konzentrationen vorgefunden, für die es derzeit keine gesetzlichen Vorgaben z. B. in der OGewV 2011 gibt. Hierzu zählen z. B. Arzneimittel, Haushaltschemikalien, Biozide, künstliche Süßstoffe, Duftstoffe und bestimmte Industriechemikalien. Einen umfassenden und aktuellen Überblick zur Belastungssituation gibt das 2014 veröffentlichte „Spurenstoffinventar der Fließgewässer in Baden-Württemberg“ [UM, LUBW 2014].

Diese Stoffe werden in großen Mengen in Haushalten oder in Industrie und Gewerbe eingesetzt, können aber aufgrund ihrer Wasserlöslichkeit und geringen Abbaubarkeit in Kläranlagen nur teilweise zurückgehalten werden. Die Konzentrationen einiger dieser Stoffe können im Bereich ökotoxikologischer Wirkungsschwellen liegen. Zum Beispiel werden bestimmte Arzneimittelwirkstoffe in Zusam-

Tab. 5.2-2: Ausgewählte Spurenstoffe der Rheinstoffliste 2014 in Rhein, Donau und Neckar (Mittelwerte 2011 bis 2013 in µg/l). Stand: 2015

Gruppe	Stoffname	Rhein Karlsruhe	Donau Ulm-Wiblingen	Neckar Mannheim
Süßstoff	Acesulfam	1,22	1,33	5,13
Röntgenkontrastmittel	Amidotrizoesäure	0,04	0,07	0,62
	Iopamidol	0,16	0,21	0,37
	Iopromid	0,11	0,06	0,18
Arzneimittel	Carbamazepin	0,03	0,03	0,13
	Diclofenac	0,02	0,03	0,08
PSM-Wirkstoff	Glyphosat	<0,05	0,06	0,14
Komplexbildner	EDTA	2,91	2,91	5,6
	DTPA	< 1	< 1	< 1
Benzinadditive	ETBE	0,05	< 0,03	0,04
	MTBE	0,03	< 0,03	< 0,03
sonstige	Diglyme	< 0,3	n. u.	< 0,3
	AMPA	0,09	0,19	0,73

PSM: Pflanzenschutzmittel  
n. u.: nicht untersucht

LU:W

menhang gebracht mit Veränderungen in Leberzellen von Fischen, welche in Gewässern mit hohem häuslichen Abwasseranteil vorgefunden wurden. Aber auch einige Stoffe mit geringer toxikologischer Relevanz sind problematisch, weil sie bei der Trinkwasseraufbereitung nur schwer zu entfernen sind.

Die Internationale Kommission zum Schutze des Rheins (IKSR) hat mit der Rheinstoffliste 2014 [IKSR 2014] bestimmte Spurenstoffe als „trinkwasserrelevante Stoffe“ identifiziert, welche besonderer Aufmerksamkeit bedürfen und daher auch längerfristig untersucht werden sollen.

Die aktuell in den baden-württembergischen Abschnitten von Rhein und Donau sowie im Neckar vorgefundenen Gehalte dieser Stoffe sind in Tab. 5.2-2 aufgeführt. Die Rheinanlieger haben sich das Ziel gesetzt, den Eintrag von Spurenstoffen aus der Siedlungsentwässerung und aus diffusen Quellen im Rahmen einer gemeinsamen Strategie weiter zu reduzieren [IKSR 2010]. In Baden-Württemberg sind bereits zehn Anlagen zur gezielten Reduzierung von Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser in Betrieb, zwei Anlagen im Bau und sechs weitere in Planung [KOMPS 2015].

## 5.3 Stehende Gewässer

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 als Wasserspeicher (Trink-, Lösch- und Brauchwasser), Hochwasserrückhaltebecken, Fischgewässer oder Badeseen. Durch Abwassereinleitungen, intensive landwirtschaftliche Nutzung ihrer Einzugsgebiete oder andere Einflüsse sind die meisten dieser Seen erheblichen Belastungen ausgesetzt.

### 5.3.1 Bodensee

Der vor rund 17 000 Jahren am Ende der Würmeiszeit vom Eis allmählich freigegebene Bodensee entspricht dem LAWA-Seetyp 4, einem kalkreichen, geschichteten, nährstoffarmen Alpensee. Der Hauptteil des Zustroms erfolgt durch den Alpenrhein aus dem alpinen Hinterland mit einer Größe des Einzugsgebiets von ca. 11 000 km<sup>2</sup>. Alpine Zuflüsse sind durch niedrige Wassertemperaturen sowie hohe Schwebstoffmengen geprägt. Dadurch werden die physikalischen, die chemischen und biologischen Eigenschaften des gesamten Seewasserkörpers wie z. B. Trübung, Sichttiefe oder Lichtverfügbarkeit beeinflusst.

Morphologisch wird der Bodensee in zwei Bereiche unterteilt: in den tiefen Obersee (mit Überlinger See) und

den wesentlich flacheren Untersee. Verbunden sind beide Seeteile durch den Seerhein. Der Untersee unterscheidet sich in seinem limnologischen Verhalten vom Obersee, da dessen Einzugsgebiet im Voralpenland liegt und zu einer anderen Einordnung als LAWA Seetyp 2, geschichteter Alpenvorlandsee mit relativ großem Einzugsgebiet, führt.

Im Folgenden wird auf die Ergebnisse zum Bodensee-Obersee eingegangen. Die Messstelle Fischbach-Uttwil markiert die tiefste Stelle des Bodensee-Obersees und gilt als Seemitte. Die dort erhobenen Untersuchungsergebnisse zum ökologischen und chemischen Zustand gelten als repräsentativ für den Freiwasserbereich des Obersees. Der Bodensee wird seit über 160 Jahren wissenschaftlich untersucht. Geologische und biologische Erhebungen sowie einfache chemische Messungen wurden bereits im 19. Jahrhundert und zu Beginn des 20. Jahrhunderts vorgenommen. Die langen Zeitreihen bilden eine wertvolle Datenbasis und können u. a. für die Beurteilung der klima- oder eutrophierungsgetriebenen Einflüsse auf das limnologische Verhalten des Bodensees genutzt werden.

### Phytoplankton

Für den Bodensee-Obersee ist das Phytoplankton die wichtigste biologische Komponente zur Beurteilung des ökologischen Zustands des Freiwassers.

Am Obersee werden aktuell an der Station Fischbach-Uttwil in einem zweiwöchigen Abstand Messdaten erhoben, wobei Planktonzählungen seit 1961 durchgeführt werden. Unter Phytoplankton versteht man im Wasser freischwebende, photoautotrophe Algen, d. h., sie nutzen mittels chlorophyllhaltiger Systeme Lichtenergie. Das Phytoplankton dient als Belastungsanzeiger für die Eutrophierung des Freiwassers und kann integrierend für den gesamten Wasserkörper von natürlichen Seen, Stauseen und Baggerseen angewendet werden.

Am Beispiel des Bodensees ist der Zusammenhang zwischen Nährstoffverfügbarkeit und Phytoplankton-Biomasse durch die Langzeituntersuchungen nachvollziehbar belegt. Durch die Eutrophierung und den damit verbundenen hohen Phosphorgehalt stieg die Phytoplankton-Biomasse im Bodensee auf ein Maximum von 1,4 mg/l im Jahr 1978. Infolge der Maßnahmen zur Verringerung des Phosphoreintrags aus dem Einzugsgebiet ging auch die Biomasse zeitverzögert zurück (Abb. 5.3-1). Aktuell liegen die Werte et-

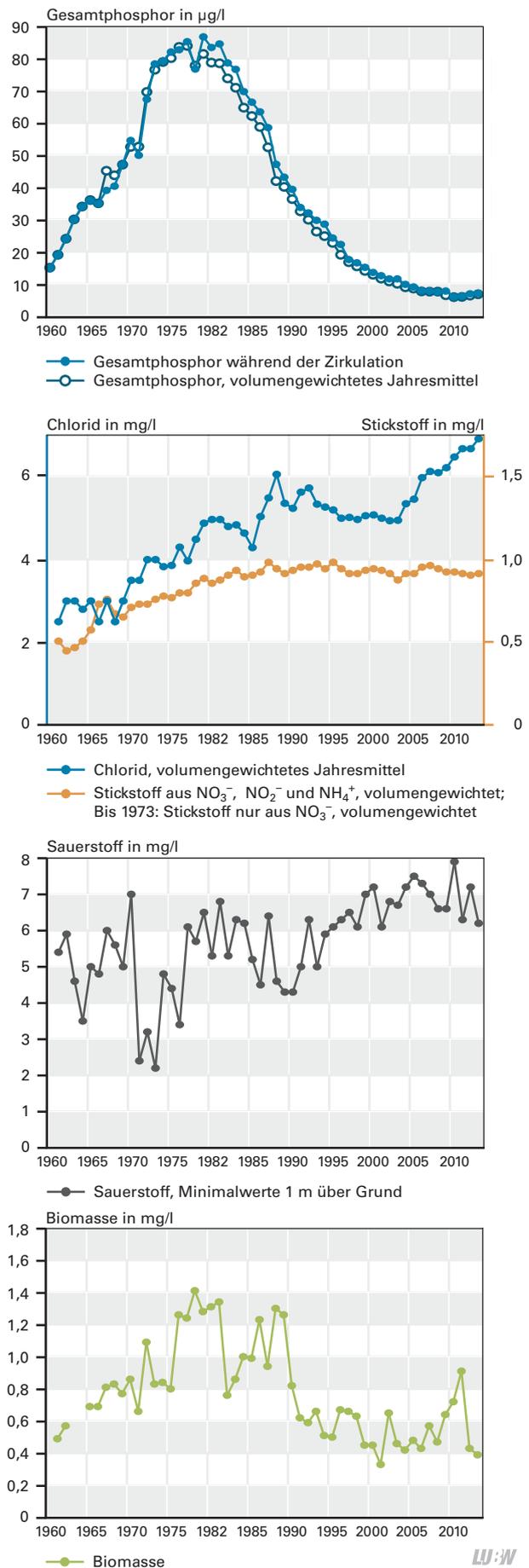


Abb. 5.3-1: Langfristige Entwicklung der Phosphor-, Chlorid-, Stickstoff- und Sauerstoffkonzentrationen sowie der Phytoplanktonbiomasse im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil).

Tab. 5.3-1: Jahresmittelwerte (0-20 m) von Biomasse (mg/l) und Chlorophyll a ( $\mu\text{g/l}$ ) im Bodensee-Obersee in den Jahren 2010 bis 2013.

Jahresdurchschnitt		2010	2011	2012	2013
Biomasse	in mg/l	0,72	0,91	0,42	0,39
Chl a	in $\mu\text{g/l}$	1,98	2,31	2,44	1,96
Chl a Max	in $\mu\text{g/l}$	4	5,4	5,2	3,9
Chl a Min	in $\mu\text{g/l}$	0,5	0,7	0,4	0,7

Chl: Chlorophyll

LUBW

was unter der durchschnittlichen Phytoplankton-Biomasse der letzten 20 Jahre, die etwa 0,56 mg/l beträgt (Tab 5.3-1). Schwankungen werden dabei durch das alpin beeinflusste Einzugsgebiet und jahresspezifische Witterungsbesonderheiten wie z. B. Hochwässer verursacht.

### Chemische Parameter

Die Konzentration des Gesamtphosphors im Bodensee-Obersee betrug im Jahresmittel 2013 6,7  $\mu\text{g/l}$  (Abb. 5.3-1). Damit liegt der Jahresmittelwert über dem Vorjahreswert von 6,3  $\mu\text{g/l}$ . Auch in der Zirkulationsphase 2013 (Mittelwert Februar bis April) wurde mit 7,2  $\mu\text{g/l}$  ein etwas höherer Wert als im Vorjahr festgestellt (7,0  $\mu\text{g/l}$ ). Insgesamt haben die mittleren Konzentrationen an Gesamtphosphor einen für große oligotrophe, d. h. nährstoffarme Alpenseen typischen Bereich erreicht. Auf diesem Niveau finden geringe Schwankungen statt, die unter anderem durch seeinterne Mischungsprozesse induziert werden.

Die Konzentration von anorganischem Stickstoff (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente ist 2013 mit einem Jahresmittel von 0,94 mg/l in der gleichen Größenordnung wie in den beiden Vorjahren geblieben (0,93 mg/l bis 0,94 mg/l). Damit liegt die Konzentration an anorganischem Stickstoff seit Anfang der 1980er-Jahre ohne langfristigen Trend im Bereich von 0,90 mg/l bis 1,01 mg/l (Abb. 5.3-1).

Die Konzentration von Chlorid als Indikator vielfältiger Einträge aus dem Siedlungsbereich zeigt in den letzten zehn Jahren einen zunehmenden Trend (Abb. 5.3-1). Eine Bilanzierung des Chlorids über das Einzugsgebiet des Bodensees zeigt, dass ein beträchtlicher Teil der Zunahme aus der winterlichen Straßensalzung stammt [IGKB 2009].

Die Sauerstoffgehalte im Tiefenwasser des Obersees haben sich durch unzureichende Zirkulation im Frühjahr 2013 nicht ausreichend erholen können, so dass im Jahresverlauf 2013 über Grund (253 m) eine kontinuierliche Abnahme

bis zum herbstlichen Minimum von 6,2 mg/l beobachtet wurde. Das herbstliche Minimum 2013 liegt damit unter dem Vorjahreswert von 7,2 mg/l (Abb. 5.3-1), aber immer noch im biologisch günstigen Bereich von  $\geq 6$  mg/l. Durch die für große und tiefe Alpenseen typischen niedrigen Nährstoffgehalte wird auch in Jahren unvollständiger Zirkulation die Sauerstoffversorgung tiefer Bereiche des Obersees gesichert. Diese in erster Linie durch wärmere Winter bedingten Jahre mit schlechter Vertikalzirkulation haben insgesamt betrachtet in den letzten 40 Jahren zugenommen.

### 5.3.2 Kleine Seen

Ebenso wie am Bodensee werden an ausgewählten Seen in Baden-Württemberg, denen aus rechtlichen und wissenschaftlichen Gründen oder aus öffentlichem Interesse besondere Bedeutung zukommt, regelmäßige Untersuchungen physikalischer, chemischer und biologischer Parameter durchgeführt. Diese Untersuchungen der LUBW bauen auf früheren Programmen zur Erforschung der baden-württembergischen Seen auf:

- Bestandsaufnahme aller stehenden Gewässer im Land (Erfassung und Beschreibung der Seen, Sammlung vorhandener Daten),
- chemische Untersuchungen des Wassers und der Sedimente von 45 ausgesuchten Seen im ganzen Land.

Nachfolgend sind die Ergebnisse für einen der kleinen Seen in Baden-Württemberg, den Titisee, näher ausgeführt. Dieser ist nach Typisierung der LAWA als Seetyp 9, geschichteter, calciumarmer Mittelgebirgssee, eingestuft.

### Biologische Parameter

Der biologische Zustand des Titisees wurde in den Jahren 2002, 2007 und 2013 untersucht. In allen Jahren lag der jährliche Durchschnitt der Biomasse des Phytoplanktons vergleichsweise niedrig, ebenso wie der Chlorophyll a-Gehalt (Tab. 5.3-2). Auch der nach LAWA aus Algenbiomasse und Algenzusammensetzung berechnete Phytoplanktonindex (hier nicht gezeigt) steht im Einklang mit der Einstufung eines oligotrophen Zustands.

Tab. 5.3-2: Jahresmittelwerte (0 – 20 m) von Biomasse (mg/l) und Chlorophyll a (µg/l) im Titisee in den drei Untersuchungsjahren 2002, 2007, 2013.

Jahresdurchschnitt		2002	2007	2013
Biomasse	in mg/l	0,21	0,26	0,19
Chl a	in µg/l	2,3*	1,2	1,5
Chl a Max	in µg/l	4,8	4,2	2
Chl a Min	in µg/l	0,4	0,6	0,8

\* photometrisch, unkorrigiert  
Chl: Chlorophyll

LUBW

### Makrophyten und Phytobenthos

Makrophyten (Gefäßpflanzen, Moose, Armleuchteralgen) und Phytobenthos (Aufwuchsalgen, hauptsächlich Diatomeen) geben Hinweise auf punktförmige Nährstoffbelastungen, wobei die Makrophyten in erster Linie mögliche Belastungen der Sedimente anzeigen, das Phytobenthos weist vor allem auf die Belastungen des Wassers hin. Makrophyten können auch Defizite in der Gewässermorphologie anzeigen, die Aufwuchs-Algen (Diatomeen) indizieren Trophie- und Versauerungszustände. Im Rahmen einer Makrophytenkartierung im Jahr 2010 konnten acht submerse (ganz untergetaucht wachsende) Makrophytenarten gefunden werden, darunter auch gefährdete bis stark gefährdete Arten der Roten Listen Baden-Württembergs (u. a. die Brachsenkraut-Arten *Isoetes lacustris* und *Isoetes echinospora*), wohingegen die Wasserpestart *Elodea nuttallii*, die als Störzeiger gilt, nicht mehr nachgewiesen wurde. Ergänzend zur Makrophytenkartierung wurden 2013 an acht Stellen Phytobenthos-Proben entnommen. In beiden Untersuchungsjahren 2007 und 2014 fiel auf, dass der Titisee eine sehr artenreiche Diatomeenflora aufweist, die durch das Vorkommen von Arten mit geringen Nährstoffansprüchen gekennzeichnet ist, darunter sehr viele Arten der Roten Liste.

### Chemische Parameter

Die letzten Intensivuntersuchungen mit monatlicher Beprobung eines Tiefenprofils fanden in den Jahren 1996, 2007 und 2013 statt. Einen Vergleich der wichtigsten Ergebnisse zeigt Tabelle 5.3-3.

Der Titisee hat als typischer Schwarzwaldsee weiches Wasser mit geringem Puffervermögen, das im natürlichen Referenzzustand nährstoff- und elektrolytarm, aber huminstoffreich ist. Der pH-Wert lag in den letzten beiden Untersuchungsjahren stabil im neutralen Bereich bei knapp

Tab. 5.3-3: Jahresmittelwerte (volumengewichtet) bzw. Minima und Maxima von Untersuchungsergebnissen im Titisee.

Titisee		1996 (Apr-Dez)	2007 (Feb-Dez)	2013 (Apr-Nov)
Parameter	Einheit	volumengewichtete Jahresmittel		
Temperatur	°C	6,6	7,3	7
Sichttiefe	m	4,1	3,7	3,1
O <sub>2</sub>	mg/l	7,8	9,3	8,3
pH-Wert		6,6	6,9	6,8
Leitf.*	µS/cm	64	78	94
SBV	mmol/l	0,31	0,24	0,3
Härte	1/2 mmol/l	0,37	0,43	0,48
PO <sub>4</sub> -P	µg/l	2,6	1,4	1,1
P ges.	µg/l	10,5	7,8	9,3
P gel.	µg/l	4,9	3,7	4,7
NH <sub>4</sub> -N	µg/l	12,5	10,1	9
anorg.-N	µg/l	0,49	0,47	0,38
SiO <sub>2</sub> -Si	µg/l	–	2 528	2 124
Fe	µg/l	187	115	184
Mn	µg/l	77	36	62
Cl	mg/l	6,7	12	19
SO <sub>4</sub>	mg/l	6,2	6,2	5,6
As gel.	µg/l	1,7	0,9	1,5
Al gel.	µg/l	76	44	54
Zn gel.	µg/l	8,1	2,7	5,1
Chl a 0-5m	µg/l	4	2,9	2,9

\* Leitfähigkeit bei 20 °C  
SBV: Säurebindungsvermögen  
gel.: gelöst  
ges.: gesamt  
Chl: Chlorophyll

LUBW

unter 7. Damit ist der Titisee – wie einige kleinere Schwarzwaldseen – nicht von einer Versauerung betroffen.

Eine wesentliche Änderung ist bei dem für vielfältige anthropogene Belastungen stehenden Chloridwert zu beobachten. Dieser hat von 7 mg/l bis 8 mg/l (1989 bis 1996) über 12 mg/l (2007) auf jetzt 19 mg/l zugenommen. Eine Erhöhung der Chloridkonzentrationen in den letzten beiden Jahrzehnten, u. a. auf Grund von stärkerer Straßensalzung, ist bei vielen Seen zu beobachten (vgl. Bodensee) – in dieser Größenordnung ist der Anstieg allerdings ungewöhnlich. Dies zeigt sich beim Titisee auch in der Zunahme der Leitfähigkeit, die insgesamt aber immer noch auf niedrigem Niveau liegt.

Die für das Algenwachstum wichtigen Gesamtphosphorgehalte deuten in den letzten beiden Untersuchungsjahren 2007 und 2013 auf stabile Verhältnisse bei 8 µg/l bis 9 µg/l hin, die zwar noch über dem natürlichen Hintergrund liegen, aber schon in den oligotrophen Bereich einzuordnen

sind. Nachdem in den 1970er-Jahren die Abwasserreinigung ausgebaut wurde, ist inzwischen die Reoligotrophierung sichtbar. Die anorganischen Stickstoffgehalte fielen 2013 mit 0,38 mg/l etwas geringer aus als 2007 und 1996, was vor allem auf einen Nitratrückgang zurückzuführen ist. Es handelt sich dabei um Schwankungen im üblichen Bereich für natürliche Seen, die auch mit witterungsbedingt variablem Nitratreintrag in der kalten Jahreszeit zu tun haben.

Die Trophieklassifikation nach LAWA [LAWA 1998] erlaubt, basierend auf den Parametern Chlorophyll a, Sichttiefe und Gesamtphosphor, eine Einordnung des Zustands natürlicher Standgewässer hinsichtlich ihrer Nährstoffsituation. Diese reicht, je nach Größe und Schichtungsverhalten eines Sees, von oligotroph (nährstoffarm, geringe Planktondichten) bis polytroph bzw. hypertroph (sehr nährstoffreich, hohe Planktondichten). Die Bewertung erfolgt anhand des Vergleichs des Ist-Zustands mit dem Referenzzustand, d. h. der trophischen Situation, in der sich das Gewässer im naturnahen Zustand befinden würde. Die Trophie-Einstufung für den Titisee ergibt 2007 und 2013 einen oligotrophen Zustand knapp an der Grenze zum mesotrophen Zustand. Damit liegt der trophische Zustand nur noch leicht über dem natürlichen Referenzzustand. Die Sichttiefe wurde für die LAWA-Einstufung nicht herangezogen, da der natürliche Gehalt an Huminstoffen eine geringe Sichttiefe verursacht und damit eine zu hohe Trophie vortäuschen würde.

Insgesamt betrachtet weisen sowohl chemische als auch biologische Parameter zur Gewässergüteklassifizierung nach LAWA auf einen guten ökologischen Zustand hin.

## 5.4 Abwasser

### 5.4.1 Kommunale Kläranlagen

Für die Beurteilung kommunaler Kläranlagen werden die Ergebnisse der amtlichen Überwachung und die Eigenkontrolle der Betreiber herangezogen. Die nachfolgenden Ergebnisse zeigen die Datenlage zum 31.12.2014. Zu diesem Zeitpunkt betrug die Gesamtausbaugröße aller 944 kommunalen Kläranlagen etwa 20,6 Mio. Einwohnerwerte (EW). Die Anzahl der angeschlossenen Einwohner betrug ca. 10,7 Mio. Rein rechnerisch standen somit ca. 9,9 Mio. Einwohnergleichwerte (EGW) zur Behandlung von Abwasser aus Gewerbe und Industrie bzw. als Reserve zur Verfügung (Tab. 5.4-1). Die Ausbaugröße einer Kläranlage wird in EW angegeben. Die Hilfsgröße EGW dient der Umrechnung des gewerblichen Anteils, um damit die Abwässer aus den unterschiedlichen Bereichen gemeinsam berechnen und darstellen zu können.

Die Anzahl der kommunalen Kläranlagen nahm in den vergangenen Jahren ab. Während im Jahr 2004 noch 1 082 Anlagen gemeldet wurden, waren es im Jahr 2014 nur noch 944 Kläranlagen (Tab. 5.4-2). Vermehrt wurden kleinere Kläranlagen stillgelegt. Das Abwasser wird in diesen Fällen in der Regel über entsprechende Verbindungsleitungen zu

Tab. 5.4-1: Behandelte Schmutzfracht der Abwasserbehandlungsanlagen in Baden-Württemberg [UM 2015]. Stand: 31.12.2014

Größenklasse in EW	Anzahl der Kläranlagen	behandelte Schmutzfracht * in EW
< 2 000	301	311 069
2 000 – 10 000	305	1 337 874
10 001 – 100 000	302	6 966 759
> 100 000	36	6 063 407
<b>Summen</b>	<b>944</b>	<b>14 679 109</b>

\* insgesamt behandelte Schmutzfracht in der jeweiligen Größenklasse der Abwasserbehandlungsanlagen in Baden-Württemberg in Einwohnerwerten  
EW: Einwohnerwerte

LUBW

Tab. 5.4-2: Entwicklung der Anzahl kommunaler Kläranlagen in Baden-Württemberg [UM 2015]. Stand jeweils zum 31.12. des Bezugsjahres

Größenklasse in EW	2004	2007	2010	2013	2014
< 2 000	394	348	326	297	301
2 000 – 10 000	357	343	331	323	305
10 001 – 100 000	295	296	296	300	302
> 100 000	36	36	36	36	36
<b>Summen</b>	<b>1 082</b>	<b>1 023</b>	<b>989</b>	<b>956</b>	<b>944</b>

EW: Einwohnerwerte

LUBW

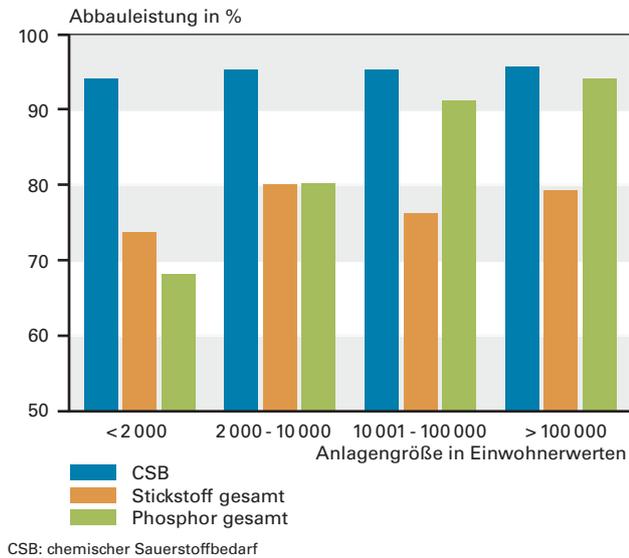


Abb. 5.4-1: Abbauleistung für unterschiedliche Anlagengrößen der Kläranlagen in Baden-Württemberg zum 31.12.2014 [UM 2015].

größeren Anlagen weitergeleitet, da diese eine bessere Reinigungsleistung aufweisen und die Behandlung dort wirtschaftlicher ist.

Die Abbauraten für die Parameter chemischer Sauerstoffbedarf (CSB), Stickstoff und Phosphor sind in Abbildung 5.4-1 aufgeteilt nach Größenklassen dargestellt. Die in die Kläranlage eingeleitete CSB-Fracht wird im Landesmittel um ca. 95 %, die Stickstofffracht um 78 % und die Phosphorfracht um ca. 91 % abgebaut. Für Phosphor ist eine mit der Anlagengröße deutlich zunehmende Abbauleistung festzustellen.

Bei einigen Kläranlagen ist insbesondere die Stickstoffabbauleistung trotz der Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen unbefriedigend. Ursache hierfür sind zumeist hohe Fremdwasseranteile. Als Fremdwasser bezeichnet man z. B. das Eindringen von Grundwasser in die Kanalisation durch undichte Kanäle oder die Zuleitung von Quellen bzw. Wasser aus Hausdrainagen in die Kanalisation. Dieses, im Regelfall unbelastete Wasser, führt zu einer Verdünnung des Abwassers und kann somit zu einer Absenkung der theoretischen Reinigungsleistung der Kläranlage führen. Deshalb stellen Maßnahmen zur Fremdwasserbeseitigung eine wichtige Daueraufgabe der Siedlungsentwässerung dar.

#### 5.4.2 Kanalisation und Regenwasserbehandlung

In Baden-Württemberg sind rund 74 000 km öffentliche Kanäle verlegt (Daten: Statistisches Landesamt 2015; Datenstand 2013). Bei etwa zwei Dritteln handelt es sich um

Mischwasserkanäle, in denen Schmutz- und Niederschlagswasser gemeinsam abgeleitet werden. Daneben kommen mit regionalen Schwerpunkten auch Trennsysteme zum Einsatz. Hier wird Schmutz- und Niederschlagswasser in getrennten Kanalleitungen abgeführt.

Ursprüngliches Ziel der Siedlungsentwässerung war es, Niederschlagswasser schnell abzuleiten. Seit längerer Zeit wird eine veränderte Entwässerungsstrategie verfolgt, die einen Beitrag zum naturnahen Wasserkreislauf leistet. Elemente der modifizierten Entwässerungsverfahren sind z. B. eine Reduzierung der Versiegelung, eine dezentrale Niederschlagsversickerung bzw. -nutzung, Gründächer sowie die getrennte Ableitung und Retention von nicht behandlungsbedürftigem Niederschlagswasser. Diese Maßnahmen erfolgen in der Regel bei Neubaugebieten, aber auch in bestehenden Siedlungsgebieten kann durch Entsiegelung oder Abkopplung von befestigten Flächen eine Verbesserung erreicht werden. Die Aspekte des Grundwasserschutzes müssen bei diesen Überlegungen ausreichend berücksichtigt werden.

Da es aus wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll ist, das Kanalnetz und die Kläranlagen für extreme Regenereignisse auszulegen, sind Anlagen zur Regenwasserbehandlung notwendig. Hierbei handelt es sich um Regenüberlaufbecken im Mischsystem und Regenklärbecken im Trennsystem. Dadurch werden die stofflichen und hydraulischen Belastungen insbesondere kleinerer Gewässer auf ein verträgliches Maß reduziert. Der Ausbau der Regenwasserbehandlung wurde bereits in den 1970er-Jahren begonnen und ist in den folgenden Jahren stetig angestiegen (Abb. 5.4-2). Derzeit stehen etwa 3,7 Mio. m<sup>3</sup> Beckenvolu-

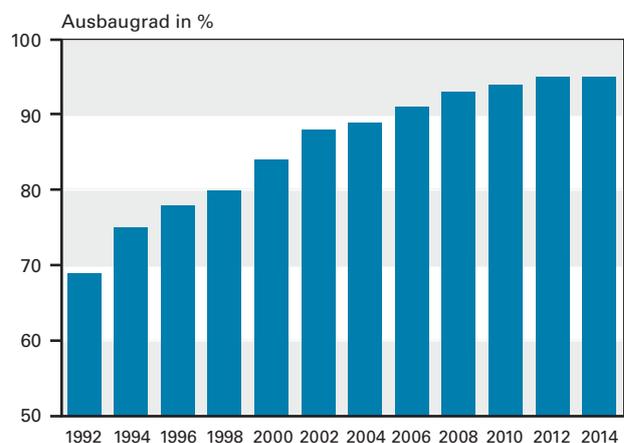


Abb. 5.4-2: Entwicklung des Ausbaugrads der Regenwasserbehandlung in Baden-Württemberg [UM 2015].

men zur Verfügung. Dies ergibt einen durchschnittlichen Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung in Baden-Württemberg von ca. 95 %.

### 5.4.3 Anschlussgrad und dezentrale Entwässerung

Der zielgerichtete und zügige Ausbau der Abwasseranlagen hat zu einem hohen Anschlussgrad an die Kanalisation und an kommunale mechanisch-biologische Abwasserbehandlungsanlagen von über 99 % geführt (Abb. 5.4-3).

Derzeit sind rund 68 000 Einwohner nicht an die öffentliche Kanalisation und die kommunalen Kläranlagen angeschlossen. Hierbei handelt es sich insbesondere um kleine Weiler, Gehöftanlagen oder Einzelanwesen im ländlichen Raum. Die Abwässer dieser Einwohner werden über private Kleinkläranlagen wie naturnahe Verfahren, Pflanzenbeete oder technische Verfahren (z. B. Belebungsanlagen) entsorgt. Unter Berücksichtigung der Siedlungsstruktur, der topografischen Verhältnisse und der bautechnischen Möglichkeiten wird geprüft, ob hier ein Anschluss an eine zentrale kommunale Kläranlage zweckmäßig ist. Demgemäß könnten aus technischer Sicht die Abwässer von weiteren ca. 13 000 Einwohnern über eine zentrale Kläranlage entsorgt werden. Dies könnte z. B. über kostengünstige Druckentwässerungsleitungen („Pumpe und Schlauch“) erfolgen. Nach derzeitiger Einschätzung werden etwa 55 000 Einwohner von Baden-Württemberg ihr anfallendes Abwasser auch in Zukunft dezentral entsorgen.

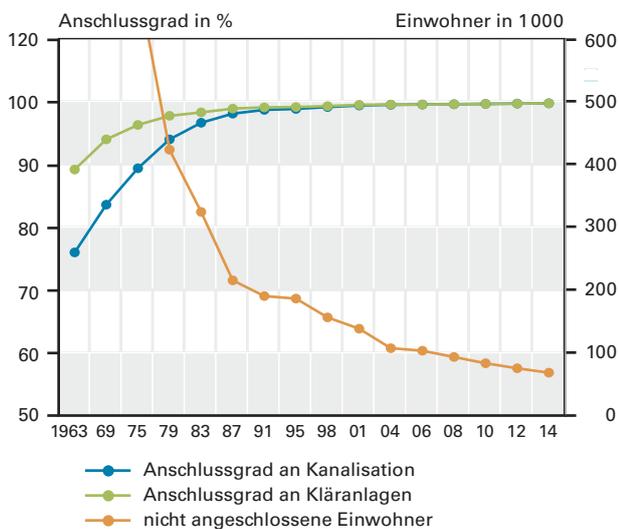


Abb. 5.4-3: Anschlussgrad an die Kanalisation und an kommunale Kläranlagen in Baden-Württemberg. Quellen: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg ergänzt durch LUBW.

### 5.4.4 Abwasser von Industrie und Gewerbe

In Baden-Württemberg zählen besonders die Chemie-, Textil-, Papier- und 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 (Direkteinleitungen) und in externe Kläranlagen (Indirekteinleitungen) über die zuständigen Landesbehörden an den Bund und die EU nach der europäischen Verordnung zur Schaffung eines Schadstofffreisetzungs- und Verbringungsregisters (EPER) zu berichten. Mit der Einführung des gegenüber EPER erweiterten Schadstofffreisetzungs- und Verbringungsregisters (PRTR-Verordnung) sind seit 2007 weitere Industriebereiche und auch kommunale Kläranlagen über 100 000 EW von dieser Berichtspflicht erfasst. Betriebe müssen nun jährlich Informationen über Schadstofffreisetzung 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. Diese Informationen sind für die Öffentlichkeit im Internet zugänglich, so dass sich jeder schnell und einfach über Emissionen beispielsweise am eigenen Wohnort informieren kann ([www.thru.de](http://www.thru.de)).

In Baden-Württemberg unterliegen potenziell knapp 700 Betriebseinrichtungen aufgrund ihrer Tätigkeit der europäischen PRTR-Verordnung. Im sechsten Berichtsjahr haben für das Jahr 2012 insgesamt 82 Betriebseinrichtungen Angaben zu Schadstofffrachten im Abwasser oberhalb der in der PRTR-Verordnung genannten Schwellenwerte übermittelt. Die Parameter mit der höchsten Fracht sind bei Direkteinleitungen Chloride (Abb. 5.4-4) und, sowohl bei Direkt- als auch Indirekteinleitungen, Gesamtstickstoff und TOC (Total Organic Carbon = gesamter organisch gebundener Kohlenstoff) (Abb. 5.4-5). TOC ist ein Summenparameter, der als Maß für die Belastung eines Abwassers mit organischen Substanzen herangezogen wird. Für die kommunalen Kläranlagen sind die Parameter mit der höchsten Fracht Chloride, Gesamtstickstoff und TOC (Abb. 5.4-6).

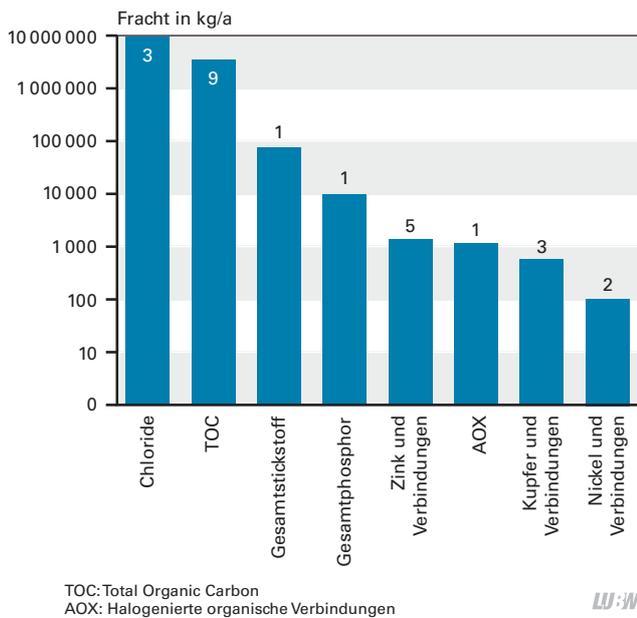


Abb. 5.4-4: In das Gewässer freigesetzte Frachten PRTR (Schadstofffreisetzungs- und Verbringungsregister)-pflichtiger Betriebe (Direkteinleitungen, ohne kommunale Kläranlagen) und jeweilige Anzahl der Betriebe im Jahr 2012 in Baden-Württemberg.

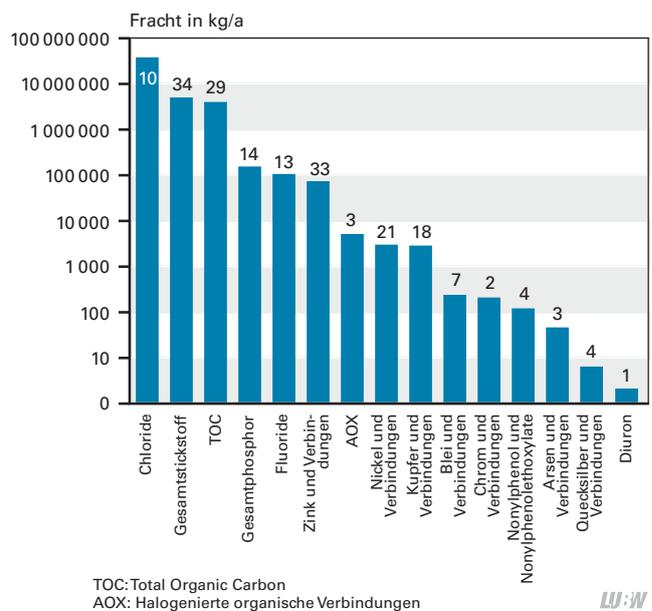


Abb. 5.4-6: Frachten kommunaler Kläranlagen > 100 000 EW und Anzahl der Betriebseinrichtungen im Jahr 2012 in Baden-Württemberg.

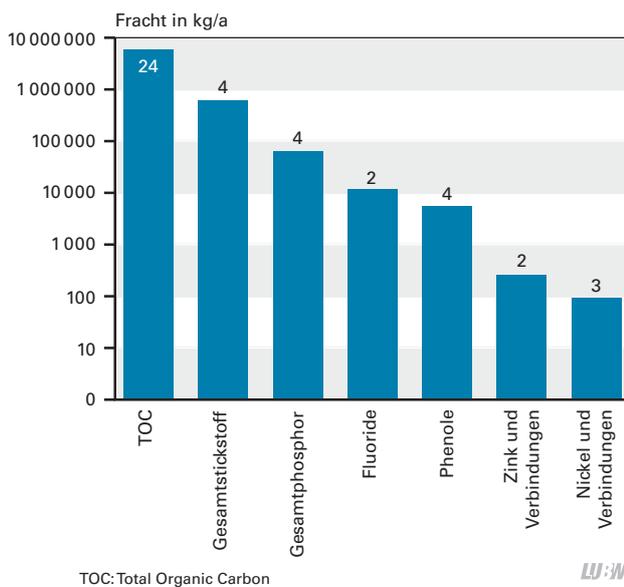


Abb. 5.4-5: Durch PRTR (Schadstofffreisetzungs- und Verbringungsregister)-pflichtige Betriebe in das Abwasser verbrachte Frachten, die in externen Kläranlagen behandelt werden (Indirekteinleitungen) und jeweilige Anzahl der Betriebe im Jahr 2012 in Baden-Württemberg.

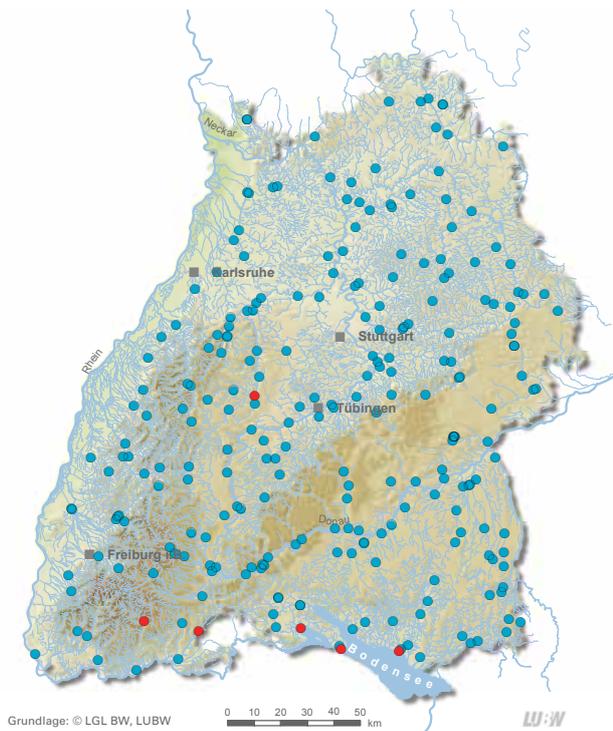
## 5.5 Hydrologie der Oberflächengewässer

### 5.5.1 Pegelmessnetz

Systematische Beobachtungen der Wasserstände an Rhein und Neckar mit den wichtigsten Nebengewässern gibt es seit Anfang des 19. Jahrhunderts. An den Pegeln werden seit etwa 150 Jahren Abflüsse ermittelt. Damit ist das Pegelmessnetz der oberirdischen Gewässer das älteste gewässerkundliche Messnetz in Baden-Württemberg. Heute ist der größte Teil der Daten digital als Stundenmittelwerte des Wasserstandes und des Abflusses verfügbar. Mit den Abflussdaten werden der Wasserhaushalt der Fließgewässer bewertet sowie Auswirkungen auf das Ökosystem beurteilt oder Wärme- und Stofffrachten ermittelt.

Zum hydrologischen Pegelmessnetz zählen 245 Landespegel. Darüber hinaus gibt es zwölf Landespegel mit speziellen Anforderungen. Das aktuelle hydrologische Landesmessnetz wird in Abbildung 5.5.1 dargestellt. Im Regelfall liefern Pegel Wasserstands- und Abflussdaten, Seepegel nur Wasserstände.

Die Landespegel sollen die Messbereiche Niedrigwasser, Mittelwasser und Hochwasser abdecken. Sie müssen mehrere übergeordnete Aufgaben erfüllen (Tab. 5.5-1), z. B. für den Hochwassermeldedienst („HMO-Pegel“), für Veröffentlichungen im Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch, für Beobachtungen von Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft (KLIWA) im Rah-



**Hydrologisches Pegelmessnetz**  
 ● Pegel für Wasserstand  
 ● Pegel für Wasserstand und Abfluss

Abb. 5.5-1: Hydrologisches Pegelmessnetz Baden-Württemberg. Stand: 2015

Tabelle 5.5-1: Aufgaben hydrologisches Pegelmessnetz. Stand: 2015

Konzeptionelle Anforderung	Anzahl Pegel
Hochwassermeldepegel	45
Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch (geprüfte Daten)	88
Messwertveröffentlichung durch die Hochwasservorhersagezentrale (Rohdaten)	194
Hochwasservorhersagepegel	77
Kooperationsvorhaben KLIWA (Klimawandel)	30
Abdeckung kleiner Einzugsgebiete	13
Quellmessnetz	11
Regelmäßiger Bund-Länder-Datenaustausch	25
Regionalisierung/BW Abfluss	245

LUBW

men des Kooperationsvorhabens der Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz gemeinsam mit dem Deutschen Wetterdienst oder für die Aufgaben der Hochwasservorhersagezentrale. Auch die Berücksichtigung bedeutsamer Quellen („Quellmessnetz“) oder die repräsentative Abdeckung kleiner Einzugsgebiete spielen dabei eine Rolle. Einzelne Messstellen des Landes werden zusätzlich für besondere Landesaufgaben herangezogen, die sich z. B.

aus der örtlichen Nutzungssituation (Steuerung von Hochwasserrückhaltebecken) oder dem lokalen Hochwassermanagement ergeben.

Neben den übergeordneten Aufgaben spielen bei der Konzeption auch lokale Anforderungen eine Rolle, wie z. B. die Überwachung von rechtlichen Regelungen. Für lokale Fragestellungen gibt es ein weiteres Messnetz mit 29 Betriebspegeln.

Die Anforderungen an die Ausfallsicherheit der Pegel des hydrologischen Messnetzes sind sehr hoch. Grundsätzlich sind an jeder Pegelanlage zwei voneinander unabhängige Messsysteme zur automatisierten Wasserstandserfassung eingerichtet. Die Messtechnik ist so ausgelegt, dass selbst bei einem Hochwasserereignis, das sich statistisch alle 500 Jahre einmal ereignet, zuverlässig auf die Messdaten zugegriffen werden kann. Die LUBW erstellt die Konzeption für das hydrologische Messnetz, erarbeitet die Grundlagen und Vorgaben für die Weiterentwicklung und führt die Qualitätssicherung durch. Betrieb und Unterhaltung der Pegel, die Abflussmessungen sowie Instandsetzungs- oder Modernisierungsmaßnahmen werden von den Regierungspräsidien sichergestellt.

### 5.5.2 Regionalisierung von Abflusskennwerten

Für die Planung und Bewertung von wasserbaulichen Maßnahmen, Abflussregelungen, wasserwirtschaftlichen Nutzungen (z. B. Wasserkraft), Renaturierungen oder bei der Bewertung der Gewässergüte sind die hydrologischen Kenngrößen eine wichtige Grundlage. Diese Informationen werden anhand von Messdaten und Zeitreihen an Pegelmessstellen abgeleitet. Darüber hinaus werden die Kenngrößen in hoher räumlicher Auflösung an zahlreichen Gewässerstellen vor Ort benötigt. Um diesen Bedarf flächenhaft zu decken, stellt die LUBW das GIS-basierte Informationssystem „BW-Abfluss – regionalisierte Abflusskennwerte Baden-Württemberg“ zur Verfügung (Abb. 5.5-2).

Bei der Regionalisierung handelt es sich um ein relativ neues Verfahren, das auf multiplen Regressionsmodellen basiert. Das Verfahren erlaubt die Ermittlung von mittleren und TN-jährlichen Abflusskennwerten (z. B. HQ100 = 100-jährlicher Abfluss, d. h. ein Abfluss, der statistisch einmal in 100 Jahren auftritt), basierend auf maßgebenden Einzugsgebietskenngrößen und Landschaftsgrößenräumen. Die Anpassung und Plausibilisierung der Verfahren er-

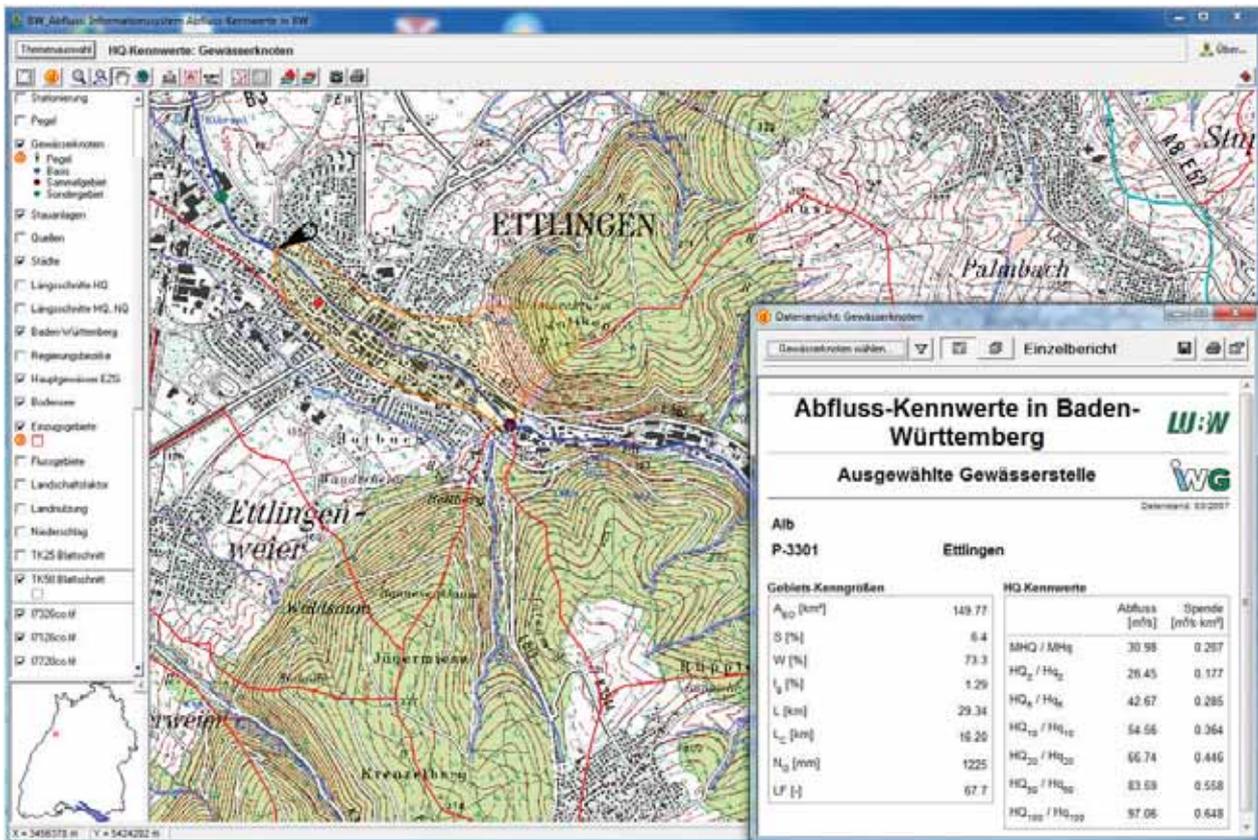


Abb. 5.5-2: Screenshot der Anwendung „BW-Abfluss – regionalisierte Abfluss-Kennwerte Baden-Württemberg“

folgte in Baden-Württemberg anhand möglichst langer Beobachtungszeitreihen auf der Basis von über 400 aktiven und historischen Pegeln. Die Modellanpassungen zeigen sehr gute Übereinstimmungen mit den statistisch ermittelten Kennwerten an den Pegelmessstellen.

Seit der Verfahrensentwicklung 1999 sind die regionalisierten Abfluss-Kennwerte Baden-Württemberg – BW-Abfluss kontinuierlich weiterentwickelt und fortgeschrieben worden. Inzwischen werden die wichtigsten hydrologischen Abflusskennwerte, wie mittlere Abflüsse (MQ), Mittelwerte und Jährlichkeiten von Höchstabflüssen (MHQ, HQT) sowie extreme Bemessungsabflüsse gemäß DIN 19700, Mittelwerte und Jährlichkeiten von Niedrigstabflüssen (MNQ, NQT) sowie Mittelwerte und Jährlichkeiten von Niedrigwasser-Dauern (MND, NDT) abgeleitet.

Die jüngsten Erweiterungen haben sich vor allem aus den Anforderungen zur Bearbeitung der flächendeckenden Hochwassergefahrenkarten (HWGK) in Baden-Württemberg

ergeben. Inzwischen werden die regionalisierten Abflusskennwerte für über 14 000 Gewässerstellen bereitgestellt und sind damit flächendeckend verfügbar. Für die aktuelle Fortschreibung der Mittleren Abflüsse (MQ) und der Mittleren Niedrigwasserabflüsse (MNQ) werden für die Anpassung des Regionalisierungsmodells die Pegel-daten für den Zeitraum 1981 bis 2010 ausgewertet. Diese Arbeiten sollen 2015 abgeschlossen werden und dienen der besseren Darstellung der aktuellen Abflussverhältnisse. Zudem werden für die Fortschreibung zahlreiche Daten zu den Kläranlagenabläufen analysiert, um eine Aufteilung in natürliche und anthropogen geprägte Abflussanteile in den betrachteten Einzugsgebieten durchführen zu können. Das Auftrennen der Abflussanteile kann die Zuverlässigkeit einer Beurteilung von Niedrigwassersituationen in Einzugsgebieten Baden-Württembergs erheblich verbessern.

# 6 Natur und Landschaft

## Das Wichtigste in Kürze

In Baden-Württemberg gibt es 302 Gebiete, die als **Natura 2000-Gebiete** nach europäischen Naturschutzrichtlinien geschützt sind. Sie nehmen über 17 % der Landesfläche ein. Über 50 % der Lebensraumtypen und Arten der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie befinden sich in einem ungünstigen Erhaltungszustand.

Im Rahmen des **Artenschutzprogramms** wurden seit 1991 Populationen von 950 hochgradig gefährdeten Tier- und Pflanzenarten Baden-Württembergs betreut. Einige Bestände konnten sich bereits erholen und neue Flächen besiedelt werden. Die landesweite Erfassung der Brutvorkommen von Rot- und Schwarzmilan in den Jahren 2011 bis 2014 ergab für den Rotmilan einen Bestand von 2 600 bis 3 300 Revierpaaren. Da dessen Bestände in den letzten 25 Jahren in Südwestdeutschland zu-, anderenorts aber abgenommen haben, beherbergt Baden-Württemberg nunmehr über 10 % des Weltbestandes.

Im Vollzug der **naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung** wurden bis Dezember 2014 in Baden-Württemberg insgesamt 3 763 Kompensationsmaßnahmen gemeldet, mehr als 40 % betrafen landwirtschaftliche Vorhaben.

**Medienübergreifende Umweltbeobachtungen** zeigen Auswirkungen des Klimawandels auf das Wachstum der Rotbuche und geben Hinweise auf einen veränderten Stoffhaushalt. In ehemals stark versauerten Stillgewässern und Fließgewässeroberläufen im Odenwald und Schwarzwald haben sich die Fisch- und Amphibienpopulationen deutlich erholt. Untersuchungen von Fischen und Muscheln in Rhein, Neckar und Donau belegten Überschreitungen der Umweltqualitätsnormen für Quecksilber und einige organische Schadstoffe.

Über technische und biologische Prozesse wird mehr Stickstoff in die Umwelt eingebracht, als diese auf Dauer verträgt. Bei der Analyse der **Stickstoffbilanz der Landwirtschaft** in Baden-Württemberg wurden Überschüsse von durchschnittlich 107 kg Stickstoff pro Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche ermittelt.

Das **Monitoring gentechnisch veränderter Rapspflanzen** ergab 2014 in Baden-Württemberg keinen Nachweis.

Der Zustand des **Waldes** hat sich nach einer Verbesserung seit dem Jahr 2011 wieder verschlechtert. Die mittlere Kronenverlichtung der Bäume nahm seit 2011 um 4,7 Prozentpunkte auf 25,8 % zu.

## 6.1 Flächenschutz

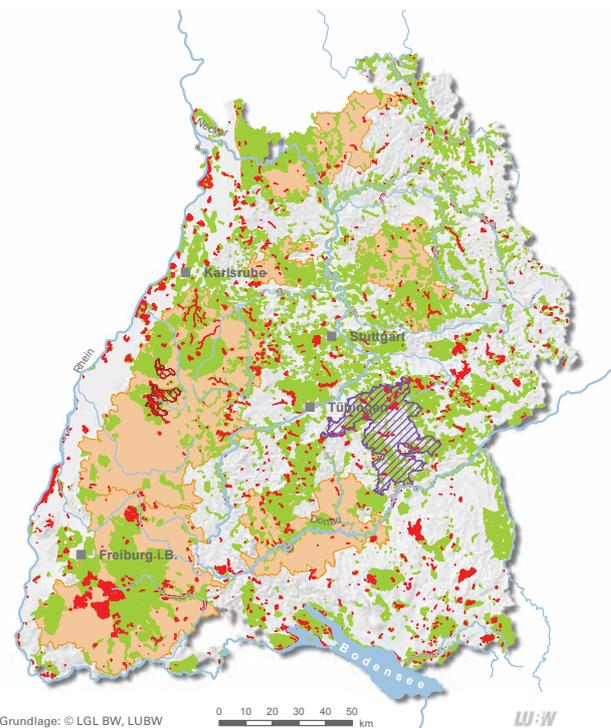
### 6.1.1 Gebiets- und Biotopschutz

Der Schutz ausgewählter Flächen und Gebiete ist nach wie vor eines der wichtigsten Instrumente, um die Ziele des Naturschutzes zu erreichen. In Tabelle 6.1-1 und Abbildung 6.1-1 werden die in Baden-Württemberg bestehenden Schutzgebietskategorien dargestellt ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Natur und Landschaft > Flächenschutz > Schutzgebietsverzeichnis > Schutzgebietskategorien).

Tab. 6.1-1: Schutzgebiete nach Anzahl, Fläche und Anteil an der Landesfläche. Naturparke, Biosphärengebiet und gesetzlich geschützte Biotope können die anderen Schutzkategorien überlagern\*. Stand: Januar 2015

	Anzahl	Fläche in ha	Anteil an Landesfläche
Naturschutzgebiete	1 034	85 451	2,39 %
Nationalpark	1	10 061	0,28 %
Biosphärengebiet	1	85 269	2,39 %
Landschaftsschutzgebiete	1 450	812 356	22,72 %
Naturparke	7	1 195 733	33,45 %
Naturdenkmale	14 446	6 513	0,18 %
gesetzlich geschützte Biotope	210 022	129 382	3,62 %

\* Natura 2000-Gebiete sind naturschutzrechtlich keine Schutzgebietskategorie und daher nicht enthalten.



- Naturschutzgebiet
- Landschaftsschutzgebiet
- Naturpark
- Nationalpark
- Biosphärengebiet

Abb. 6.1-1: Schutzgebiete in Baden-Württemberg. Stand: Dezember 2014

## Naturschutzgebiete

Ende 2014 gab es in Baden-Württemberg 1034 Naturschutzgebiete (NSG) mit einer Fläche von 85 451 Hektar (ha) (Abb. 6.1-2). Der Anteil der NSG an der Landesfläche vergrößerte sich von 0,5 % im Jahr 1975 auf 2,39 % im Dezember 2014. Die Durchschnittsgröße aller NSG beträgt knapp 85 ha, wobei die Mehrzahl nach wie vor Flächengrößen zwischen 10 ha und 50 ha aufweist. Insgesamt gibt es neun NSG, die jeweils größer als 1 000 ha sind.

## Nationalpark

Zum 01.01.2014 wurde per Gesetz der erste Nationalpark Baden-Württembergs, der „Nationalpark Schwarzwald“, mit einer Fläche von 10 061 ha eingerichtet.

Laut § 24 Bundesnaturschutzgesetz sind Nationalparke „einheitlich zu schützende Gebiete, die

- großräumig, weitgehend unzerschnitten und von besonderer Eigenart sind,
- in einem überwiegenden Teil ihres Gebietes die Voraussetzungen eines Naturschutzgebietes erfüllen und
- sich in einem überwiegenden Teil ihres Gebietes in einem vom Menschen nicht oder wenig beeinflussten Zustand befinden oder geeignet sind, sich in einen Zustand zu entwickeln oder in einen Zustand entwickelt zu werden, der einen möglichst ungestörten Ablauf der Naturvorgänge in ihrer Dynamik gewährleistet.“

Wildlebende Pflanzen und Tiere finden hier ihre Lebensräume, wobei die Wildnis auch für den Menschen erlebbar ist. Nationalparke können dazu beitragen, den Rückgang der Artenvielfalt zu begrenzen.

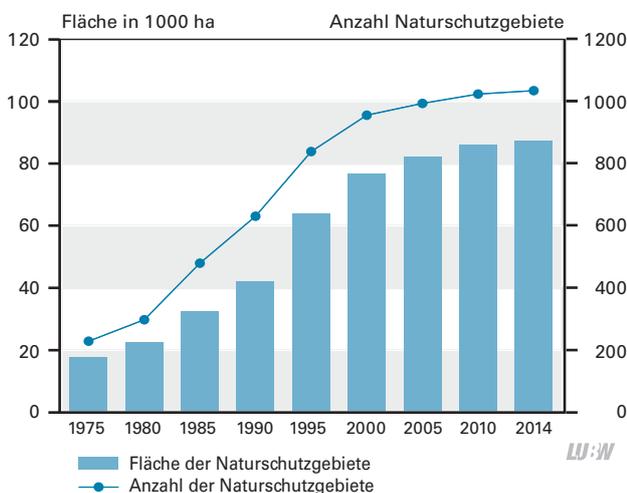


Abb. 6.1-2: Naturschutzgebiete (NSG) nach Anzahl und Fläche.

## Biosphärengebiet

Biosphärengebiete sind Schutzgebiete mit dem Ziel, großräumige Kulturlandschaften mit charakteristischer und reicher Naturausstattung zu erhalten, zu fördern und zu entwickeln. Das Biosphärengebiet „Schwäbische Alb“ ist seit dem 22.03.2008 nach Landesrecht ausgewiesen und seit Mai 2009 von der UNESCO international anerkannt. Das Biosphärengebiet ist räumlich in drei Zonen unterschiedlicher Schutzintensität gegliedert (Tab. 6.1-2).

Modellhafte und nachhaltig wirkende Projekte der verschiedenen Handlungsfelder im Biosphärengebiet können durch Fördermittel des Landes unterstützt werden.

Tab. 6.1-2: Zielsetzung und Anteil der Zonen an der Gesamtfläche des Biosphärengebietes Schwäbische Alb. Stand: Dezember 2014

Biosphären-gebietszone	Zielsetzung der Zonen	Fläche in ha	Anteil an der Gesamtfläche
Kernzone	ungestörte Naturentwicklung	2 645	3,1 %
Pflegezone	Entwicklung wertvoller Kulturlandschaften	35 410	41,5 %
Entwicklungszone	nachhaltige Wirtschaftsweisen	47 214	55,4 %
<b>Gesamtfläche</b>		<b>85 269</b>	<b>100,0 %</b>

LU:W

## Landschaftsschutzgebiete

Die Gesamtfläche der Landschaftsschutzgebiete (LSG) ist seit 1975 von 540 143 ha bis Januar 2015 auf 812 356 ha gestiegen. Damit stehen heute fast 23 % der Landesfläche unter Landschaftsschutz (Abb. 6.1-3). Gut 12 % der LSG sind als Bestandteil kombinierter Natur- und Landschaftsschutzgebiete ausgewiesen. Sie erfüllen dabei die Funktion

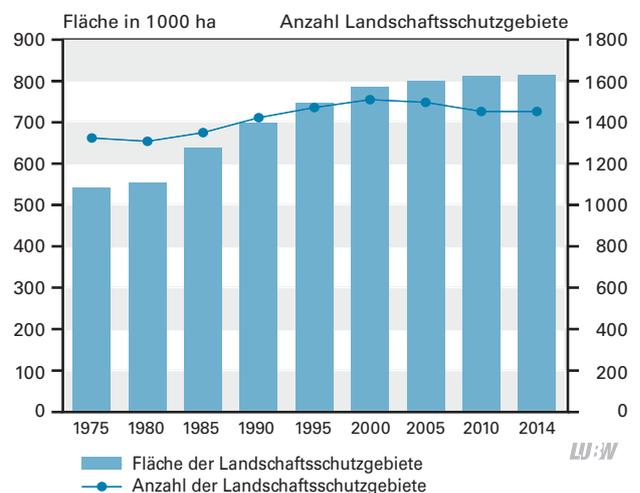


Abb. 6.1-3: Landschaftsschutzgebiete (LSG) nach Anzahl und Fläche.

einer Pufferzone zwischen intensiv genutzten Flächen und den NSG und fördern so deren Schutzziele.

### Naturparke

Im Dezember 2014 gab es in Baden-Württemberg sieben Naturparke (Tab. 6.1-3). Der Naturpark Südschwarzwald ist durch eine Neufassung der Naturparkverordnung seit Oktober 2014 der größte deutsche Naturpark mit 393 500 ha Fläche. Zusammen mit dem Naturpark Schwarzwald Mitte/Nord gilt damit fast der gesamte Schwarzwald als Naturpark. Als Naturparke können Gebiete ausgewiesen werden, die sich aufgrund ihrer Großräumigkeit und ihrer naturräumlichen Ausstattung für die Erholung besonders eignen.

Tab. 6.1-3: Naturparke in Baden-Württemberg. Stand: Dezember 2014

Naturpark	Naturparkfläche in ha	Anteil an der Landesfläche
Schönbuch	15 507	0,4 %
Stromberg-Heuchelberg	33 209	0,9 %
Neckartal-Odenwald	152 555	4,3 %
Obere Donau	135 089	3,8 %
Schwäbisch-Fränkischer Wald	91 615	2,6 %
Südschwarzwald	393 500	11,0 %
Schwarzwald Mitte/Nord	374 258	10,5 %
<b>Baden-Württemberg</b>	<b>1 195 733</b>	<b>33,5 %</b>

LU:W

### Naturdenkmale

Als Naturdenkmale können sowohl Einzelgebilde wie bemerkenswerte Bäume oder Felsen als auch naturschutzwürdige Flächen bis zu 5 ha Größe ausgewiesen werden. Ihr Schutzstatus ist mit dem eines NSG vergleichbar. Landesweit existieren 14 446 Naturdenkmale mit rund 6 513 ha Fläche (Abb. 6.1-4).

### Gesetzlich geschützte Biotope in Baden-Württemberg

Das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) definiert in § 30 Biotoptypen, die einen unmittelbaren gesetzlichen Schutz genießen. Es handelt sich dabei um besonders wertvolle und gefährdete Lebensräume, wie z. B. Moore, Nasswiesen und Trockenrasen. Daneben sind in § 33 NatSchG nach Landesrecht besonders geschützte Biotope beschrieben. Zuletzt wurden die gesetzlich geschützten Biotope im Offenland in den Jahren 1992 bis 2004 landesweit kartiert. Im Wald werden die gesetzlich geschützten Biotope im Rahmen der Waldbiotopkartierung im Auftrag der Forstverwaltung erho-

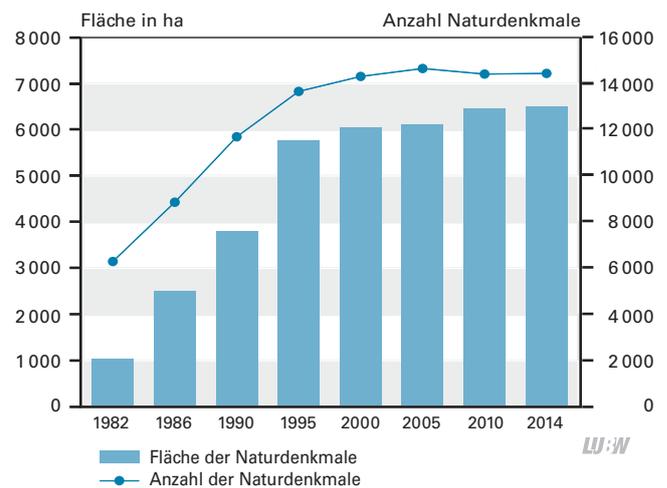


Abb. 6.1-4: Naturdenkmale nach Anzahl und Fläche.

Tab. 6.1-4: Geschützte Biotope in Baden-Württemberg. Stand: Januar 2015

	Anzahl Biotope	Fläche in ha	Anteil an der Landesfläche
Offenlandbiotopkartierung	154 958	69 761	1,95 %
Waldbiotopkartierung	55 064	59 621	1,67 %
<b>Gesamt</b>	<b>210 022</b>	<b>129 382</b>	<b>3,62 %</b>

LU:W

ben. Zusammen mit dem Biotopschutzwald nach § 30a Landeswaldgesetz (LWaldG) nehmen die geschützten Biotope etwa 3,6 % der Landesfläche ein (Tab. 6.1-4).

Die Aktualisierung der Biotopkartierung erfolgt seit 2010. Seitdem wurden Pilotkartierungen in bisher zehn Landkreisen und drei Stadtkreisen Baden-Württembergs durchgeführt. Für die Berichtspflicht der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie) sind aktuelle Daten zu europaweit gefährdeten Lebensraumtypen dringend erforderlich. Um Synergieeffekte zu nutzen und Kosten zu sparen, werden bei den Pilotkartierungen die Erhebungen der gesetzlich geschützten Biotope und der FFH-Lebensraumtypen erstmals kombiniert. Außerdem werden die FFH-Lebensraumtypen „Magere Flachland-Mähwiesen“ und „Bergmähwiesen“, die nicht vom gesetzlichen Biotopschutz nach § 30 BNatSchG oder § 33 NatSchG abgedeckt sind, erstmalig flächengenau auch außerhalb der FFH-Gebiete erfasst.

Die Auswertungen in Tabelle 6.1-5 beziehen sich auf die bisher vollständig kartierten und abgeschlossenen Kreise. Am häufigsten wurden Feldgehölze und Feldhecken sowie Magerrasen und Nasswiesen neu erfasst. Die neu erfassten Magerrasen und Nasswiesen resultieren allerdings größten-

Tab.6.1-5: Überblick über Biotopanzahl und Biotopfläche. Stand: Dezember 2014

Kreis	Biotopanzahl			Biotopfläche in ha			Anteil der Biotopfläche an der Kreisfläche
	aktuell	neu	nicht mehr vorhanden	aktuell	neu	nicht mehr vorhanden	
Esslingen	3 674	845	447	1 367	125	69	2,13 %
Freiburg	524	13	11	258	5	7	1,69 %
Rastatt	2 855	1 178	252	1 492	403	64	2,02 %
Sigmaringen	6 362	742	890	2 676	330	148	2,22 %
Baden-Baden	515	162	87	355	83	33	2,53 %
Alb-Donau-Kreis	5 339	1131	172	2 152	602	19	1,59 %

LUBW

teils aus einer geänderten Kartierzuständigkeit und sind nicht tatsächlich neu entstanden. Diese auf den forstlichen Betriebsflächen gelegenen Offenlandbiotoptypen wurden ehemals bei der Waldbiotopkartierung der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden Württemberg (FVA) erhoben. Seit 2010 werden sie im Rahmen der FFH-Biotopkartierung durch die LUBW kartiert. Den Großteil der nicht mehr vorhandenen Biotope bilden Feldhecken, Feldgehölze und Magerrasen. Zahlreiche Gehölzbiotope sind mittlerweile gealtert, mit Waldbeständen verwachsen bzw. Feldhecken sind in die Breite gewachsen. Die Situation von Offenlandbiotopen, die auf eine regelmäßige Bewirtschaftung oder Pflege angewiesen sind, hat sich verschlechtert. Der landwirtschaftliche Druck auf nutzbare Flächen steigt und schwer zu bewirtschaftende Flächen werden oftmals aufgegeben.

### Biotopverbund

Zahlreiche Biotope sind für das Überleben von Arten zu klein und ihre Isolation erschwert die Ausbreitung und den Austausch zwischen den Populationen. Die Sicherung und die Vernetzung von Lebensräumen sind Ziele des am 24.04.2012 mit Kabinettsbeschluss anerkannten Fachplans „Landesweiter Biotopverbund“. Der Fachplan wurde für die Lebensräume auf trockenen, mittleren und feuchten Standorten des Offenlands erarbeitet. Als Kernflächen wurden geschützte Biotope, Flächen aus dem Arten- und Biotop-schutzprogramm sowie Flächen im Bereich von Streuobstwiesen und im Bereich von Flachland- und Bergmähwiesen der FFH-Richtlinie auf rund 186 500 ha (7,5 % der Offenlandfläche) identifiziert. Außerdem ist die Fachplanung des Generalwildwegeplans Baden-Württemberg in das Konzept des Biotopverbunds aufgenommen. Um funktionsfähige ökologische Wechselbeziehungen in der Landschaft zu bewahren, wieder herzustellen und zu entwickeln, ist der Fach-

plan „Landesweiter Biotopverbund“ als fundierte Planungs- und Abwägungsgrundlage bei raumwirksamen Vorhaben zu berücksichtigen ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Natur und Landschaft > Flächenschutz & PLENUM > Biotopverbund).

### 6.1.2 Ramsar-Gebiete

Die Ramsar-Konvention ist ein internationales Übereinkommen zum Schutz von Feuchtgebieten internationaler Bedeutung, insbesondere als Lebensraum für Wat- und Wasservogel. Im August 2008 wurde der Oberrhein als grenzübergreifendes deutsch-französisches Ramsar-Gebiet „Oberrhein – Rhin supérieur“ anerkannt. Die Gebietsfläche beträgt auf baden-württembergischer Seite 25 117 ha, im Elsass 22 413 ha. In Baden-Württemberg sind neben dem Oberrhein die Naturschutzgebiete „Wollmatinger Ried“ (767 ha) und „Mindelsee“ (459 ha) am Bodensee als Ramsar-Gebiete gemeldet ([www.ml.baden-wuerttemberg.de](http://www.ml.baden-wuerttemberg.de) > Unsere Themen > Naturschutz > Schutzgebiete – vom Nationalpark bis zur Biosphäre > Alle Schutzgebiete im Überblick > Ramsar-Feuchtgebiete internationaler Bedeutung).

### 6.1.3 Naturschutzförderprojekte

#### Naturschutzgroßprojekte des Bundes in Baden-Württemberg

Mit dem Programm „chance.natur – Bundesförderung Naturschutz“ fördert das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit seit 1979 national bedeutsame Natur- und Kulturlandschaften als Beitrag zum Schutz des nationalen Naturerbes und zur Erfüllung internationaler Naturschutzverpflichtungen. Die Bundesmittel werden dabei für Maßnahmen bereitgestellt, die zur dauerhaften Sicherung der ausgewählten Gebiete beitragen. Dazu gehören zum Beispiel die Erarbeitung eines naturschutzfachlichen Pflege- und Entwicklungsplans, der Ankauf von Flächen, Ausgleichszahlungen für Nutzungs-

einschränkungen, Wiedervernässungsmaßnahmen, Öffentlichkeitsarbeit und Personal- und Sachkosten der Projektverwaltung. In Baden-Württemberg sind mit Badberg-Haselschacher Buck, Wurzacher Ried, Wollmatinger Ried und Feldberg-Belchen-Oberes Wiesental bisher vier Projekte abgeschlossen worden. Zwei weitere Naturschutzgroßprojekte, Pfrunger-Burgweiler Ried mit 1 453 ha und Baar mit 4 690 ha, sind derzeit in der Umsetzung.

Seit Anfang 2011 unterstützt das Bundesprogramm zur biologischen Vielfalt die Umsetzung der nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. Gefördert werden Projekte, für die ein deutschlandweites Interesse besteht und die dazu beitragen, den Rückgang der biologischen Vielfalt in Deutschland zu stoppen und umzukehren. Die Projekte können sich dabei über mehrere Bundesländer erstrecken. Aktuell werden in Baden-Württemberg drei Projekte umgesetzt:

- Stärkung und Vernetzung von Gelbbauchunken-Vorkommen in Deutschland
- Lebensader Oberrhein – Naturvielfalt von nass bis trocken
- Wildkatzensprung – Wiedervernetzung der Wälder Deutschlands

([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Natur und Landschaft > Flächenschutz > Naturschutzgroßprojekte und LIFE)

#### LIFE-Förderprojekte in Baden-Württemberg

Mit dem Programmteil „LIFE Natur“ (L' Instrument Financier pour l'Environnement) förderte die Europäische Union zwischen 1992 und 2006 Umwelt- und Naturschutzvorhaben, insbesondere in Natura 2000-Gebieten. Nachfolgeinstrument des europäischen Umweltförderprogramms war von 2007 bis 2013 LIFE+ (Life-plus). Das derzeitige Förderprogramm LIFE hat eine Laufzeit von 2014 bis 2020. Mit

LIFE sollen Umwelt- und Naturschutzvorhaben sowie Klimaschutzprojekte unterstützt werden. In Baden-Württemberg wurden bisher 15 LIFE Natur-/LIFE+ Natur-Projekte genehmigt. In der vergangenen Förderperiode wurden vier LIFE+ Natur-Projekte von der Europäischen Kommission gefördert, von denen zurzeit noch zwei Projekte laufen (Tab. 6.1-6).

Nach Abschluss der noch laufenden Projekte werden, inklusive der bereits beendeten, EU-Fördermittel in Höhe von insgesamt ca. 18 Millionen Euro und Gesamtmittel in Höhe von knapp 36 Millionen Euro in baden-württembergische LIFE Natur- und LIFE+ Natur-Projekte geflossen sein.

#### 6.1.4 PLENUM

PLENUM ist das „Projekt des Landes zur Erhaltung und Entwicklung von Natur und Umwelt“. Mit seinem nutzungsorientierten Ansatz wird in ausgewählten PLENUM-Gebieten der Schutz der biologischen Vielfalt zusammen mit der Bevölkerung in viele Wirtschaftsbereiche hineingetragen und umgesetzt. Die Kerngebiete der PLENUM-Projektgebiete sind naturschutzfachlich besonders wertvolle Natur- und Kulturlandschaften, die erhalten und in Wert gesetzt werden sollen.

Als Förderprogramm des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg kann PLENUM Projekte aus der Region, die positive Naturschutzauswirkungen haben, durch eine Anschubfinanzierung und kompetente Beratung unterstützen. Grundpfeiler der PLENUM-Strategie sind naturverträgliche Nutzung, umweltschonende Wirtschaftsweisen, Vermarktung regionaler, naturverträglich erzeugter Produkte kombiniert mit sanftem Tourismus und Umweltbildung.

Nachdem die PLENUM-Strategie in den Jahren 1995 bis 2000 im Modellgebiet Isny/Leutkirch erfolgreich erprobt wurde, erfolgte von 2001/02 bis 2013 die großflächige An-

Tab. 6.1-6: Übersicht über die in der letzten LIFE-Förderperiode geförderten Projekte in Baden-Württemberg. Quelle: Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg. Stand: November 2014

Name	Projektsumme	EU-Förderung	Laufzeit
<b>abgeschlossene Projekte</b>			
LIFE+ „Restauration von Habitaten im Federseemoor“ (NABU-Beteiligung)	1 304 960 €	652 480 € (50 %)	2009 – 2012
LIFE+ „Vogelschutz in Streuobstwiesen des Mittleren Albvorlandes und des Mittleren Remstales“	5 183 264 €	2 591 632 € (50 %)	2009 – 2013
<b>laufende Projekte</b>			
LIFE+ „Rheinauen bei Rastatt“	9 397 433 €	4 698 716 € (50 %)	2011 – 2015
LIFE+ „LIFE rund ums Heckengäu“	1 819 460 €	909 730 € (50 %)	2011 – 2016

LUBW

wendung auf ca. 15 % der Landesfläche in fünf Projektgebieten. Dies waren die Gebiete Allgäu-Oberschwaben, Westlicher Bodensee, Schwäbische Alb, Naturgarten Kaiserstuhl und Heckengäu. Von diesen ursprünglichen PLENUM-Gebieten wurden die Förderungen 2012/2013 in den drei erstgenannten beendet. Auch für die PLENUM-Gebiete Naturgarten Kaiserstuhl und Heckengäu hätte 2014 der PLENUM-Gebietsstatus geendet. Zur Unterstützung des Verstetigungsprozesses in den Gebieten wurde die Projektförderung jedoch um zwei Jahre bis 2016 verlängert. Einige Gemeinden des Heckengäu sind allerdings aus PLENUM ausgeschieden, um sich an einer anderen Förderkulisse zu beteiligen. PLENUM wird damit derzeit auf etwa 4 % der Landesfläche umgesetzt, das entspricht ca. 140 000 ha, in den PLENUM-Gebieten Naturgarten Kaiserstuhl, dem verkleinerten Heckengäu und dem im Juni 2013 neu ins Leben gerufenen PLENUM-Gebiet Landkreis Tübingen (Abb. 6.1-5).

Die Überprüfung des PLENUM-Förderprogramms im Rahmen von Halbzeit- und Abschlussequationen ergab in der Gesamtbeurteilung eine sehr erfolgreiche Umsetzung der naturschutzfachlichen Ziele und deutliche sozioökonomische Erfolge. Die naturschutzorientierte Regio-

nalentwicklung wird in den Handlungsfeldern Land- und Forstwirtschaft, Verarbeitung und Vermarktung, Tourismus, Umweltbildung und Naturschutz im engeren Sinne gefördert. Beispielsweise wurden wertvolle Grünlandflächen durch Triebwegskonzeptionen für Wanderschäferi und durch neue Beweidungseinrichtungen und Stallbauten gesichert. Für die Erhaltung von Streuobstbeständen reicht die Projektpalette von der Obstwartausbildung, dem Kauf von Obstpressen, Entwicklung und Vermarktungsförderung für Streuobstprodukte bis zu Streuobst-Internetbörsen. Die Ausbildung von Landschaftsführern, die Entwicklung von Touren für Radfahrer und Wanderreiter sind Beispiele für innovative, naturschonende Tourismus- und Umweltbildungsangebote. Eines haben alle Projekte gemeinsam – sie bringen einen Mehrwert für Mensch und Natur ([www.plenum-bw.de](http://www.plenum-bw.de)).

## 6.2 Artenschutz

### 6.2.1 Arten- und Biotopschutzprogramm

Vom Land Baden-Württemberg wird unter Mitwirkung von Naturschutzverbänden und sachkundigen Bürgerinnen und Bürgern ein Arten- und Biotopschutzprogramm (§ 42 NatSchG) erstellt und fortgeschrieben. Ziel ist die Erhaltung, Pflege und Entwicklung der wild lebenden Tier- und Pflanzenarten.

#### Rote Listen und Artenverzeichnisse gefährdeter Tier- und Pflanzenarten

Rote Listen sind Verzeichnisse gefährdeter oder ausgestorbener Tier- und Pflanzenarten. Sie geben Auskunft über den Gefährdungsgrad einzelner Arten. Unter anderem dienen sie der Prioritätensetzung im Arten- und Biotopschutz sowie als Entscheidungshilfe für den rechtlichen Schutz von Arten. Aus den bisher veröffentlichten Roten Listen folgt, dass etwa 40 % der Landesfauna und -flora als gefährdet einzustufen sind (Abb. 6.2-1).

In der Regel werden Rote Listen gemeinsam mit sogenannten Artenverzeichnissen herausgegeben, das heißt, neben den gefährdeten Arten werden auch alle übrigen in Baden-Württemberg vorkommenden Arten der jeweiligen Gruppe aufgeführt ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Natur und Landschaft > Artenschutz > Rote Listen).

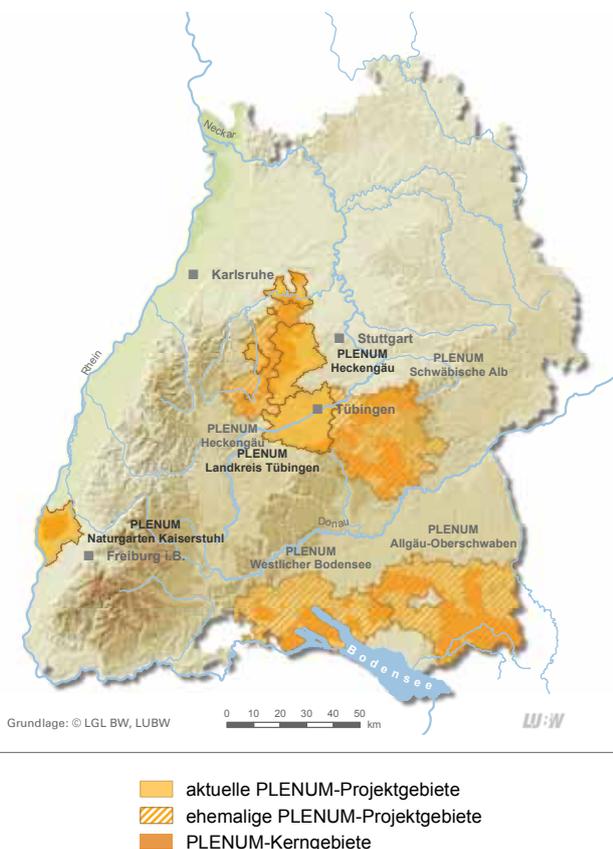


Abb. 6.1-5: PLENUM-Gebiete. Stand: Februar 2015

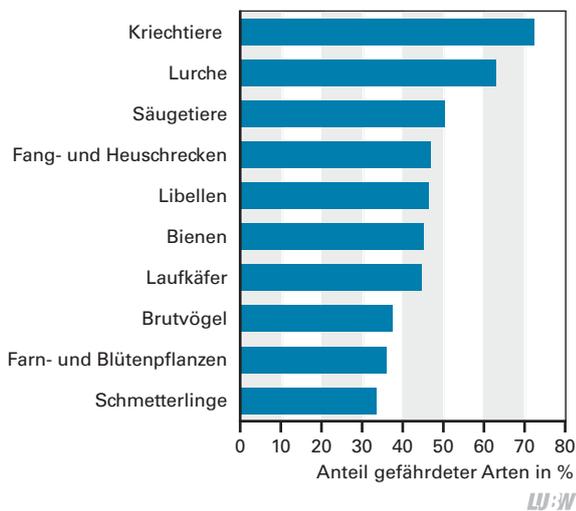


Abb. 6.2-1: Anteil gefährdeter Arten ausgewählter Artengruppen. Stand: Januar 2015



Abb. 6.2-2: Anzahl der aktuell in Baden-Württemberg vorkommenden streng geschützten Arten. Stand: Januar 2015

### Besonders geschützte und streng geschützte Arten

Die besonders geschützten und streng geschützten Arten werden in § 7 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) definiert. Für diese Arten gelten bestimmte Verbote (§ 44 BNatSchG). Zum Beispiel sind alle in Baden-Württemberg vorkommenden Amphibien besonders geschützt. Sie dürfen daher nicht getötet oder aus ihrer natürlichen Umgebung entfernt werden. Ihre Fortpflanzungs- und Ruhestätten dürfen weder beschädigt noch zerstört werden. Darüber hinaus genießen elf Amphibienarten noch einen zusätzlichen strengen Schutz. Für streng geschützte Arten gilt zusätzlich das Verbot, sie während der Fortpflanzungsphase, Aufzuchtzeit sowie der Mauser-, Überwinterungs- und Wanderungszeit erheblich zu stören.

Abbildung 6.2-2 zeigt die Anzahl der aktuell in Baden-Württemberg vorkommenden streng geschützten Arten. Arten, deren Vorkommen in Baden-Württemberg in den aktuellen Artenverzeichnissen als fraglich gekennzeichnet ist, oder ausgestorbene Arten sind in der Graphik nicht berücksichtigt ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Natur und Landschaft > Artenschutz > Geschützte Arten > besonders und streng geschützte Arten).

### Umsetzung des Arten- und Biotopschutzprogramms

Das Artenschutzprogramm Baden-Württemberg dient der Erhaltung der biologischen Vielfalt. Es hat zum Ziel, hochgradig gefährdete Tier- und Pflanzenarten vor dem Verschwinden zu bewahren, im Bestand zu stabilisieren und, sofern möglich, eine Ausbreitung dieser Arten zu fördern. Dies geschieht durch die Erhaltung der Lebensräume und

eine an die Lebensraumansprüche der Zielarten angepasste Bewirtschaftung oder spezielle Pflege der Biotope. Die fachliche Basis bilden die inzwischen mit insgesamt fast 50 Bänden zu verschiedenen Artengruppen erschienenen „Grundlagenwerke“. Sie enthalten das umfassende Wissen der Naturkundemuseen und Experten im Land zu Biologie, Lebensweise, Verbreitung, Gefährdung und möglichen Schutzmaßnahmen der in Baden-Württemberg vorkommenden Arten ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Natur und Landschaft > Artenschutz > Arten- und Biotopschutzprogramm > Grundlagenwerke).

Die Durchführung des Artenschutzprogramms erfolgt in enger Zusammenarbeit mit allen Ebenen der Naturschutzverwaltung und weiteren betroffenen Behörden, den Naturkundemuseen, Naturschutz- und Landschaftspflegeverbänden, den Artenexperten im Land und nicht zuletzt den Grundstückseigentümern und Bewirtschaftern von Flächen mit Vorkommen der gefährdeten Arten.

Nach Auswertung der Grundlagenwerke erfolgt zunächst eine gezielte Erfassung von ausgewählten Vorkommen der am stärksten gefährdeten Arten mit dem Ziel, jeweils geeignete Maßnahmen zu entwickeln. Inzwischen liegen Erfassungen von rund 950 Arten aus elf Artengruppen (Amphibien, Farn- und Blütenpflanzen, Heuschrecken, Käfer, Libellen, Moose, Säugetiere, Schmetterlinge, Vögel, Weichtiere, Wildbienen) vor. Die hierbei vorgeschlagenen Maßnahmen werden von Spezialisten vor Ort in Zusammenarbeit mit den beteiligten Behörden, Institutionen und Bewirtschaftern umgesetzt. Für den vom Aussterben bedrohten Schwarzen Apollofalter (*Parnassius mnemosyne*) werden beispielsweise Waldrand-

strukturen für den Lerchensporn (Gattung *Corydalis*) als Raupennahrungspflanze entwickelt und angrenzende Wiesen so gemäht, dass zum richtigen Zeitpunkt die Nektarpflanzen für Schmetterlinge blühen. Im Ergebnis konnten sich einige Bestände erholen und neue Flächen besiedelt werden.

### 6.2.2 Aktionsplan „Biologische Vielfalt“

Das Land Baden-Württemberg hat in Zusammenarbeit mit den Naturschutzverbänden den Aktionsplan „Biologische Vielfalt“ in Baden-Württemberg aufgestellt. Er besteht derzeit aus vier Bausteinen, die die Lebensbedingungen der heimischen Arten verbessern, die Naturschutzarbeit ergänzen und die Bevölkerung für die Erhaltung der biologischen Vielfalt sensibilisieren sollen.

Beispielhaft wird im Folgenden der 111-Arten-Korb beschrieben. Er umschließt 111 in Baden-Württemberg heimische Tier- und Pflanzenarten, die besonders auf Hilfe angewiesen sind. Mit Partnern aus unterschiedlichen Bereichen werden Aktionen und Projekte für diese Arten durchgeführt. Dabei kann jeder mitmachen, egal ob Stadt, Verein, Kirche, Schule oder auch Unternehmen. Seit Beginn im Jahr 2008 wurden 289 Projekte mit 337 verschiedenen Partnern umgesetzt. 50 % aller Projekte kamen dabei Säugetieren, Vögeln und Amphibien zugute (Abb. 6.2-3).

### 6.2.3 Landesweite Artenkartierung

Verbreitungsdaten sind für die tägliche Arbeit im Naturschutz unerlässlich. Informationen zu Artenvorkommen

bilden eine essenzielle Grundlage, um den Erhaltungszustand von Arten zu bewerten, gezielte Schutzmaßnahmen durchzuführen und Planungsvorhaben fachlich beurteilen zu können. Aktuell stehen dem Land Baden-Württemberg jedoch bei den weiter verbreiteten Arten häufig nur veraltete und lückenhafte Daten zur Verfügung. 2014 startete die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg zusammen mit dem Staatlichen Museum für Naturkunde Stuttgart und Naturschutzverbänden ein zweijähriges Pilotprojekt zur Kartierung der Reptilien und Amphibien in Baden-Württemberg. Im Mittelpunkt stehen Arten, die nach der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie) von europaweiter Bedeutung sind und in Baden-Württemberg zu den weiter verbreiteten Arten zählen (Abb. 6.2-4).

Mithilfe eines Netzes von ehrenamtlichen Kartierern sollen im gesamten Land Amphibien- und Reptilienarten erfasst werden. Die Kartierung erfolgt auf Basis der in Baden-Württemberg insgesamt 1 581, jeweils 5 km x 5 km großen Rasterfelder des UTM-Koordinatensystems (UTM5-Raster) (Abb. 6.2-5). Im Jahr 2014 haben 273 Ehrenamtliche an der Artenkartierung teilgenommen und insgesamt 729 UTM5-Rasterfelder kartiert. Bis Januar 2015 wurden in der Online-Dateneingabe über 6 400 Fundorte mit insgesamt über 15 100 Datensätzen eingerichtet. Die erhobenen Daten werden in einer zentralen Datenbank gespeichert und die Ergebnisse der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Themen > Natur und Landschaft > Artenschutz > Artenkartierung).

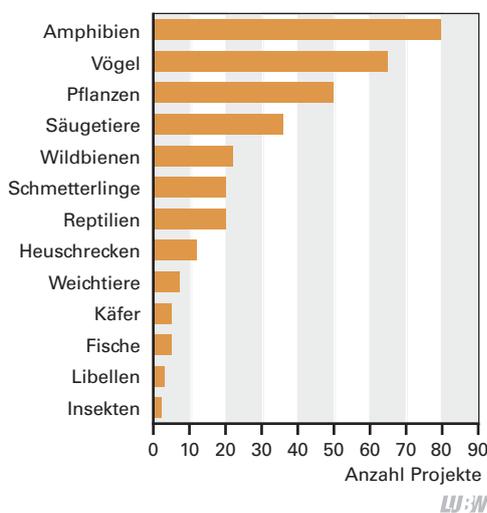


Abb. 6.2-3: 111-Arten-Korb: Anteile der durchgeführten Projekte je Artengruppe. Stand: Januar 2015

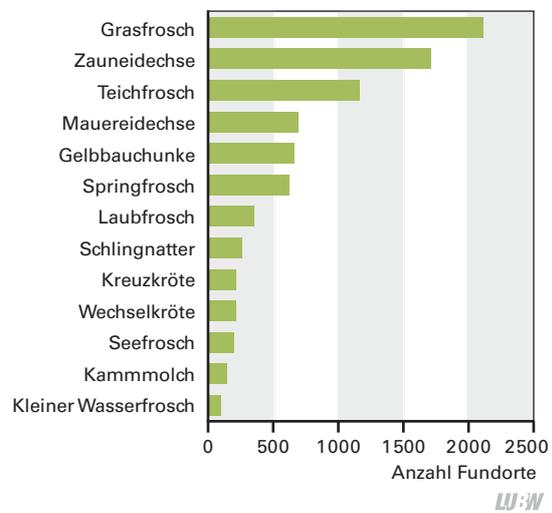
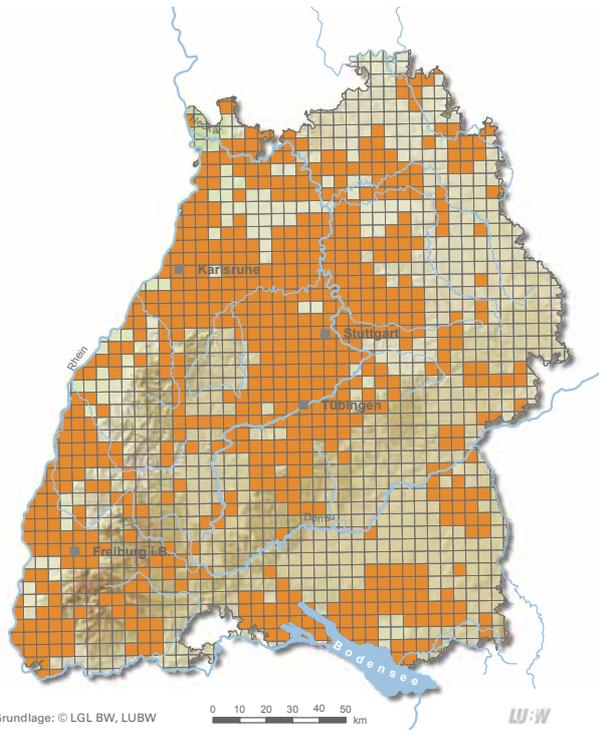


Abb. 6.2-4: Anzahl der Fundorte der Projektarten bei der landesweiten Artenkartierung (LAK) der Reptilien und Amphibien in Baden-Württemberg. Stand: Januar 2015



#### LAK Amphibien und Reptilien

■ UTM5-Raster bereits zur Kartierung vergeben

Abb. 6.2-5: Landesweite Artenkartierung (LAK) – Amphibien und Reptilien. Stand: November 2014

#### 6.2.4 Brutvogelmonitoring

Aufgrund des guten Kenntnisstandes über Bestand, Lebensraumsprüche und Gefährdungsursachen der heimischen Vogelarten eignen sich diese stellvertretend für eine Vielzahl von Artengruppen als Gütezeiger für den Zustand unserer Natur und Landschaft. Das Brutvogelmonitoring in Baden-Württemberg erfasst die Bestandsveränderungen der Vogelarten auf Landesebene. Damit hat es eine herausragende Bedeutung als Frühwarnsystem für Veränderungen und Gefährdungen der Artenvielfalt. Handlungsbedarf zum Ergreifen von Schutzmaßnahmen wird so frühzeitig erkennbar.

Das seit 1992 im Land durchgeführte Brutvogelmonitoring dient zur Erfassung der „häufigen“ Vogelarten. Die Kartierung erfolgt seit 2004 in ganz Deutschland nach einer standardisierten Methodik. In Baden-Württemberg werden rund 120 Flächen (Stand 2014) jährlich bearbeitet.

Das Brutvogelmonitoring in Baden-Württemberg ist Teil des nationalen „Monitorings von Vogelarten in der Normallandschaft“ und fließt in europaweite Projekte zur Trendberechnung ein. Ferner bildet es eine Grundlage für die Erfüllung der Berichtspflichten nach Artikel 12 der Vo-

gelschutzrichtlinie. Die Daten bilden auch die Basis für den in der Entwicklung begriffenen landesweiten Nachhaltigkeitsindikator „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“ als einen umfassenden Gradmesser für den Zustand von Natur und Landschaft in Baden-Württemberg.

In Kapitel 1.1 wird in Abbildung 1.1-8 beispielhaft die Bestandsentwicklung von drei Vogelarten der Agrarlandschaft, die durch das Brutvogelmonitoring in Baden-Württemberg erfasst werden, dargestellt. Die Abnahmen spiegeln den negativen Trend stellvertretend für viele in der offenen Agrarlandschaft vorkommende Vogelarten wider, der insbesondere auf die Intensivierung der Landwirtschaft zurückgeführt wird.

Der Weißstorch ist eine im Naturschutz symbolträchtige und langjährig gefährdete Art (Abb. 6.2-6). Deshalb wird der Brutbestand des Weißstorchs alljährlich durch ein besonderes Monitoring erfasst. Die Entwicklung des Brutbestandes in Baden-Württemberg ist seit den 1940er Jahren



Abb. 6.2-6: Weißstorch (*Ciconia ciconia*) (H.-P. Döler, LUBW 1993)

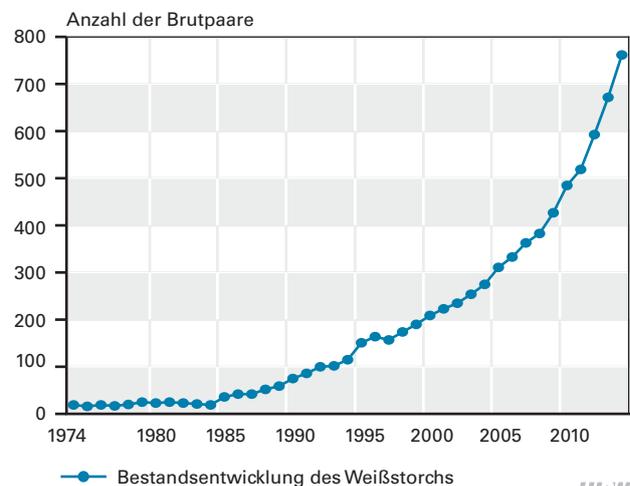


Abb. 6.2-7: Bestandsentwicklung des Weißstorchs in Baden-Württemberg in den letzten 40 Jahren.

fast vollständig dokumentiert. Die Anzahl der Paare nahm, nach einem Brutbestand von 180 Paaren Ende der 1940er Jahre, seit 1960 drastisch ab. In Abbildung 6.2-7 ist dargestellt, wie sich der Brutbestand inklusive halbwilder, fütterungsabhängiger Paare in den letzten 40 Jahren in Folge von Wiederansiedlungsprojekten, gezielten Hilfsmaßnahmen wie Fütterungen und Zucht sowie positiven Bedingungen in den Überwinterungsgebieten auf weit über 700 Brutpaare im Jahr 2014 erholt hat.

Auf Grundlage von § 6 der Kormoranverordnung des Landes vom 20.07.2010 (KorVO) wurde 2014 das Kormoranbrutmonitoring fortgesetzt, um die Bestandsentwicklung des Kormorans zu dokumentieren. Dabei zählten Ornithologen unter Beteiligung der Fischerei 961 Kormoranpaare an 14 Brutstandorten innerhalb der Grenzen von Baden-Württemberg ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Natur und Landschaft > Artenschutz > Brutvogelmonitoring > Kormoranmonitoring). Damit hat der Bestand im Vergleich zum Vorjahr um 137 Paare zugenommen. Seit 1994 brütet der Kormoran wieder regelmäßig in Baden-Württemberg.

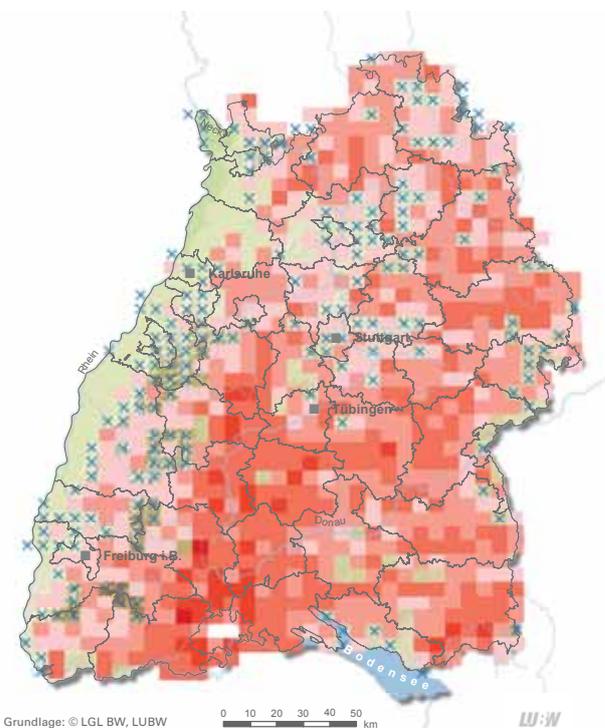
### 6.2.5 Landesweite Erfassung der Brutvorkommen von Rot- und Schwarzmilan

In den Jahren 2011 bis 2014 wurden in Baden-Württemberg auf etwa 90 % der Landesfläche die Brutvorkommen von Rotmilan (*Milvus milvus*) (Abb. 6.2-8) und Schwarzmilan (*Milvus migrans*) systematisch erfasst. Die erhobenen Daten wurden den Behörden und Planungsträgern zur weiteren Berücksichtigung z. B. beim Schutz der Brutplätze, zur Vermeidung von Beeinträchtigungen bei Eingriffen in Natur- und Landschaft und im Zusammenhang mit der Planung von Windenergieanlagen zur Verfügung gestellt. Wesentliches Ziel der Kartierung war die Bereitstellung einer aktuellen Übersicht über die Rotmilanvorkommen (Abb. 6.2-9), da die weltweite Verbreitung dieser Art im Gegensatz zum Schwarzmilan auf Zentraleuropa beschränkt ist. Der aktuelle Landesbestand beläuft sich nach den Ergebnissen der Kartierung auf 2 600 bis 3 300 Revierpaare und liegt damit höher als bislang angenommen. Verbreitungsschwerpunkte dieser in Baden-Württemberg fast flächendeckend verbreiteten Greifvogelart sind z. B. die Baar mit dem Alb-Wutach-Gebiet, die Oberen Gäue und der Hegau.

Da die Bestände in den letzten 25 Jahren in Südwestdeutschland zu-, andernorts aber abgenommen haben, be-



Abb. 6.2-8: Rotmilan (*Milvus milvus*) (H. Dannenmayer, 2009)



#### Kartierungen von Rotmilan-Brutvorkommen

× Keine Revierpaare nachgewiesen

#### Anzahl der Revierpaare

- 1
- 2 - 3
- 4 - 7
- 8 - 15
- > 15

Keine Markierung oder farbige Hinterlegung:  
Quadrant wurde nicht oder nicht vollständig kartiert

Abb. 6.2-9: Verbreitung des Rotmilans in Baden-Württemberg basierend auf Erfassungen von 2011 bis 2014 auf Grundlage der TK25-Quadranten. Stand: Februar 2015

herbergt Baden-Württemberg nunmehr über 10 % des Weltbestandes und trägt damit eine sehr hohe Verantwortung für die Erhaltung des Rotmilans auf globaler Ebene. Die artspezifischen Verbreitungskarten und die dazugehörigen Geodaten sind unter [www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Natur und Landschaft > Artenschutz > Windkraft und Naturschutz > Verbreitungskarten Artenvorkommen abrufbar.

### 6.3 Europäischer Naturschutz

Das nationale Naturschutzrecht ist von zwei Richtlinien der Europäischen Union geprägt: die 1979 verabschiedete und 2009 novellierte Vogelschutzrichtlinie (2009/147/EG) und die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie, kurz FFH-Richtlinie, von 1992 (92/43/EWG). Beide Richtlinien haben zum Ziel, die biologische Vielfalt in Europa zu sichern und ein zusammenhängendes ökologisches Netz europäischer Schutzgebiete „Natura 2000“ aufzubauen. In Baden-Württemberg gibt es nach der Zusammenlegung von FFH-Gebieten aktuell 302 Natura 2000-Gebiete, die über 17 % der Landesfläche einnehmen (Tab. 6.3-1) ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Natur und Landschaft > Natura 2000). Die Schutzgebiete nach europäischem Naturschutzrecht überlagern sich teilweise mit denen des landesweiten Flächenschutzes.

#### 6.3.1 Vogelschutzgebiete

75 Vogelarten der Vogelschutzrichtlinie sind in Baden-Württemberg relevant für die Ausweisung der 90 Vogelschutzgebiete mit einer Gesamtfläche von insgesamt 397 044 ha (Tab. 6.3-1). Für die Vogelschutzgebiete wurden in Baden-Württemberg die Abgrenzungen, die geschützten Vogelarten und die Erhaltungsziele durch die Vogelschutzgebietsverordnung (VSG-VO) vom 5. Februar 2010 festgelegt ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Themen > Querschnittsthemen > Umweltinformationssystem > RIPS > Kartendienste im RIPS > Natura 2000 > Vogelschutzgebiete). Im Rahmen von Managementplänen werden die Erhaltungs- und Entwicklungsziele für die Gebiete dargestellt.

#### 6.3.2 FFH-Gebiete, Arten und Lebensräume

Die Umsetzung der FFH-Richtlinie soll die biologische Vielfalt in Europa langfristig sichern. Dafür müssen die Mitgliedsstaaten für alle Lebensräume und Arten der FFH-Richtlinie den günstigen Erhaltungszustand bewahren oder wiederherstellen. In Baden-Württemberg gibt es eine Vielzahl von Lebensräumen und Arten der FFH-Richtlinie (Tab. 6.3-2). Die Arten können dabei in mehreren Anhängen der Richtlinie gleichzeitig aufgeführt sein. Günstig ist der Erhaltungszustand, wenn die Flächen und Populationen langfristig stabil bleiben oder sich ausdehnen und

Tab. 6.3-1: Natura 2000-Gebiete: Flächen und Schutzgebietsanteile. Stand: Dezember 2014\*

	FFH-Richtlinie <sup>1)</sup> (212 Gebiete) <sup>3)</sup>		Vogelschutz-Richtlinie (90 Gebiete)		Natura 2000 <sup>2)</sup> (302 Gebiete)	
	Fläche in ha	Anteil an der Landesfläche <sup>4)</sup>	Fläche in ha	Anteil an der Landesfläche <sup>4)</sup>	Fläche in ha	Anteil an der Landesfläche <sup>4)</sup>
Baden-Württemberg <sup>4)</sup>	415 986	11,6 %	391 090	10,9 %	621 701	17,4 %
Davon u. a. durch nachfolgenden Schutzstatus <sup>5)</sup> gesichert		Anteil an FFH-Gebieten		Anteil an Vogel- schutzgebieten		Anteil an Natura 2000-Gebieten
Nationalpark	2 749	0,7 %	7 783	2,0 %	7 803	1,3 %
Naturschutzgebiete	77 101	18,5 %	50 367	12,9 %	78 767	12,7 %
Landschaftsschutzgebiete	161 976	38,9 %	142 184	36,4 %	227 028	36,6 %
Naturpark	56 863	13,7 %	81 470	20,8 %	123 761	19,9 %
sonstige Flächen <sup>6)</sup>	117 297	28,2 %	109 286	27,9 %	184 342	29,5 %
zusätzlich Bodensee <sup>7)</sup>	12 039		5 954		12 200	
Meldefläche <sup>2)</sup>	428 025		397 044		633 901	

\* Stand September 2015 für FFH-Gebietsanzahl infolge von Gebietszusammenlegung

LUBW

1) FFH-Richtlinie = Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie

2) Überlagerung Vogelschutzgebiete mit FFH-Gebieten 191 168 ha, verbleiben 205 876 ha reine Vogelschutzgebiete

3) FFH-Gebietsanzahl gegenüber den Vorjahren verringert infolge von Gebietszusammenlegungen

4) Landesfläche Baden-Württemberg 3 575 025 ha exkl. Bodensee

5) Die Schutzgebietstypen sind absteigend nach der Höhe ihres Schutzstatus aufgelistet. Bei den angegebenen Schutzgebietsflächen wurde die Summe der Überlagerungsflächen aller jeweils darüberstehenden, höherwertigen Schutzgebietstypen abgezogen.

6) Waldschutzgebiete, geschützte Biotop, Biosphärengebiet, flächenhafte Naturdenkmale, Flächen ohne Schutzstatus

7) Wasserfläche des Bodensees wird in der Statistik des Landes Baden-Württemberg nicht berücksichtigt

Tab. 6.3-2: Übersicht über die Anhänge der FFH-Richtlinie und die in Anzahl der in Baden-Württemberg vorkommenden Lebensräume und Arten der FFH-Richtlinie. Quelle: EU, Januar 2007; LUBW, Januar 2015. Stand: Januar 2015

Anhang	Inhalt	Anzahl der Arten oder Lebensraumtypen mit Vorkommen in Baden-Württemberg	Beispiele für Art oder Lebensraumtyp mit Vorkommen in Baden-Württemberg
Anhang I	Natürliche Lebensraumtypen von gemeinschaftlichem Interesse, für deren Erhaltung besondere Schutzgebiete ausgewiesen werden müssen (insgesamt 231 Lebensraumtypen).	53 Lebensraumtypen	Wacholderheiden Naturnahe Hochmoore Hainsimsen-Buchenwälder
Anhang II	Tier- und Pflanzenarten von gemeinschaftlichem Interesse, für deren Erhaltung besondere Schutzgebiete ausgewiesen werden müssen (insgesamt 911 Arten).	61 Arten (49 Tier- und 12 Pflanzenarten)	Bechsteinfledermaus Gelbbauchunke Frauschuh
Anhang III	Kriterien zur Auswahl der Gebiete, die als Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung bestimmt und als besondere Schutzgebiete ausgewiesen werden könnten.		
Anhang IV	Streng zu schützende Tier- und Pflanzenarten von gemeinschaftlichem Interesse (insgesamt 1 026 Arten).	77 Arten (67 Tier- und 10 Pflanzenarten)	Feldhamster Mauereidechse Bodensee-Vergissmeinnicht
Anhang V	Tier- und Pflanzenarten von gemeinschaftlichem Interesse, deren Entnahme aus der Natur und Nutzung Gegenstand von Verwaltungsmaßnahmen sein können (insgesamt 223 Arten).	72 Arten (21 Tier- und 51 Pflanzenarten)	Illtis Edelkrebs Gelber Enzian
Anhang VI	Verbotene Methoden und Mittel des Fangs, der Tötung und Beförderung.		

keine Verschlechterungen bezüglich der Qualität, z. B. der Strukturen und Funktionen von Lebensräumen, eintreten. In Baden-Württemberg gibt es infolge von Zusammenlegungen von FFH-Gebieten eine verringerte Anzahl von aktuell 212 FFH-Gebieten, jedoch auf einer gleichgebliebenen Gesamtfläche von 428 025 ha. Die FFH-Gebiete sind in Baden-Württemberg durch die Vorschriften im Bundesnaturschutzgesetz geschützt. Weitere Grundlage für die Sicherung der FFH-Gebiete sind Managementpläne ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Natur und Landschaft > Natura 2000 > Management > MaP) und Förderprogramme, wie die Landschaftspflegerichtlinie oder das Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT).

### 6.3.3 FFH-Berichtspflicht

Die EU-Mitgliedstaaten sind verpflichtet, den Erhaltungszustand der Lebensräume und Arten der FFH-Richtlinie zu überwachen und der Europäischen Kommission alle sechs Jahre zu berichten. Der letzte Bericht aus dem Jahr 2013 beinhaltet die Entwicklungen der vorausgegangenen zwölf Jahre. Berichtet wurde neben dem aktuellen Erhaltungszustand der Schutzgüter über den Stand der Umsetzung und die getroffenen Schutzmaßnahmen. Die Einstufung des Erhaltungszustands der Lebensräume und Arten erfolgt über ein Ampelschema, wobei „grün“ einen günstigen, „gelb“ einen ungünstig-unzureichenden und „rot“ einen ungünstig-schlechten Erhaltungszustand widerspiegelt. Unbe-

kannt („grau“) ist der Erhaltungszustand, wenn die Datenerhebung keine genaue Bewertung zulässt. In Baden-Württemberg befinden sich über 50 % der Lebensräume und Arten in einem ungünstig-schlechten bzw. ungünstig-unzureichendem Erhaltungszustand (Abb. 6.3-1) ([www.lubw.baden-wuerttemberg](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Themen > Natur und Landschaft > Natura 2000 > Berichtspflichten und Monitoring > FFH-Richtlinie > Erhaltungszustand). Dies betrifft insbesondere die Lebensstätten und Lebensraumtypen, die auf extensive Nutzung und Pflege durch den Menschen angewiesen sind. Ein Beispiel dafür sind die mageren Flachland-Mähwiesen (Abb. 6.3-2). Bei diesem Lebensraumtyp handelt es sich um artenreiche, we-

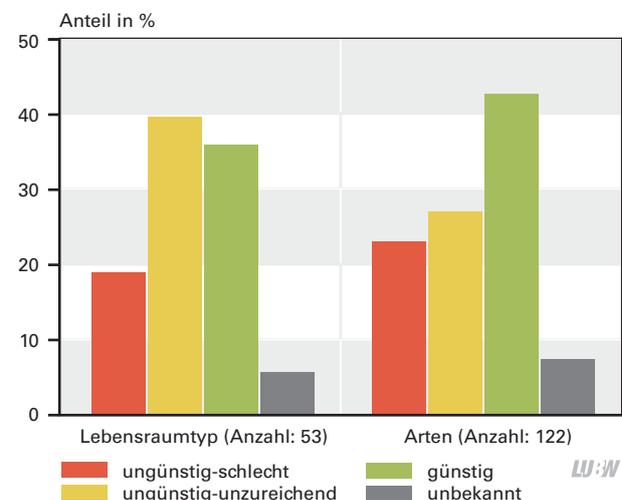


Abb. 6.3-1: Erhaltungszustand der Lebensraumtypen (Anzahl: 53) und Arten (Anzahl: 122) in Baden-Württemberg. Stand: 2012



Abb. 6.3-2: Magere Flachland-Mähwiese (H. Grüllmeier, 2011)

nig gedüngte, extensiv (ein- bis zweischnittig) bewirtschaftete Mähwiesen im Flach- und Hügelland. Ihr Erhaltungszustand ist als ungünstig-unzureichend eingestuft, da Nutzungsänderungen, insbesondere Nutzungsintensivierungen durch Erhöhung der Schnitthäufigkeit und durch Düngung, die Wiesen stark gefährden. Schutzmaßnahmen für Flachland-Mähwiesen sind u. a. die Unterstützung der traditionellen, extensiven Bewirtschaftung über Förderprogramme.

Eine Art, deren Erhaltungszustand bei der letzten FFH-Berichtspflicht als ungünstig-schlecht eingestuft werden musste, ist die Geburtshelferkröte (Abb. 6.3-3). Die Art war ursprünglich in Auen mit Überschwemmungsflächen und Tümpeln verbreitet. Aber auch in Ersatzlebensräumen wie Abbauflächen, militärischen Übungsgeländen, strukturreichen, extensiv genutzten Agrarlandschaften führt die Intensivierung der Landnutzung zu Lebensraumverlusten.



Abb. 6.3-3: Geburtshelferkröte mit Laichschnur (M. Waitzmann, 2013)

#### 6.3.4 Umsetzung von Natura 2000

##### Arten- und Biotophilskonzepte

Aus der Berichtspflicht 2013 an die Europäische Union zum Erhaltungszustand von Arten und Lebensräumen nach FFH-Richtlinie geht hervor, dass sich auch in Baden-Württemberg zahlreiche Arten und Lebensräume in einem ungünstigen Erhaltungszustand befinden. Um diese Arten und Lebensräume zu erhalten und ihre Vorkommen zu verbessern, werden in Zusammenarbeit mit den Regierungspräsidien, den zuständigen unteren Naturschutzbehörden sowie den Landschaftserhaltungsverbänden Arten- und Biotophilskonzepte erarbeitet. Die Konzepte haben zum Ziel, konkrete Maßnahmen zur Verbesserung des Erhaltungszustandes der Arten und Lebensräume aufzuzeigen und so zur dauerhaften Erhaltung und Entwicklung beizutragen. Biotophilskonzepte sollen den Dienststellen und Verbänden als konkrete Handreichung zur Umsetzung z. B. im Rahmen von Kreispflegeprogrammen dienen. Sie sind außerdem eine hilfreiche Grundlage für das Erarbeiten von Kompensationsmaßnahmen für Eingriffe in Natur und Landschaft. Bislang wurden Biotophilskonzepte für Kalkmagerrasen, Kalkpionierasen und Wacholderheiden im nordöstlichen Baden-Württemberg sowie für Borstgrasrasen, trockene Heiden, Wacholderheiden, Kalkmagerrasen und Kalkpionierrasen im Schwarzwald erstellt. Ergebnisse der Artenhilfskonzepte fließen in das Artenschutzprogramm des Landes der jeweiligen Art ein. Die entsprechenden Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen werden vor Ort von den zuständigen Stellen umgesetzt. Artenhilfskonzepte werden derzeit für den Juchtenkäfer (*Osmoderma eremita*), den Feldhamster (*Crictus cricetus*), die Zierliche Moosjungfer (*Leucorrhinia caudalis*), eine Libellenart, die Sand-Silberscharte (*Jurinea cyanoidea*), eine Blütenpflanze sowie zwei Schmetterlingsarten, den Goldenen Scheckenfalter (*Eurodryas aurinia*) und das Wald-Wiesenvögelchen (*Coenonympha bero*), erarbeitet.

##### Gebietsmanagement von Natura 2000-Gebieten

Neben Schutzgebietsausweisungen und der Durchsetzung des gesetzlichen Schutzes werden in Baden-Württemberg die FFH- und Vogelschutzgebiete vorrangig über vertragliche Vereinbarungen mit den Landnutzern gesichert. Dazu zählt z. B. der Vertragsnaturschutz nach der Landschaftspflegeleitlinie. Danach erhalten Landwirte für besondere Bewirtschaftungsauflagen zum Schutz von Arten oder Le-

bensräumen eine finanzielle Förderung. Grundlage bei allen Sicherungsmaßnahmen sind die Managementpläne, die für jedes Natura 2000-Gebiet bis 2020 aufgestellt werden sollen. Diese Fachpläne erfassen die Vorkommen der Lebensraumtypen und der Lebensstätten der Arten in den Natura 2000-Gebieten und legen konkrete Erhaltungs- und Entwicklungsmaßnahmen fest. Sie sind zudem eine Basis für die Beurteilung der Zulässigkeit von Plänen und Projekten, wie dem Bau eines Gebäudes oder auch geplanten touristischen Nutzungen. Aktuell sind die Managementpläne für 87 FFH-Gebiete und 32 Vogelschutzgebiete fertiggestellt (Stand: Juli 2015). Die methodisch einheitliche Erarbeitung der Managementpläne wird durch landesweit verbindliche Vorgaben sichergestellt ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Querschnittsthemen > Sonstiges > Bestellschop > Publikationen > Natur und Landschaft > Natura 2000). Die Pläne sind auch eine unverzichtbare Grundlage für Verträge nach der Landschaftspflegerichtlinie (LPR) oder dem Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT).

## 6.4 Naturschutzrechtliche Eingriffsregelung

Die Eingriffsregelung dient dem flächendeckenden Schutz von Natur und Landschaft. Erhebliche Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft, beispielsweise durch bauliche Anlagen, Verkehrswegebau, Rohstoffgewinnung oder Wasserbau sind vorrangig zu vermeiden. Nicht vermeidbare Beeinträchtigungen sind durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege, sogenannte Ausgleichs- oder Ersatzmaßnahmen, oder, soweit dies nicht möglich ist, durch eine Ersatzzahlung zu kompensieren.

Der Vollzug der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung wird mit den Instrumenten des Ökokontos und des Kompensationsverzeichnisses erleichtert. Die Ökokonto-Verordnung (ÖKVO) und die Kompensationsverzeichnis-Verordnung (KompVzVO) sind landesrechtliche Verordnungen. Sie traten am 01.04.2011 in Kraft.

Ökokonto-Maßnahmen sind vorzeitig durchgeführte Ausgleichs- oder Ersatzmaßnahmen, die zu einem späteren Zeitpunkt einem Eingriff zur Kompensation zugeordnet werden können. Sowohl private Grundeigentümer als auch Kommunen können Ökokonto-Maßnahmen umsetzen und ihre freiwillig durchgeführten Maßnahmen z. B. durch

Verkauf an Kompensationspflichtige veräußern. Demnach kann ein Landwirt eine Extensivierungsmaßnahme (z. B. Umwandlung von Intensivgrünland in Extensivgrünland), die zu einer Aufwertung des Naturhaushaltes führt, bei Vorliegen der Voraussetzungen der ÖKVO von der unteren Naturschutzbehörde anerkennen lassen und umsetzen. Einige Jahre später kann er selbst diese Ökokonto-Maßnahme als Kompensationsmaßnahme für einen naturschutzrechtlichen Eingriff einsetzen oder an einen anderen Vorhabenträger durch Verkauf weitergeben. Mit der Zuordnung der Ökokonto-Maßnahme zu einem Eingriff geht diese aus der Abteilung Ökokonto in die Abteilung Eingriffskompensation des Kompensationsverzeichnisses über.

Im elektronisch geführten Kompensationsverzeichnis werden Ökokonto-Maßnahmen und Kompensationsmaßnahmen (Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen) aufgenommen. Durch das zentrale Verzeichnis ist die Durchführung und Unterhaltung von Kompensationsmaßnahmen transparent. Die mehrfache Zuordnung von naturschutzrechtlichen Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen zu verschiedenen Eingriffsvorhaben und die anderweitige Überplanung von Kompensationsflächen werden verhindert.

Das Kompensationsverzeichnis mit Ökokonto- und Kompensationsmaßnahmen ist kreisbezogen über die jeweiligen Webseiten der Stadt- und Landkreise für die Öffentlichkeit einsehbar. Zur behördeninternen Auswertung steht im UIS-Landesintranet eine landesbezogene Einsicht in das Verzeichnis zur Verfügung. Abbildung 6.4-1 veran-

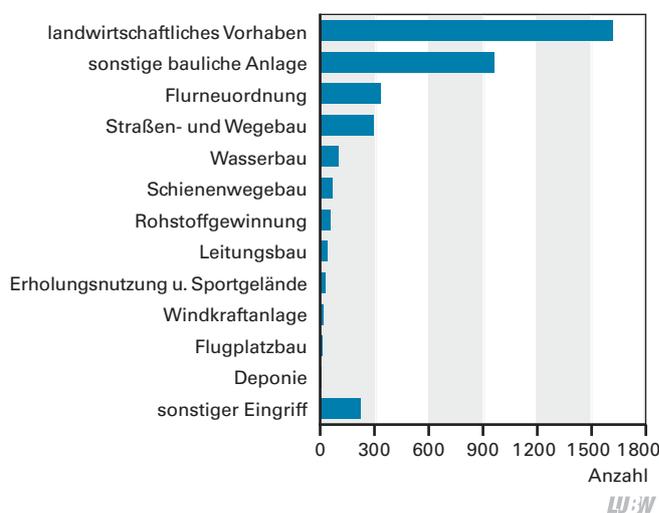


Abb. 6.4-1: Anzahl an Kompensationsmaßnahmen in Baden-Württemberg, aufgeteilt nach Art der Eingriffsvorhaben. Quelle: UM, LUBW, UIS-Berichtssystem.

schaulich die Anzahl an Kompensationsmaßnahmen in Baden-Württemberg aufgeteilt nach Art der Eingriffsvorhaben, denen die Maßnahmen zu Kompensationszwecken zugeordnet wurden. Es sind sämtliche Vorhaben mit Zulassungsdatum ab dem 01.04.2011 (Termin des Inkrafttretens der KompVzVO) bis zum 22.12.2014 berücksichtigt.

## 6.5 Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Die Ursachen von Umweltveränderungen und -belastungen sind häufig vielfältig und meist nicht auf einzelne Umweltkompartimente (Boden, Wasser, Luft) beschränkt. Deshalb folgt die Ursachenermittlung und -bewertung einem medienübergreifenden Ansatz.

Die Dauerbeobachtungsflächen und -standorte der medienübergreifenden Umweltbeobachtung in Wäldern, im Grünland und an Gewässern tragen maßgeblich zur Behandlung der vier nachfolgend aufgeführten Schwerpunktthemen bei:

- Wirkungen von Klimaveränderungen und Anpassungen der belebten Umwelt (z. B. Baumwachstum),
- Toxizität und Anreicherung chemischer Stoffe in der Umwelt (z. B. Schwermetalle, organische Schadstoffe),
- Wirkungen des Einsatzes neuer Technologien auf die Umwelt (z. B. Gentechnik, Nanotechnologie),
- Analyse und Bewertung des Stoffhaushaltes ausgewählter Umweltschadstoffe (z. B. Eutrophierung aufgrund von Stickstoffeinträgen).

### 6.5.1 Veränderung des Baumwachstums

Jahrringe eines Baumes sind wie ein Kalender, der einen Blick in die Vergangenheit erlaubt. In Jahren mit ungünstigen Wachstumsbedingungen werden schmale Ringe ausgebildet. Ungünstige Wachstumsbedingungen können unter anderem Phasen mit längerer Trockenheit, stärkerem Frost und Schädlingskalamitäten sein. Sind die Wachstumsbedingungen gut, werden breite Jahrringe ausgebildet. Zudem können langfristige Veränderungen wie Stoffeinträge und der Klimawandel das Wachstum nachhaltig verändern. Die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg untersucht 21 repräsentativ im Land verteilte Wald-Dauerbeobachtungsflächen. Auf diesen Standorten wird erforscht, wie sich Umweltschad-

stoffe und Umweltveränderungen auf verschiedene Kompartimente des Ökosystems Wald auswirken. Auf vier Flächen wurde in den Jahren 2013/2014 erstmals mittels Jahrringanalyse geprüft, wie sich das Wachstum der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) über die Jahre verändert hat. Hierfür wurden an je 15 Bäumen Bohrkern entnommen.

Die Ergebnisse lassen erkennen, dass auf den drei Waldflächen Karlsruhe (Hardtebene, 112 m ü. NN), Weinheim (Vorderer Odenwald, 300 m ü. NN) und Hausach (Mittlerer Schwarzwald, 640 m ü. NN) das Wachstum seit Anfang der 1980er Jahre zurückgegangen ist. Dagegen ergibt sich für die Fläche Schönau (Hochschwarzwald, 1 230 m ü. NN) eine Wachstumszunahme. Abb. 6.5-1 zeigt dies exemplarisch für die beiden Standorte Weinheim und Schönau. Diese Veränderungen könnten, wie der durch multiple lineare Regressionsanalyse erhaltene Zusammenhang von Zuwachs und den Klimaparametern Temperatur und Niederschlag nahelegt, auf die Klimaerwärmung zurückzuführen

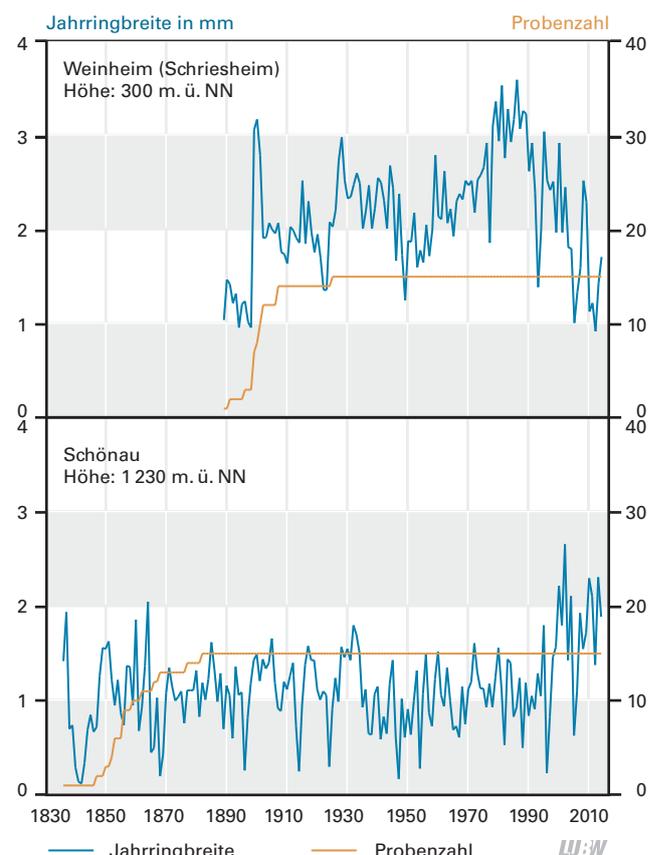


Abb. 6.5-1: Entwicklung der Jahrringbreiten (Mittelwert aus 15 Bohrkernen) beispielhaft dargestellt an den Standorten Weinheim (Vorderer Odenwald) für die Jahre 1888 bis 2013 und Schönau (Hochschwarzwald) für die Jahre 1835 bis 2013. Die blaue Linie stellt die Jahrringbreiten der einzelnen Jahre dar. Die rote Linie zeigt die Anzahl der vorhandenen Bohrkern, die für das jeweilige Jahr zur Verfügung standen.

ren sein. Daneben spielen weitere Faktoren wie Schädlinge, Schadstoff- und Nährstoffeinträge sowie die Konkurrenz anderer Bäume eine Rolle. Diese konnten in der vorliegenden Jahrringuntersuchung nicht betrachtet werden, da hierzu keine belastbaren Daten vorhanden waren. Allgemein werden aber das Wasserangebot für Tieflagen bzw. das Wärmeangebot für höhere Lagen als die wichtigsten Wachstumsfaktoren angesehen.

Zu vergleichbaren Ergebnissen kommt die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA). Zudem korrespondiert der von ihr aus Temperatur und Niederschlag errechnete Ariditätsindex mit dem Baumwachstum [KOHLE ET AL. 2014]. Ähnliche Tendenzen sind auch in anderen Regionen des Rotbuchenareals gefunden worden [JUMP ET AL. 2006, PIOVESAN ET AL. 2008, SCHARNWEBER ET AL. 2011]. Die unterschiedlichen Holzzuwächse der Rotbuche im Hochlagenbestand Schönau und den drei tiefer gelegenen Beständen könnten unter anderem darauf zurückzuführen sein, dass die Produktivität der Rotbuche in Schönau durch niedrige Temperaturen während der Vegetationsperiode limitiert ist. Steigen die Temperaturen, kann die Buche dies in Schönau vermutlich aufgrund ausreichender Wasserversorgung für das Wachstum nutzen. An den drei tiefer gelegenen Standorten könnte der Temperaturanstieg zu sommerlichem Trockenstress und in der Folge zu verringertem Zuwachs geführt haben. Die Rotbuche hat die Eigenschaft, nach Sommertrockenheit mehr Kohlenstoff in die Fruchtproduktion zu investieren (Mastjahre). Langfristig könnte es durch die sommerliche Trockenheit zu weiteren Zuwachsrückgängen an den tiefer liegenden Standorten kommen.

### 6.5.2 Organische Schadstoffe in Kleinsäufern

Seit Sommer 2008 wird aus Norddeutschland über mit Dioxinen und Furanen (PCDD/F) sowie dioxinähnlichen polychlorierten Biphenylen (dl-PCB) belastete Futtermittel und Schaflebern berichtet [NLWKN 2009; WEBER ET AL. 2014]. Im Rahmen der Ursachenforschung wurden auch Bodenuntersuchungen durchgeführt und ausgewertet. Ein Zusammenhang zwischen den Belastungen der Böden und der Belastungen von Tieren über den Nahrungspfad konnte jedoch nicht eindeutig nachgewiesen werden.

In einem Pilotprojekt in Baden-Württemberg wurden daher im Jahr 2010 an drei Standorten Böden und die Lebern von Kleinsäufern auf dl-PCP, PCDD/F und PCB ohne dio-

xinartige Wirkung (PCB<sub>6</sub> bzw. PCB<sub>3</sub>, sogenannte Indikator-PCB) sowie Organochlorpestizide (OCP) untersucht. Die Untersuchungen konzentrierten sich auf die Böden von Flussauen, wo erhöhte Schadstoffgehalte zu erwarten waren. An Kleinsäufern wurden Rötelmäuse (*Myodes glareolus*) und Gelbhalsmäuse (*Apodemus flavicollis*) der Ordnung Nagetiere sowie Waldspitzmäuse (*Sorex araneus*) der Ordnung Insektenfresser untersucht. Die Ergebnisse sollten mit denen einer Studie aus dem Jahr 1995 zusammengeführt werden. Damals wurden ebenfalls PCB in Böden und Lebern von Kleinsäufern an Standorten in unterschiedlicher Entfernung zur Autobahn untersucht. Hier wurde vermutet, dass PCB aus dem Motorenöl über den Auspuff emittiert werden und so zu höheren PCB-Werten in den Böden im Umfeld von Autobahnen führen.

Schadstoffe reichern sich in der Nahrungskette an, und zwar vor allem in der Leber, dem zentralen Stoffwechselorgan zur Entgiftung. Die Waldspitzmaus zählt zu den Karnivoren (Fleischfresser) und ernährt sich hauptsächlich von Regenwürmern, Insekten und deren Larven sowie Schnecken. Demgegenüber gehören die Rötel- und die Gelbhalsmaus zu den Allesfressern. Sie nehmen also auch einen erheblichen Anteil pflanzlicher Nahrung auf. Karnivoren stehen in der Nahrungskette höher und reichern dementsprechend auch mehr Schadstoffe in ihrer Leber an.

### **Einfluss von Bodenbelastungen auf die Belastungen der Leber von Kleinsäufern**

In Abbildung 6.5-2 sind die Untersuchungsergebnisse aus den Jahren 1995 und 2010 dargestellt. Beide Untersuchungen konnten keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen den Bodengehalten an PCB und den Gehalten in den Lebern von Kleinsäufern aufzeigen. Auch die Gehalte im Unterboden richteten sich nicht durchgängig nach dem Trend im Oberboden. Zwar folgten die Muster beispielsweise an den Standorten Bruchsal neben der Autobahn A5 und Bruchsal/Wald dem vermuteten Einfluss der Bodengehalte auf die Gehalte in den Lebern von Kleinsäufern, an anderen Standorten wie zum Beispiel der Enzaue bei Bispingen und der Neckarau bei Epfendorf fielen die Ergebnisse jedoch gegenläufig aus. Gründe hierfür dürften zum einen der Aktionsradius der Kleinsäuger sein, der über die Größe der beprobten Fläche hinausgeht, und zum anderen das eventuell unterschiedliche Nahrungsangebot an den

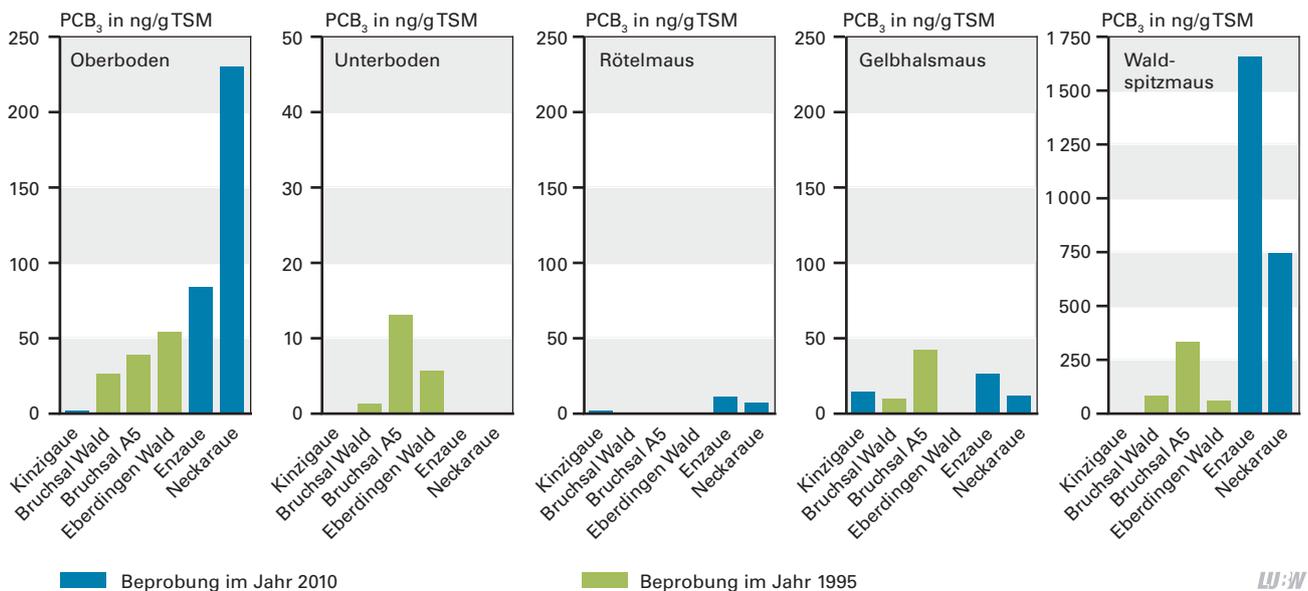


Abb. 6.5-2: PCB<sub>3</sub>-Gehalte in Böden und den Lebern von Kleinsäufern von Flusssau-Standorten (2010) im Vergleich mit Daten von Waldstandorten mit und ohne Autobahneinfluss (1995).

verschiedenen Standorten. Es wird auch ein Einfluss des Luftpfades auf die Höhe der Kontamination in den Kleinsäufern vermutet.

#### Belastung der Leber von Kleinsäufern mit PCCD/F und dl-PCB sowie OCP

PCB<sub>3</sub> erreichte in den Lebern von Waldspitzmäusen Konzentrationen bis 1655 Nanogramm pro Gramm Trockensubstanz (ng/g TS, Abb. 6.5-2). Deutliche Unterschiede in der Konzentration der PCB<sub>3</sub> traten zwischen den Arten auf: Waren die Lebern von Gelbhalsmäusen von der Kinzigau mit 14 ng/g TS bis zu siebenmal so hoch belastet wie die von Rötelmäusen, erreichten die Lebern von Waldspitzmäusen von der Enzaue sogar einen bis zu 150-fach höheren Wert. Kleinsäuger von der Enz (Bissingen) waren, trotz geringerer Bodenbelastungen mit PCB<sub>3</sub>, etwa doppelt so hoch belastet wie solche aus der Neckaraue (Epfendorf).

Bei der Studie im Jahr 2010 wurden auch Dioxinäquivalente (TEQ, gewichtete Summe der Toxizitätsäquivalente von PCCD/F und dl-PCB) untersucht. Die Lebern der Rötel- und Gelbhalsmäuse aus den Flussauen der Enz und Kinzig waren bis zu 2,5-fach höher mit Dioxin-Äquivalenten belastet als die vom Neckar mit durchschnittlich 9,7 Picogramm TEQ pro Gramm Trockensubstanz (pg TEQ/g TS), die der Waldspitzmäuse von der Enz dreimal so hoch (Abb. 6.5-3). Wie bei PCB wurden auch bei den Dioxinäquivalenten in den Lebern der Waldspitzmäuse die höchsten Konzentrationen von bis zu 341 pg TEQ/g TS

gemessen. Dies entspricht ca. 100 pg TEQ/g Frischgewicht. Verglichen mit dem EU-Höchstgehalt für Lebensmittel von 2,0 pg TEQ/g Frischgewicht für Dioxine in Schaf-, Rinder- oder Geflügellebern liegen die Werte in den Lebern der Kleinsäuger damit erheblich höher.

Eine bessere Situation ergab sich für die Belastung mit OCP. Zu den OCP gehören Insektizide wie DDT, Dieldrin oder Chlordan, eine Mischung aus verschiedenen Einzelkomponenten. Von 22 OCP konnten nur fünf in wenigen Proben nachgewiesen werden. Die Spanne der Einzelwerte betrug 0,3 ng/g (Bestimmungsgrenze) bis 10 ng/g Frischgewicht. Nur Dieldrin überschritt in den Lebern von Waldspitzmäusen mit 0,25 mg/kg Fett den Grenzwert von

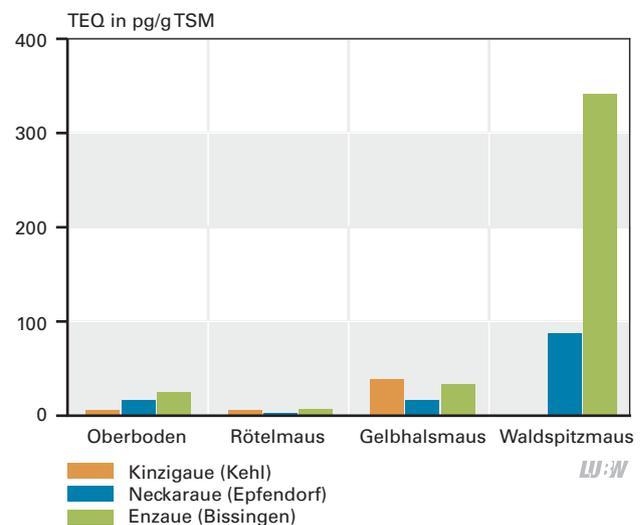


Abb. 6.5-3: Dioxinäquivalente (TEQ) in Böden und den Lebern von Kleinsäufern der Flussauen. Stand: 2014

0,2 mg/kg Fett für Fleisch und Fleischerzeugnisse der Rückstandshöchstmengenverordnung (RHmV, 2008). Alle anderen OCP-Gehalte lagen unter den Grenzwerten der RHmV.

### 6.5.3 Quecksilber und organische Schadstoffe in Fischen und Muscheln

Fische und Muscheln wurden in Baden-Württemberg erstmals 2012/2013 in Fließgewässern umfassend auf Schadstoffe untersucht. Dazu wurden in Rhein, Neckar und Donau an insgesamt 15 Stellen Fische und Muscheln entnommen und auf Schadstoffgehalte analysiert (Tab. 6.5-1).

Hintergrund für diese Untersuchungen sind die durch die EU-Richtlinie 2013/39/EU vom 12.08.2013 vorgegebenen Anforderungen und die hierin festgelegten Umweltqualitätsnormen (UQN) für die im Folgenden aufgeführten Schadstoffe. Diese sind bei Quecksilber, Hexachlorbenzol, Hexachlorbutadien, bromierten Diphenylethern und Fluoranthen bereits bei der aktuellen Bewertung des chemischen Zustands von Fließgewässern mit zu berücksichtigen (Kapitel 5.2). Zukünftig werden auch Umweltqualitätsnormen für die übrigen prioritären Schadstoffe bei der chemischen Zustandsbewertung sowie bei den bis 2018 zu erstellenden, vorläufigen Maßnahmenprogrammen mit zu beachten sein.

Von Interesse war im Rahmen der medienübergreifenden Umweltbeobachtung darüber hinaus, ob sich die in der Tabelle genannten Stoffe durch Bioakkumulation in rele-

vanten Konzentrationen in den Organismen anreichern und ein Vergleich zu anderen Umweltmedien.

Die in den Fischen und Muscheln gemessenen Konzentrationen sind ein Beleg dafür, dass eine Anreicherung dieser Schadstoffe über die Nahrungskette erfolgt (Bioakkumulation). Viele dieser Schadstoffe sind ubiquitär verbreitet und werden teilweise noch in hohen Konzentrationen vorgefunden.

Überschreitungen von UQN werden bei Quecksilber, polybromierten Diphenylether, teilweise auch bei Fluoranthen vorgefunden. Darüber hinaus weisen Fische teilweise Anreicherungen von Perfluoroctansulfonat (PFOS) auf, die über der ab 2018 gültigen UQN liegen.

Der Großteil des vom Menschen verursachten Quecksilberintrags in die Umwelt entsteht durch Verbrennungsprozesse zur Wärme- und Stromgewinnung. Den Abbau von Quecksilbererzen hat die EU wegen der hohen Belastungen für die Umwelt seit 2000 eingestellt.

Quecksilber ist ein Nervengift. Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) gibt die maximal tolerierbare Aufnahmemenge mit 4 µg bzw. 1,3 µg pro kg Körpergewicht und Woche an.

Ebenso wie beim Quecksilber stammen die Einträge von polybromierten Diphenylethern (PBDE) aus diffusen Quellen. PBDE werden als Flammschutzmittel in vielen Kunststoffen und Textilien eingesetzt. Sie wurden bereits Ende der 1980er-Jahre in Seehunden und Seevögeln nachgewiesen.

Zu den toxischen und krebserzeugenden Schadstoffen gehört auch Fluoranthen, das in Muscheln in Konzentrationen bis 270 µg/kg nachgewiesen wurde. Dieser Stoff gehört zu den polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK). Sie sind nur gering wasserlöslich und reichern sich deshalb vor allem im Fettgewebe von Organismen an. Die ubiquitäre Verteilung der PAK hat viele Gründe. Sie entstehen vor allem bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material (Holz, Kohle, Öl) und werden z. B. durch den Betrieb von Heizungsanlagen, Kraftfahrzeugen, Kraftwerken und Müllverbrennungsanlagen, aber auch auf natürlichem Weg bei Waldbränden oder Vulkanausbrüchen freigesetzt.

Die Höchstgehalte bei Lebensmitteln für den menschlichen Verzehr liegen gemäß einer EU-Verordnung aus dem Jahr 2006 zwischen 1 µg/kg und 35 µg/kg.

Das neu als prioritärer Stoff identifizierte PFOS reichert sich in Fischen in nennenswerten Konzentrationen an. Der

Tab. 6.5-1: Schadstoffe in Fischen und Muscheln des Rheins, des Neckars und der Donau. Stand: 2012/2013

untersuchte Biota	Stoff	Konzentrationsbereich in µg/kg Frischgewicht
Fische	Quecksilber	46 – 170
Fische	Hexachlorbenzol	0,2 – 3,4
Fische	Hexachlorbutadien	<0,16 – <0,19
Fische	Dicofol	alle Werte < 10
Fische	Summe Dioxine und dioxin-ähnlicher polychlorierter Biphenyle	0,0005 – 0,0034
Fische	Hexabromcyclododecan	0,1 – 2,4
Fische	Heptachlor-epoxid	alle Proben <0,02
Fische	Perfluoroctansulfonat	4,6 – 18
Fische	polybromierte Diphenylether	0,5 – 2,3
Muscheln	Summe Dioxine und dioxin-ähnlicher polychlorierter Biphenyle	0,0007 – 0,0055
Muscheln	Fluoranthen	9,2 – 270
Muscheln	polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe	1,1 – 9,0

LUBW



Abb. 6.5-4: Döbel (*Squalius cephalus*) aus dem Neckar (LUBW, 2014)

Stoff ist persistent und baut sich, einmal in die Umwelt gelangt, kaum ab. Als Herkunftsquelle gilt u. a. die Verwendung in metallverarbeitenden Betrieben (Galvaniken) und in neuen Produkten wie z. B. Schmutz und Wasser abweisende Stoffe und Teppiche, ölbeständige Beschichtungen von Spezialpapieren sowie Feuerlöschschäume. Die EFSA geht davon aus, dass Personen, die große Mengen Fisch konsumieren, die tolerierbare Aufnahmemenge von 0,15 µg pro Kilogramm Körpergewicht und Tag überschreiten.

#### 6.5.4 Populationsentwicklung von Fischen und Amphibien in sauren Gewässern

Für das Gedeihen von Fischen und Amphibien ist der Säuregehalt der Gewässer von entscheidender Bedeutung. In Baden-Württemberg haben sich die immissionsbedingten Säureeinträge in den letzten Jahrzehnten landesweit so verbessert, dass nur noch im Schwarzwald und im Odenwald Wirkungen auf die Lebensgemeinschaften und einzelne Tierarten messbar sind. Dort ist aufgrund der besonderen Böden eine Pufferung von Säureeinträgen eingeschränkt, so dass diese Gebiete besonders versauerungsgefährdet sind. Nach wie vor kommt es in die Ge-

wässer dieser Gebiete zu einem erhöhten Säureeintrag nach Starkregen aus den immer noch stark sauren Oberböden. Bei Schneeschmelze können zusätzliche Säureeinträge die Gewässer belasten. Das Bachwasser weist dann pH-Werte unter 5, teilweise sogar unter 4, auf. In diesem Wasser werden auch deutlich erhöhte Metallgehalte, vor allem das besonders fisch- und laichtoxische Aluminium, gemessen.

#### Versauerungssituation in Stillgewässern

An versauerungsgefährdeten Stillgewässern des Schwarzwalds sind die pH-Werte mittlerweile fast überall unkritisch, so dass Säureschäden weitestgehend ausblieben. Nur an einigen Zuflüssen von Schurmsee und Herrenwiesersee (beide im Schwarzwald) sowie im Uferbereich zur Zeit der Schneeschmelze wurden 2012 laichschädigende pH-Werte von < 4,5 gemessen. Dadurch kam es am Schurmsee zum Absterben der früh abgelegten Laichballen des Grasfroschs, während später abgelegter Laich fast gar keine Schäden aufwies. Am Herrenwiesersee wurden nur einzelne Laichballen bis 40 % geschädigt, so dass sonst keine nennenswerten Laichschäden (< 5 %) festgestellt wurden. Insgesamt sind versauerungsbedingte Laichschäden und Schäden in den Anfangsstadien der Amphibienentwicklung in allen untersuchten Schwarzwaldseen seit Mitte der 1990er Jahren zurückgegangen.

Langzeitauswirkungen der Versauerung zeigen sich bei der Entwicklung der Amphibienpopulationen. Die Populationen von Molchen, Grasfröschen und Erdkröten haben sich seit Beginn der Untersuchungen in den 1980er Jahren deutlich erholt (Tab. 6.5-2) und treten derzeit fast überall in einer gesicherten Bestandsgröße auf. Lediglich am Schurmsee und am Herrenwiesersee sind die Erdkrötenbestände noch klein bzw. sehr klein (< 200 bzw. < 50 Laichpaare). Allerdings finden sich dort zunehmend erhöhte Zahlen an Larven, was auf eine weitere Erholung hoffen lässt.

Tab. 6.5-2: Abgeschätzte Populationsgrößen an fünf untersuchten Seen des Schwarzwaldes (Laichpaare: grün = >200, orange = >10 bis 200, rot = <10 und 0= kein Fund) der Amphibienarten (M= Molche, F= Grasfrosch, K= Erdkröte), sowie deren Veränderung gegenüber der vorangehenden Untersuchung (+= Zunahme, -= Abnahme, Doppelzeichen= starke Veränderung) basierend auf Experteneinschätzung.

Gewässer	Amphibienpopulationen in Seen des Schwarzwaldes											
	1987 bis 1990			1996			2002			2012		
Buhlbachsee	M	F	K	M	F	K	M	F	K	M	F+	K++
Ellbachsee	M	F	K	M	F	K	M	F	K	M	F	K
Herrenwiesersee	M	F	0	M	F	0	M+	F+	K+	M	F+	K++
Huzenbachersee	M	F	K	M	F	K	M+	F	K	M	F	K++
Schurmsee	M	F	0	M	F	K++	M+	F+	K	M	F	K--

### Versauerungssituation in Fließgewässern

Auch in den Bächen der versauerungsgefährdeten Gebiete Schwarzwald und Odenwald haben sich die Fischbestände erholt. Noch in den 1990er Jahren gab es dort Bäche, in denen keine Jungtiere gefangen wurden und viele der älteren Fische aufgrund des versauerungsbedingten Fehlens von Fischnährtieren mangelernährt waren. Ein Fortbestand der Fische war gefährdet. Am Kaltenbach im Nord-schwarzwald waren sie sogar ausgestorben, vermutlich wegen zu starker Versauerung. Seit Beginn der Untersuchungen Mitte der 1980er Jahre haben die Fischbestände in sechs von zehn Bächen zugenommen, nur in zwei sehr kleinen Bächen des Odenwaldes gingen die Populationen gegenüber der ersten Untersuchung zurück, sind aber nach zwischenzeitlich völligem Zusammenbruch wieder im Aufbau. Die Altersstruktur ist inzwischen in sieben von zehn Bächen normal, nur in den beiden Odenwaldbächen und im Waldsteinbach im Schwarzwald ist sie aufgrund der geringen Bestandsdichte beeinträchtigt, aber nicht völlig gestört.

Abbildung 6.5-5 zeigt einen typischen Verlauf der Populationsentwicklung von Bachforellen mit einem starken Rückgang Ende der 1980er bzw. Anfang der 1990er Jahre, einer Erholung ab Mitte der 1990er bis 2005 und einem Rückgang 2012 (Vorderer Seebach) bzw. gleichbleibend hohem Bestand (Kleine Kinzig).

In den Jahren 2012, 2013 und 2014 wurden am sauersten Bach, dem Kaltenbach, in dem bislang keine Bachforellen vorhanden sind, Versuche mit kontrolliert exponierten Fischeiern durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine

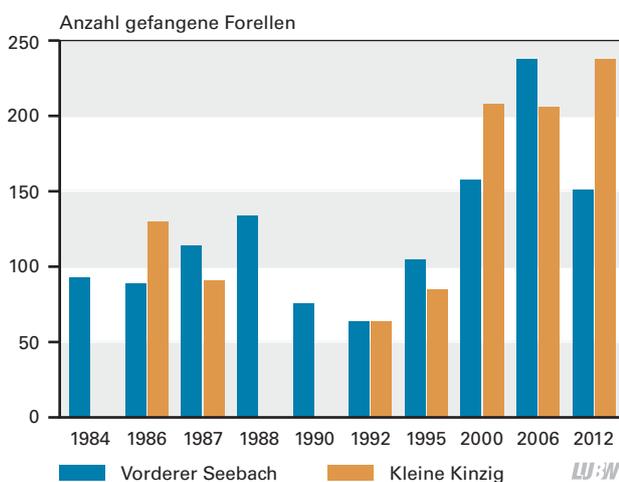


Abb. 6.5-5: Populationsentwicklung der Bachforellen am Vorderen Seebach und an der Kleinen Kinzig (jeweils Bachoberlauf). Quelle: LUBW.

Wiederbesiedlung versauerungsbedingt fischfreier Gewässeroberläufe selbst unter den derzeit noch vorkommenden Säureschüben infolge von Schneeschmelzen oder nach Starkregen möglich ist.

### 6.5.5 Monitoring gentechnisch veränderter Rapspflanzen

Seit 2009 wird in Baden-Württemberg jedes Jahr stichprobenartig überprüft, ob wildwachsende Rapspflanzen gentechnische Veränderungen aufweisen. Untersucht werden Rapspflanzen, die auf verdächtigen Flächen wie Bahnverladestellen, Häfen, Ölmühlen oder entlang von Autobahnen vorkommen. Die Probennahme erfolgt im April während der Blütezeit. 2014 wurden insgesamt etwa 500 Pflanzen von 40 unterschiedlichen Standorten überprüft. Anders als in der benachbarten Schweiz wurden in Baden-Württemberg auch 2014 keine Rapspflanzen mit gentechnischer Veränderung im Freiland aufgefunden.

Die unteren Landwirtschaftsbehörden haben die LUBW bei der Probennahme unterstützt und insgesamt acht Standorte beprobt. Beteiligt waren die Landratsämter Schwarzwald-Baar, Zollernalb, Konstanz und Waldshut. Erfreulich verliefen auch die Saatgutuntersuchungen des Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), da in den ca. 150 untersuchten Saatgutproben des letzten Jahres keine Verunreinigungen mit gentechnisch veränderten Samen enthalten waren.



Abb. 6.5-6: Rapspflanzen im Hafen Mannheim (LUBW 2014).

### 6.5.6 Stickstoffbilanz der Landwirtschaft

Über technische und biologische Prozesse wird mehr Stickstoff in reaktive Formen wie Ammoniak oder Nitrat umgewandelt, als die Umwelt auf Dauer verträgt. Das Land Baden-Württemberg hat daher 2014 die Initiative StickstoffBW zur Analyse und Bewertung des Stickstoffhaushalts gestartet.

Im Rahmen von StickstoffBW werden notwendige Fachgrundlagen zum Umgang mit Stickstoffeinträgen in die Umwelt erarbeitet. Mittelfristig dient StickstoffBW der Planung von Maßnahmen des Landes zur Minderung der Überschüsse an reaktivem Stickstoff.

Die Hoftorbilanz ist ein zentrales Element der Analyse und Bewertung des Stickstoffhaushalts. Bei der Berechnung der Stickstoff-Hoftorbilanz für die Landwirtschaft wird die Summe der Stickstoffentzüge von der Summe der Stickstoffzufuhren abgezogen (saldiert). Für die Ermittlung der Stickstoffzufuhr ist die ausgebrachte Mineraldüngermenge die mengenmäßig bedeutsamste Quelle. Hinzu kommen importierte Futtermittel, importierte organische Düngemittel, atmosphärische Depositionen und z. B. biologisch fixierter Stickstoff. Der Stickstoffentzug setzt sich aus den pflanzlichen und tierischen Marktprodukten zusammen.

Die Hoftorbilanz (brutto) charakterisiert die potenziellen Stickstofffrachten in die Atmo-, Pedo- und Hydrosphäre. Brutto bedeutet hier, dass unvermeidbare Verluste wie Ammoniak-Emissionen bei der Düngung in der Bilanz nicht abgezogen werden. Die Hoftorbilanz gliedert sich in die Teilbilanzen Flächen-, Stall- und Biogasanlagenbilanz. Die Unterscheidung ist für die differenzierte Bewertung der Emissionen für Fragen des Natur-, Boden-, Immissions-, Klima- und Grundwasserschutzes wichtig.

Da bei der Stickstoffzufuhr die bisherigen Schätzungen der ausgebrachten Mineraldüngermenge eher uneinheitlich und grob waren, wurden erstmals verschiedene Datensätze auf Bundesebene und Landesebene gemeinsam analysiert und fortgeschrieben [ARGE STICKSTOFFBW 2015]. Bezugsgrößen sind zum einen die bundesweite Düngemittelstatistik und zum anderen Daten des landesweiten landwirtschaftlichen Testbetriebsnetzes.

In Baden-Württemberg werden jährlich rund 86 Kilogramm Stickstoff pro Hektar (kg N/ha) als Mineraldünger in der Landwirtschaft ausgebracht (Fünffahresmittel, Stand 2011, bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche LF).

Das entspricht 121 914 t Mineraldünger-Stickstoff. Daten des Testbetriebsnetzes zeigen, dass die Stickstoffüberschüsse je nach betriebswirtschaftlicher Ausrichtung sehr stark von 64 kg N/ha für Ackerbaubetriebe bis 185 kg N/ha bei Veredelungsbetrieben (Betriebe mit durchschnittlich 3,6 Großvieheinheiten) variieren (Abb. 6.5-7).

Die Hoftorbilanz (brutto) in Höhe von 107 kg N/ha und die geschätzte Stallbilanz für Baden-Württemberg in Höhe von 47 kg N/ha (Abb. 6.5-8) liegen in einer ähnlichen Größenordnung wie die Mittelwerte für Deutschland [ARGE STICKSTOFFBW 2015].

Die Bilanzen sollen im Rahmen von StickstoffBW künftig jährlich aktualisiert und auf Regionen heruntergebrochen werden.

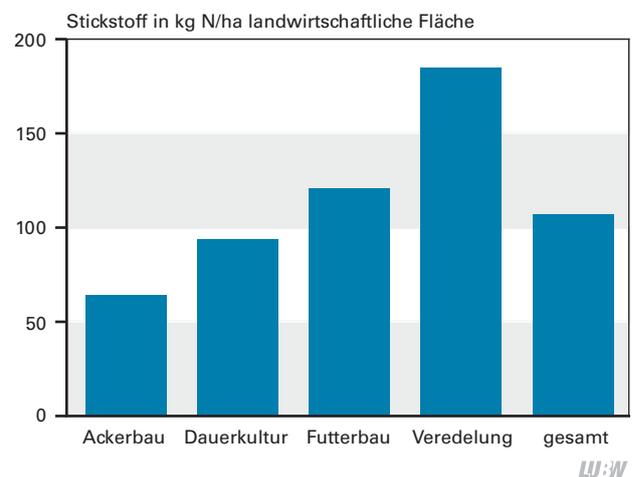


Abb. 6.5-7: Hoftorbilanz (brutto) für Stickstoff nach der betriebswirtschaftlichen Ausrichtung, berechnet als Fünffahresmittel von rund 1 300 landwirtschaftlichen Testbetrieben in Baden-Württemberg bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche (LF) – Stand: 2011 (Wirtschaftsjahre 2008/09 - 2012/13).

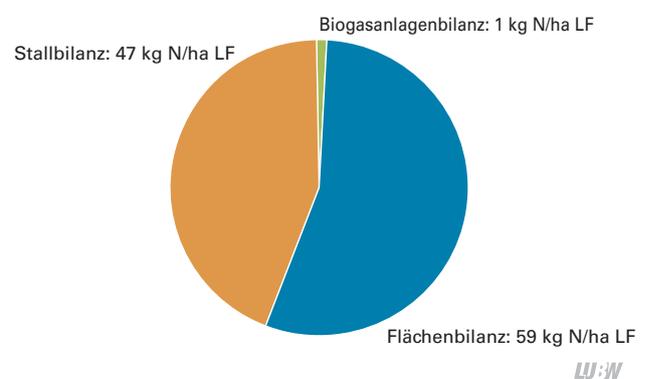


Abb. 6.5-8: Teilbilanzen der Hoftorbilanz für Stickstoff in Baden-Württemberg. Stand: 2011

## 6.6 Wald

Baden-Württemberg weist eine Waldfläche von 1,4 Mio. ha auf, das sind rund 38 % der Landesfläche. Das Land zählt damit zu den walddreichen Bundesländern. 37 % des Waldes sind im Eigentum der Städte und Gemeinden (Körperschaften). Weitere 37 % der Gesamtwaldfläche sind Privatwald, überwiegend in kleinparzelliertem Besitz. 24 % gehören als Staatswald dem Land Baden-Württemberg und rund 2 % der Bundesrepublik Deutschland und sonstigen Waldeigentümern.

Die Waldfläche hat von 1953 bis 2010 um rund 140 000 ha zugenommen. Dieser Prozess hat sich in den letzten Jahren verlangsamt. Die Waldfläche wuchs noch um durchschnittlich 1 000 ha im Jahr [BMEL 2012]. Vor allem in den walddreichen Landesteilen wie dem Schwarzwald ist die Waldfläche durch Neuaufforstungen und natürliche Wiederbewaldung auf ehemals landwirtschaftlichen Flächen stetig größer geworden. In den relativ walddarmen Verdichtungsräumen sind durch Siedlungs- und Verkehrsentwicklung dagegen die größten Waldverluste zu verzeichnen.

### 6.6.1 Schutz- und Erholungsfunktionen von Wäldern

Der Wald erfüllt verschiedenartige Schutzfunktionen und ist Ort der Erholung und Freizeitgestaltung. Die Schutzfunktionen umfassen z. B. Naturschutz-, Bodenschutz- und Wasserschutzfunktionen. Vielfach erfüllt Wald auf derselben Fläche mehrere Funktionen gleichzeitig.

Die Wälder haben eine große Bedeutung für den Biotop- und Artenschutz. Ihre Großflächigkeit und die naturnahe Bewirtschaftung haben sie zu Rückzugsstätten und Le-

bensräumen für viele Tier- und Pflanzenarten gemacht. Landesweit unterliegen rund drei Viertel der Waldfläche einer naturschutzrechtlichen Zweckbindung (Tab. 6.6-1).

Waldschutzgebiete dienen dem Schutz bestimmter Waldgesellschaften und der Forschung. Sie sollen langfristig 2 % der Gesamtwaldfläche umfassen, wobei eine repräsentative Verteilung in Baden-Württemberg angestrebt wird. In Bannwäldern ruht jegliche forstliche Bewirtschaftung, in Schonwäldern orientiert sich die Pflege am Schutzzweck.

Die Waldbiotope haben einen Anteil von rund 6 % an der Landeswaldfläche. Die Waldbiotopkartierung wird laufend aktualisiert und bildet mit ihrem Datenpool eine wichtige Basis der naturschutzfachlichen Planung.

Rund 18,4 % der Waldflächen in Baden-Württemberg liegen in FFH-Gebieten, das sind 255 889 ha. Die großflächigen Buchenwald-Lebensraumtypen bilden mit 78 521 ha und einem Flächenanteil von 82 % an den Wald-Lebensraumtypen einen deutlichen Schwerpunkt innerhalb der FFH-Gebiete. Die kleinflächigen Wald-Lebensraumtypen wie Hang- und Schluchtwälder, Eichen-Hainbuchen-Wälder oder Erlen-Eschen-Wälder auf 16 721 ha sind aufgrund ihrer geringeren natürlichen Vorkommen seltener (alle Angaben Stand: Dezember 2014).

Mit dem 2010 für den Staatswald verbindlich eingeführten Alt- und Totholzkonzept wird für die Zukunft sichergestellt, dass im Rahmen der naturnahen Waldbewirtschaftung vermehrt Waldflächen der natürlichen Alterung bis zum Zerfall überlassen werden. Habitatbaumgruppen (ca. 7 bis 15 Bäume) und Waldrefugien (auf Dauer aus der Be-

Tab. 6.6-1: Geschützte und naturschutzwichtige Waldflächen. Quelle: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA). Stand: 2014

Schutzkategorie		Waldfläche	Anteil am Gesamtwald <sup>1)</sup>
Wald nach § 32	Bannwald <sup>2)3)</sup>	6 947 ha	0,5 %
Landeswaldgesetz	Schonwald	19 117 ha	1,4 %
Wald in Schutzgebieten nach Naturschutzgesetz	Wald in Kernzone Biosphärengebiet (Bannwald gleichgestellt) <sup>2)</sup>	2 646 ha	0,2 %
	Wald in Naturschutzgebieten <sup>2)</sup>	43 353 ha	3,1 %
	Wald in Landschaftsschutzgebieten	439 498 ha	31,6 %
	Wald in Naturparks	678 942 ha	48,7 %
Waldbiotope	Waldbiotope nach §30 Bundesnaturschutzgesetz <sup>4)</sup>	34 905 ha	2,5 %
	Waldbiotope nach § 32 Landesnaturschutzgesetz <sup>2)4)</sup>	2 835 ha	0,2 %
	Waldbiotope nach § 30a Landeswaldgesetz	21 881 ha	1,6 %
	sonstige seltene Waldbiotope	23 462 ha	1,7 %
Natura 2000-Gebiete	FFH-Gebiete und Vogelschutzgebiete (überlagerungsbereinigt)	373 391 ha	26,8 %
Summe naturschutzwichtiger Flächen im Wald (überlagerungsbereinigt) <sup>2)</sup>		1 016 846 ha	73,0 %

1) Waldfläche Baden-Württemberg: 1 392 921 ha

2) Naturschutzwichtige Flächen im Wald

3) inkl. doppelt verordneter Bannwälder in der Kernzone des Biosphärengebiets Schwäbische Alb, exkl. ehemalige Bannwälder im Nationalpark Schwarzwald

4) § 30 des Bundesnaturschutzgesetzes geändert 2012

wirtschaftung genommene Waldflächen von mindestens 1 ha Größe) bieten Lebensraum für Arten, die auf sehr alte Bäume und große Totholzmenge angewiesen sind. Bis Ende 2013 wurden rund 130 000 Bäume in 11 400 Habitatbaumgruppen und 885 Waldrefugien mit einer Gesamtfläche von 2 835 ha aus der Nutzung genommen.

Die Zerschneidung zusammenhängender Waldflächen durch Straßen-, Schienen- und Leitungstrassen in immer kleinere Einheiten führt zu Beeinträchtigungen der Waldökosysteme. Der 2010 von der Landesregierung beschlossene Generalwildwegeplan erfasst die Kernlebensräume für Wildtiere und die Ausbreitungsachsen (Wildtierkorridore) für Tiere mit hohen Raumansprüchen wie z. B. Wildkatze oder Luchs. Die Umsetzung des Generalwildwegeplans dient der Erhaltung und der Entwicklung der Kernlebensräume und ihrer Verbindungselemente und fördert damit die Biodiversität und Anpassungsfähigkeit von Waldökosystemen.

Wälder erfüllen weitere vielfältige Schutzfunktionen (Abb. 6.6-1). So schützt z. B. der Bodenschutzwald seinen Standort sowie benachbarte Flächen vor den Auswirkungen von Wasser- und Winderosion, Steinschlag, Rutschvorgängen und Bodenkriechen.

Der Wald in Baden-Württemberg kann in kurz- bis mittelfristigen Zeiträumen weiterhin in seiner Funktion als Kohlendioxidsenke genutzt werden. Holz trägt in erheblichem Maße zur Substitution fossiler Energieträger bei und kann in diesem Bereich dauerhaft einen positiven Beitrag zur Kohlendioxidreduktion leisten.

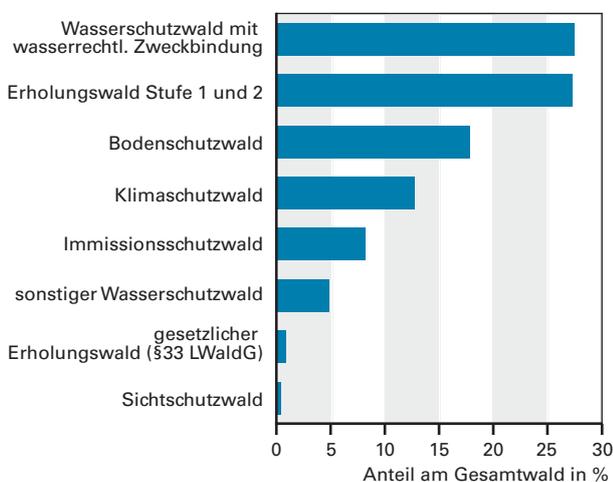


Abb. 6.6-1: Anteile Schutz- und Erholungswald an der Gesamtwaldfläche. Quelle: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA). Stand: 2014

## 6.6.2 Naturnahe Waldwirtschaft

Das Leitbild der naturnahen Waldwirtschaft ist ein gepflegter Wirtschaftswald, der gleichzeitig, grundsätzlich gleichrangig und dauerhaft sowohl Schutz- als auch Erholungsfunktionen erfüllt. Eine ausreichende ökologische und physikalische Stabilität der Wälder ist dabei auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht die Grundvoraussetzung.

Bei der dritten Bundeswaldinventur 2012 ([www.bundeswaldinventur.de](http://www.bundeswaldinventur.de)) wurden 50,4 % der Wälder in Baden-Württemberg als „naturnah“ und „sehr naturnah“ eingestuft. Das ist der höchste Wert im gesamten Bundesgebiet. Die Anteile der für den Naturschutz wichtigen alten Wälder mit Bäumen mit mehr als 50 cm Stammdurchmesser sind stark gestiegen. 49 % der Eichen, 50 % der Tannen sowie 34 % des Buchenvorrates sind Bäume mit mehr als 50 cm Durchmesser. Die Totholzvorräte im Wald, Lebensräume für spezielle Tier- und Pflanzenarten, erreichen einen Durchschnittswert von 28,8 m<sup>3</sup>/ha.

Der Anteil der Laubbäume an der Gesamtwaldfläche Baden-Württemberg liegt bei 47 %, der Fichtenanteil bei 34 %. Das derzeitige Verhältnis von Laub- zu Nadelbaumarten liegt bei 47:53 und damit schon relativ nahe an dem nach der langfristigen Baumartenplanung bisher angestrebten Ziel, einer Relation von 50 : 50 (Abb. 6.6-2).

Die jungen Wälder von heute sind zu 90 % natürlich, also aus Naturverjüngung, entstanden. Die junge Waldgeneration mit Bäumen bis zu vier Meter Höhe nimmt 36 % der Waldfläche ein. Rund 80 % dieser jungen Wälder wachsen

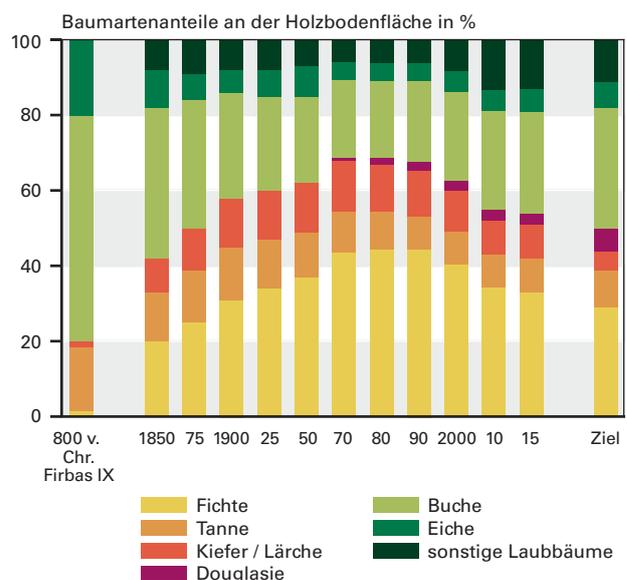


Abb. 6.6-2: Baumartenentwicklung im Staatswald Baden-Württemberg nach Statistik der Forsteinrichtung. Quelle: Regierungspräsidium Freiburg.

dabei nicht auf Kahlflächen, sondern unter dem schützenden Kronendach der alten Bäume. Dadurch entstehen stufige und strukturreiche Wälder, ein Plus für die ökologischen und gesellschaftlichen Wirkungen, z. B. die Erholungsfunktion des Waldes.

Mit einer Zertifizierung der nachhaltigen Waldwirtschaft verpflichtet sich ein Forstbetrieb, bei seiner Waldbewirtschaftung bestimmte Qualitäts- oder Umweltstandards einzuhalten. Diese Verpflichtung wird von einer unabhängigen Stelle überprüft und mit einem Zertifikat dokumentiert. Um dem Endverbraucher nachzuweisen, dass Holzprodukte aus zertifizierten Wäldern stammen, ist die Dokumentation der gesamten Verarbeitungskette des Holzes notwendig. In den vergangenen Jahren wurden in Europa und in Deutschland große Waldflächen zertifiziert. Im Jahr 2014 waren es in Baden-Württemberg rund 82 % der Waldfläche. Rund 1,1 Mio. ha Wald sind nach dem Zertifizierungssystem „Program for the Endorsement of Forest Certification Schemes (PEFC)“ und rund 357 000 ha Wald nach dem Zertifizierungssystem „Forest Stewardship Council (FSC)“ zertifiziert. PEFC und FSC sind bezüglich ihrer hohen ökologischen Anforderungen und Standards vergleichbar. Einige Forstbetriebe besitzen beide Zertifikate.

### 6.6.3 Gesundheitszustand der Wälder

Die Ergebnisse der jährlichen Waldschadensinventur zeigen für die Wälder Baden-Württembergs eine deutliche Verschlechterung des Vitalitätszustandes im Jahr 2014.

Die mittlere Kronenverlichtung der Bäume erhöhte sich gegenüber dem Vorjahr auf 25,8 %. Seit dem Jahr 2011 stellt dies eine Erhöhung des Verlustes um 4,7 Prozentpunkte dar. In der bisherigen Zeitreihe der Waldschadensinventur wurde lediglich in den Jahren 2005 bis 2007 als Folge der damals extrem trocken-warmen Sommerwitterung ein derart hohes Schadniveau der Wälder registriert. Insgesamt zählen derzeit 42 % der Waldfläche zur Schadstufe 2-4 (deutlich geschädigte Waldfläche), die sich aus den Anteilen der mittelstark und stark geschädigten sowie den abgestorbenen Bäumen zusammensetzt (Abb. 6.6-3).

Landesweit belastend für die Waldbäume wirkte sich das stark ausgeprägte Niederschlagsdefizit in der ersten Jahreshälfte 2014 aus. Die monatlichen Niederschlagsmengen lagen im Durchschnitt von Januar bis einschließlich Juni unterhalb des langjährigen Mittels. Die mangelnde Wasserverfügbarkeit äußert sich im Kronenzustand der Waldbäu-

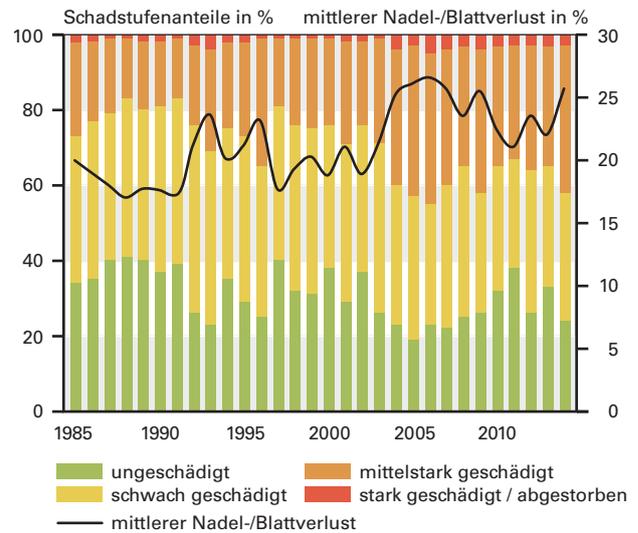


Abb. 6.6-3: Entwicklung der Schadstufenanteile und mittlerer Nadel-/Blattverluste in den Wäldern Baden-Württembergs 1985-2014. Quelle: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA).

me durch verkürzte Triebe und das Ausbilden von kürzeren Nadeln bzw. kleineren Blättern. Zusätzliche Verzweigungsanomalien in der Baumkrone traten durch eine starke Fruktifikation im Jahr 2014 auf, die sich vor allem bei den Baumarten Fichte und Buche in einem schlechteren Kronenzustand widerspiegelt. Der Vitalitätszustand der Buchen wurde zudem wie bereits im Vorjahr stark durch den Buchenspringrüssler beeinflusst (Abb. 6.6-4), der die Blätter durch Loch- und Minierfraß schädigt. Die Waldschadensinventur im Jahr 2014 wies für knapp die Hälfte aller Buchen Fraßschäden durch den Käfer aus. Der Kronenzustand der beiden Nadelbaumarten Kiefer und Tanne war in den letzten Jahren relativ stabil. Im Jahr 2014 verschlechterte sich der Zustand dieser Baumarten nur leicht. Kiefer und Tanne sind weit weniger anfällig gegenüber Trockenstress als beispielsweise die flacher wurzelnde Fichte, da sie aufgrund ihres tieferen Wurzelwerkes in der Lage sind, Bodenschichten zu erschließen, die auch in länger anhaltenden Trockenperioden noch Wasser führen. Für die Baumart Kiefer wirkte sich eine verstärkte Blüte im Jahr 2014 belastend auf den Kronenzustand aus. Im Gegensatz zu allen anderen Hauptbaumarten hat sich der Kronenzustand der Eiche im Jahr 2014 erholt. Zwar wurden an den Bäumen der Waldschadensinventur wieder Fraßschäden an Eichenblättern durch Schadinsekten festgestellt, jedoch blieben Schäden durch den Mehltreibpilz, wie sie in den letzten Jahren deutlich zu beobachten waren, weitgehend aus. Als dramatisch kann die Entwicklung des Kro-

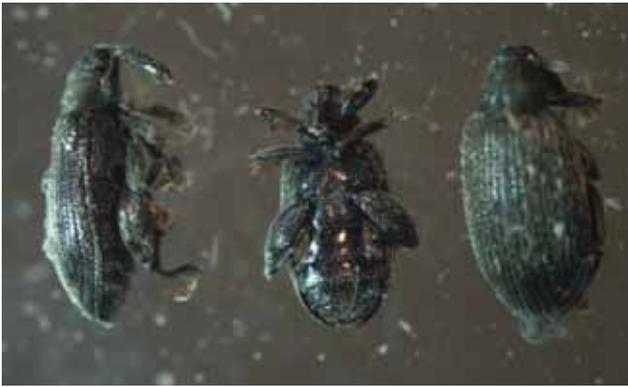


Abb. 6.6-4: Buchenspringrüssler: Käfer aus unterschiedlicher Perspektive. Quelle: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA, Metzler 2014).

nenzustandes der Baumart Esche in den letzten Jahren bezeichnet werden. Die Baumart ist zunehmend vom Eschentriebsterben betroffen (Abb. 6.6-5), das durch einen pathogenen Schlauchpilz verursacht wird und die Bäume deutlich schädigt bzw. absterben lässt. Während bei der Waldschadensinventur 2009 erste vereinzelte Symptome dieser neuartigen Krankheit an Eschen beobachtet wurden, hat sich die Krankheit mittlerweile landesweit ausgebreitet.



Abb. 6.6-5: Eschentriebsterben. Quelle: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA, Metzler 2014).

# 7 Lärm

## Das Wichtigste in Kürze

**Hauptlärmquelle** in Baden-Württemberg ist der Straßenverkehr. Er hat großen Anteil daran, dass weite Teile der Landesfläche nicht mehr als „ruhig“ bezeichnet werden können. Daneben zählen der Schienen- und Flugverkehr sowie laute Nachbarn zu den Lärmquellen, die die Anwohner am meisten beeinträchtigen.

Durch die **Lärmkartierungen** im Rahmen der Umsetzung der ersten und zweiten Stufe der EU-Umgebungslärmrichtlinie in den Jahren 2007 und 2012 liegen für Baden-Württemberg umfangreiche Daten über die Belastung der Bevölkerung durch Umgebungslärm vor. Daraus werden von den zuständigen Behörden Lärminderungsstrategien in Form von Aktionsplänen abgeleitet. Insgesamt haben in Baden-Württemberg bis Mitte 2015 rund 280 Gemeinden Berichte mit Informationen aus Lärmaktionsplänen bzw. Informationen zum Stand der Lärmaktionsplanung an die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg übermittelt. Die LUBW sammelt die Berichte der in Baden-Württemberg für die Lärmaktionsplanung zuständigen Behörden und leitet diese an das Umweltbundesamt zur Berichterstattung an die EU-Kommission weiter.

Als Lärm werden alle Geräuscheinwirkungen bezeichnet, die von Betroffenen als unerwünscht oder belästigend empfunden werden. In der Wahrnehmung ist also eine individuelle Bewertung enthalten. Messtechnisch wird versucht, Lärm mithilfe des Schallpegels objektiv zu erfassen und darzustellen. Der Schallpegel wird in Dezibel (A), kurz dB(A), angegeben. Diese Messgröße orientiert sich am menschlichen Hörempfinden. Beispiele für die Höhe von Schallpegeln bekannter Geräusche gibt Abbildung 7-1 wieder. Die Spitzenpegel kurzzeitiger Geräusche erreichen teilweise noch höhere Werte, als es die abgebildete Skala zeigt. Neben der Höhe des Schallpegels wirkt sich zusätzlich auch die Dauer der Einwirkung aus.

Hohe Lärmimmissionen mindern die Lebensqualität der Betroffenen und bergen gesundheitliche Risiken. Nachgewiesene Lärmwirkungen sind beispielsweise Herz-Kreislauferkrankungen, erhöhtes Herzinfarktrisiko, Schlafstörungen, Stress, Nervosität, Lern- und Konzentrationsstörungen.

Daher ist es Ziel, vorhandene Belastungen zu senken und ruhige Gebiete vor Verlärmung zu schützen. Auch wenn man inzwischen von einer „akustischen Verschmutzung der Landschaft“ sprechen kann, so werden durch Lärm keine Umweltmedien oder Ressourcen tatsächlich verschmutzt, im Gegensatz etwa zu Luftverunreinigungen. Die Einwirkungen des Lärms betreffen örtlich und zeitlich klar definierte einzelne regionale Bereiche. Die Möglichkeit, dem Lärm zu entfliehen, führt oft dazu, dass Lärmbelastung auch zu einem sozialen Problem wird. Dieses wird zwar

von allen verursacht, doch muss es mehrheitlich von den finanziell Schwächeren getragen werden, die es sich nicht leisten können, in ruhigeren Gebieten zu wohnen (soziale Entmischung).

„Lärm“	Dezibel (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; Meeresrauschen
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. 7-1: Schallpegel von typischen Geräuschen in Dezibel (A). [FLEISCHER 2000]

## 7.1 Belästigung durch Lärm

Umfragen zufolge fühlen sich landes- und bundesweit mehr als die Hälfte der Bevölkerung durch Lärm in ihrer unmittelbaren Umwelt und Nachbarschaft belästigt. Lärm stellt somit ein drängendes lokales Umweltproblem dar (Abb. 7.1-1).

Hauptlärmquelle ist der Straßenverkehr. Daneben spielen der Schienen- und Flugverkehr sowie laute Nachbarn eine wichtige Rolle. Oft treffen mehrere Lärmquellen zusammen, so dass sich die Belastungssituation für die Betroffenen verschärft. Eine Vielzahl von Verordnungen, Richtlinien und Regelungen haben den Schutz der Menschen vor erheblichen Belästigungen und Gesundheitsgefahren durch Lärm zum Ziel. Dabei wird in aller Regel jede „Lärmart“ getrennt betrachtet, da es bis heute keine allgemein anerkannte quantitative Gesamtlärmbetrachtung gibt.

## 7.2 Lärmkartierung und Lärmaktionsplanung

Grundlage der Lärmkartierung ist die EU-Umgebungslärmrichtlinie, welche durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz (§§ 47a ff BImSchG) und die Verordnung über die Lärmkartierung (34. BImSchV) in nationales Recht überführt wurde. Sie hat zum Ziel, den Umgebungslärm und somit die Lärmbelastung der Bevölkerung zu reduzieren.

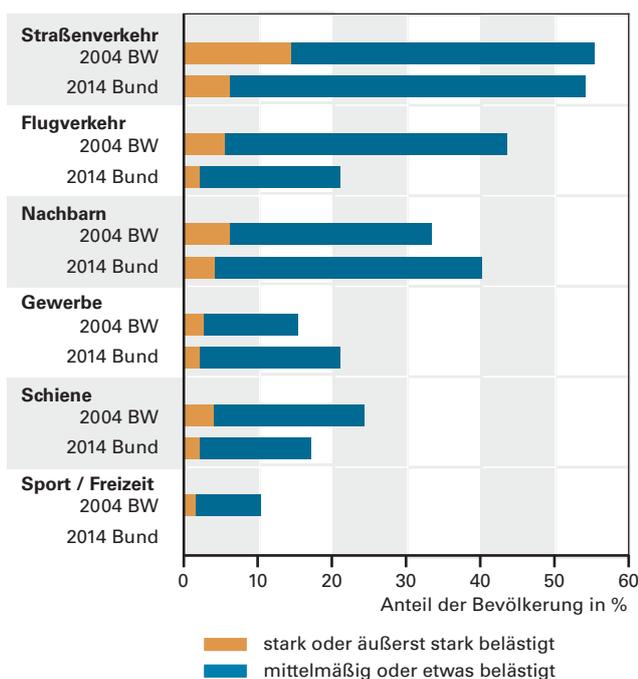


Abb. 7.1-1: Subjektive Belästigung der erwachsenen Bevölkerung durch verschiedene Lärmarten in Deutschland (Bund) und Baden-Württemberg (BW) auf Grundlage repräsentativer Umfragen [LfU 2004, UBA 2015].

Mithilfe der Lärmkartierung werden die am stärksten von Umgebungslärm betroffenen Gebiete ermittelt.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Kartierung sind von den zuständigen Stellen, in der Regel den Städten und Gemeinden, Lärmaktionspläne aufzustellen. Bei der Lärmaktionsplanung werden lärmmentlastende Maßnahmen erarbeitet und in einem Plan verbindlich festgeschrieben.

Die praktische Umsetzung der Richtlinie erfolgte zeitlich gestaffelt. In der ersten Stufe der Umgebungslärmkartierung (2007) wurden bereits umfangreiche Lärmkartierungen durchgeführt. In der zweiten Stufe (2012) wurden in erheblich erweitertem Umfang zusätzliche Straßen, Schienenwege und Ballungsräume erfasst und auch die entsprechenden Aktionspläne erweitert. Nach Abschluss der ersten und zweiten Stufe sind die Lärmkarten sowie die Lärmaktionspläne alle fünf Jahre zu überprüfen und, falls erforderlich, zu aktualisieren bzw. fortzuschreiben.

Grundsätzlich muss für alle kartierten Bereiche eine Lärmaktionsplanung durchgeführt werden. Für die Aktionsplanung der Stufe 2 empfiehlt das Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, bei der Maßnahmenplanung auf jeden Fall Bereiche mit Schallpegeln von  $L_{DEN} > 65 \text{ dB(A)}$  bzw.  $L_{Night} > 55 \text{ dB(A)}$  zu betrachten (Tab. 7.2-1). Für Bereiche mit  $L_{DEN} > 70 \text{ dB(A)}$  bzw.  $L_{Night} > 60 \text{ dB(A)}$  besteht ein vordringlicher Handlungsbedarf.

Das Kernelement eines Lärmaktionsplans ist der Maßnahmenkatalog, in den mögliche Lärminderungsmaßnahmen aufgenommen werden. Dabei ergeben sich zahlreiche Maßnahmenfelder und kommunale Strategien, z. B. verkehrsregelnde Maßnahmen, baulicher Lärmschutz, planerische und organisatorische Maßnahmen. Die Lärmaktionsplanung steht teilweise in enger Beziehung zu anderen kommunalen Fachplanungen. Planungsrechtliche Vorgaben eines Lärmaktionsplanes sind in den Fachplanungen zu berücksichtigen. Damit wird der Lärmschutz auch in anderen kommunalen Planungsprozessen verankert und ihm wird ein entsprechendes Gewicht beigemessen.

Die Lärmkarten werden gemäß den gesetzlichen Regelungen jeweils getrennt für die Lärmarten Straßenverkehr, Schienenverkehr, Flugverkehr sowie Industrie und Gewerbe (letztere nur in den Ballungsräumen) berechnet und ausgewiesen. Eine Überlagerung der Schallpegel für unterschiedliche Lärmarten, z. B. bei parallel verlaufenden Stra-

ßen und Eisenbahnstrecken, erfolgt nicht. Es werden die Lärmindizes  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$  betrachtet, also zwei unterschiedliche Zeiträume (Tab. 7.2-1).

Die Lärmkarten stellen flächenhaft die auftretenden Schallimmissionen farblich in sogenannten Isophonenbändern dar, das sind Bänder gleicher Schallpegel. Grundlage für die Erstellung der Lärmkarten sind die vorläufigen nationalen Berechnungsvorschriften für Straßen-, Schienen-, Flug- sowie Industrie- und Gewerbelärm. Die Belastung wird nicht vor Ort gemessen, sondern mit bundesweit einheitlichen Berechnungsverfahren ermittelt. In die Berechnungen fließen neben den auf die Lärmquelle bezogenen Daten wie Verkehrsaufkommen, zulässige Höchstgeschwindigkeit und Straßenbelag auch weitere Ausgangsdaten wie Lärmschutzwände oder -wälle, Bebauung und Topografie mit ein. Durch die Einführung von Mittelungspegeln werden zeitlich schwankende Geräusche durch einen Einzahlwert ersetzt. Dadurch können unterschiedliche Geräuschsituationen verglichen werden. Lärmkarten objektivieren somit die vorhandene Lärmsituation und machen sie farblich sichtbar (Abb. 7.2-1).

Gemäß EU-Umgebungslärmrichtlinie sind zu den Lärmkarten auch statistische Angaben über die von Lärm betroffenen Menschen in den kartierten Gebieten zu erstellen. Hierfür werden 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

Tab. 7.2-1: Lärmindizes  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$  nach Umgebungslärmrichtlinie und 34. BImSchV.

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 (22.00 Uhr bis 6.00 Uhr)

Betroffenen je Pegelklasse aufsummiert. Diese Zahlen werden für jede von der Kartierung betroffene Gemeinde einzeln ausgewiesen und veröffentlicht.

### 7.3 Straßenverkehrslärm

Der Straßenverkehr steht an der Spitze der Lärmverursacher. Die Kartierung des Straßenverkehrslärms erfolgt in den Ballungsräumen (Tab. 7.3-1) sowie an Hauptverkehrsstraßen außerhalb der Ballungsräume. In der ersten Stufe im Jahr 2007 wurden Hauptverkehrsstraßen mit mehr als 6 Mio. Kraftfahrzeugen (Kfz) pro Jahr (16 400 Kfz/Tag) erfasst, in der zweiten Stufe 2012 alle Hauptverkehrsstraßen mit mehr als 3 Mio. Kfz/Jahr (8 200 Kfz/Tag). Zu den Hauptverkehrsstraßen zählen definitionsgemäß Autobahnen, Bundes- und Landesstraßen. Andere Straßen, wie Kreis- und Gemeindestraßen, fallen, unabhängig vom Verkehrsaufkommen, nicht unter die Kartierungspflicht.

Im Rahmen der Umgebungslärmkartierung 2007 (Stufe 1) wurden Hauptverkehrsstraßen mit einer Gesamtlänge von rund 2 300 km erfasst und rund 1 000 Lärmkarten für den

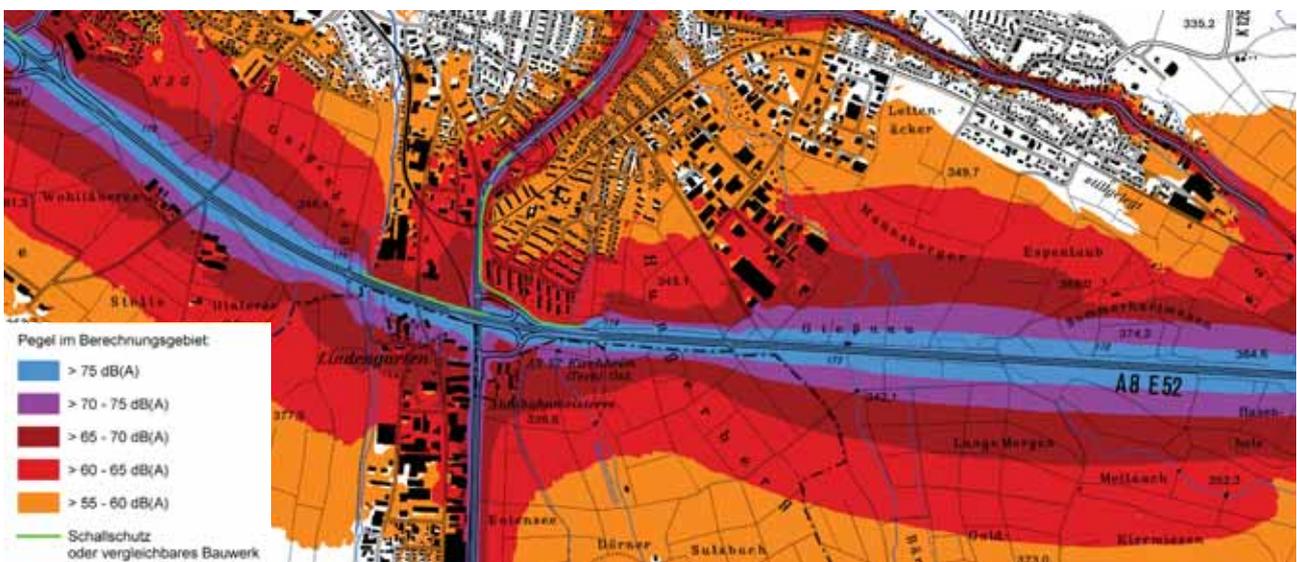


Abb. 7.2-1: Ausschnitt aus einer Lärmkarte: Durchschnittlicher Straßenlärm für einen 24-Stunden-Tag.

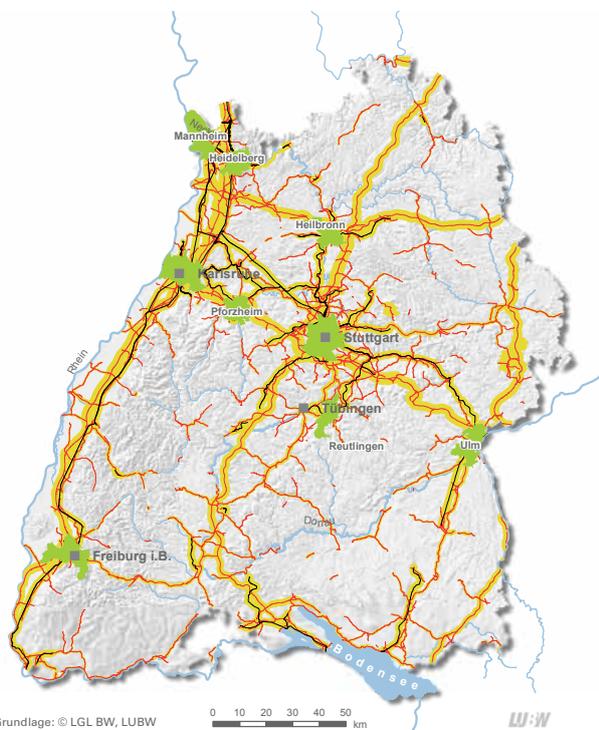
Tab. 7.3-1: Ballungsräume in Baden-Württemberg. Stand: 2014

Stufe 1 (2007) Ballungsräume > 250 000 Einwohner	Stufe 2 (2012) Ballungsräume > 100 000 Einwohner	
Stuttgart	Stuttgart <sup>1)2)</sup>	Heilbronn
Mannheim	Mannheim <sup>1)</sup>	Ulm
Karlsruhe	Karlsruhe <sup>1)</sup>	Pforzheim
	Freiburg	Reutlingen
	Heidelberg	

1) Überprüfung und ggf. Überarbeitung bestehender Lärmaktionspläne  
2) einschl. Teilen von Esslingen

Ganztages- ( $L_{DEN}$ ) und Nachtzeitraum ( $L_{Night}$ ) erstellt. In der Lärmkartierung 2012 (Stufe 2) hat sich der Kartierungsumfang mehr als verdoppelt. Es wurden Hauptverkehrsstraßen mit einer Gesamtlänge von rund 5 200 km betrachtet. Insgesamt wurden rund 1 500 Lärmkarten erstellt ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Lärm > Umgebungslärmkartierung > Lärmkarten 2012 (Stufe 2)) (Abb. 7.3-1).

Basierend auf der Umgebungslärmkartierung Stufe 2 gibt Tabelle 7.3-2 die landesweite Lärmbetroffenheit für Straßenlärm einschließlich der in den Ballungsräumen ermittelten Belastungszahlen wieder. Demnach sind eine erhebliche Anzahl von Menschen aufgrund des Straßenverkehrs Lärmpegeln über einem  $L_{DEN}$  von 65 dB(A) oder über einem  $L_{Night}$  von 55 dB(A) ausgesetzt. Aus Sicht der Lärm-



- kartierte Schiene
- kartierte Straße
- kartierte Fläche
- Ballungsraum

Abb. 7.3-1: Übersicht über den Umfang der Lärmkartierung der 2. Stufe (Hauptverkehrsstraßen, Eisenbahnlinien und Ballungsräume). Stand: 2014

Tab. 7.3-2: Anzahl der landesweit durch Straßenverkehrslärm belasteten Menschen an Hauptverkehrsstraßen und in Ballungsräumen (auf Hundert gerundet). Basis: Umgebungslärmkartierung Stufe 2. Stand: 2013

Pegelbereich dB(A)		belastete Menschen (Straßenlärm)	
über	bis	$L_{DEN}$	$L_{Night}$
50	55	-	322 100
55	60	494 300	187 600
60	65	257 000	82 500
65	70	165 100	11 200
70	75	73 400	600
75		7 800	-
Summe über $L_{DEN} > 65 / L_{Night} > 55$		246 300	281 900
(Maßnahmenplanung empfohlen):			
Summe über $L_{DEN} > 70 / L_{Night} > 60$		81 200	94 300
(vordringlicher Handlungsbedarf):			
Summe		997 600	604 000

wirkungsforschung sollten diese Werte unterschritten werden, um Gesundheitsgefährdungen durch Lärm zu vermeiden. Beeinträchtigungen durch Lärmbelastung setzen allerdings schon unterhalb dieser Werte ein, weshalb die Lärmkartierung Lärmpegel ab  $L_{DEN} > 55$  dB(A) und  $L_{Night} > 50$  dB(A) erfasst [MVI 2014].

Als Folge des Straßenverkehrslärms sinkt der Aufenthalts- und Erholungswert weiter Teile der Landesfläche. Lokale Maßnahmen wie Ortsumgehungsstraßen oder Lärmschutzwände führen durchaus zu Erleichterungen bei den betroffenen Menschen. Diese Erfolge werden jedoch durch steigende Verkehrszahlen und höhere Fahrgeschwindigkeiten teilweise kompensiert.

Maßnahmen zur Geräuschdämmung direkt am Fahrzeug führten zwar zu einer deutlichen Reduktion von Motorgereuschen, bei der Minderung des Gesamtgeräusches, also der Summe aus Reifen-Fahrbahn-Geräusch und Motorgereusch, wurde bislang jedoch nur wenig erreicht. Lediglich bei den Lastkraftwagen (Lkw) ist eine Verbesserung feststellbar. Seit 2012 sind die Reifenhersteller verpflichtet, ihre Produkte mit einem sogenannten Reifenlabel zu kennzeichnen. Das Etikett enthält Informationen zum Rollgeräusch und zu weiteren Eigenschaften des Reifens. Vergleiche zwischen verschiedenen Produkten und Herstellern werden dadurch wesentlich erleichtert. Endverbraucher erhalten somit objektive Kriterien für die Reifenwahl.

Die Lärmemissionen im praktischen Fahrbetrieb sind stark von der Fahrweise (niedrig- oder hochtourig) abhängig.

Dabei können Unterschiede in der Lärmemission von bis zu 10 dB(A) auftreten. Ein einziger rasant und hoctourig gefahrener Pkw verursacht genauso viel Lärm wie acht normal gefahrene. Das entspricht ungefähr einer Verdoppelung oder Halbierung des subjektiv empfundenen Lärms.

Im Rahmen des Programms „Lärmsanierung an Bundesfernstraßen“ wurden in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2013 Lärmschutzwände und -wälle mit einer Gesamtlänge von über 252 km errichtet (Abb. 7.3-2). Als Maßnahme für den passiven Lärmschutz wurden bis 2013 rund 157 000 m<sup>2</sup> Lärmschutzfenster eingesetzt (Abb. 7.3-3). Seit 1997 wird außerdem der Neubau offener, lärmindernder Asphaltdeckschichten registriert. In Baden-Württemberg wurden diese bis 2013 auf einer Gesamtlänge von rund 62 km eingebaut. Flächendeckende Informationen über Lärmschutzmaßnahmen an Landes- und Gemeindestraßen liegen nicht vor.

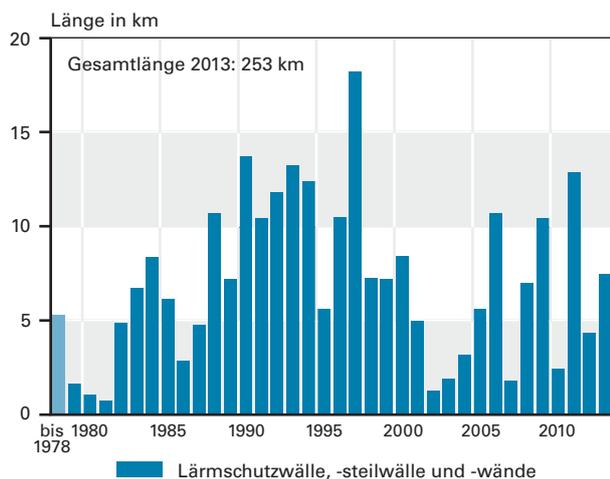


Abb. 7.3-2: Jährlich neu errichtete Lärmschutzwälle, Lärmschutzsteilwälle und Lärmschutzwände an Bundesfernstraßen in Baden-Württemberg [BMVI 2014].

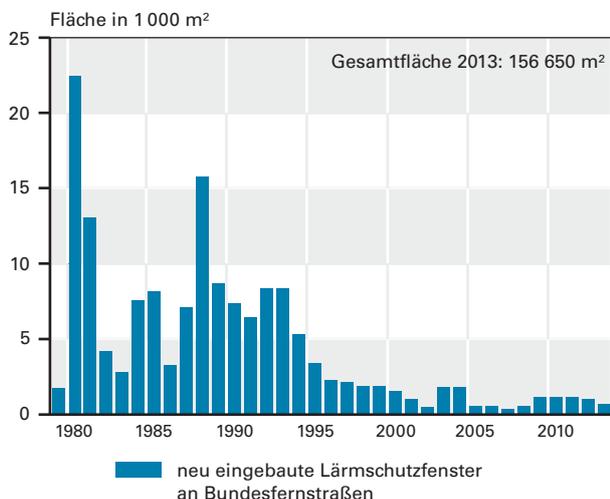


Abb. 7.3-3: Jährlich neu eingebaute Lärmschutzfenster an Bundesfernstraßen in Baden-Württemberg [BMVI 2014].

## 7.4 Schienenverkehrslärm

Schienenverkehrslärm wird von Eisenbahnen, Straßenbahnen sowie von S- und U-Bahnen verursacht. Hauptursache ist dabei das Abrollen der Räder auf den Gleisen, das sogenannte Rad-Schiene-Geräusch. 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 stärker gebündelt und deshalb in seinen Auswirkungen räumlich begrenzter. Die Belästigung konzentriert sich beim Schienenverkehrslärm vorwiegend auf die Nachtzeiten. Hier wirkt sich in erster Linie der Güterverkehr besonders störend aus, da Güterzüge zu den lautesten Zügen gehören. Beim Schienenverkehrslärm bestehen noch erhebliche Minderungspotenziale durch Maßnahmen an der Quelle, u. a. durch die Gleispflege und die Umrüstung lauter Güterwagen auf Bremssohlen aus Verbundwerkstoffen.

Für die Neuplanung von Bahnstrecken wurde bisher ein „Schienenbonus“ von 5 dB(A) angesetzt. Mit diesem Bonus erfuhr der Schienenverkehrslärm eine Art Privilegierung gegenüber dem Straßenverkehrslärm. Begründet wurde dies mit einer geringeren Belästigungswirkung des Schienenverkehrs. Seit dem 1. Januar 2015 entfällt der Schienenbonus für den Bau und die wesentliche Änderung von Bahnstrecken, für Stadt- und Straßenbahnen gilt dies ab dem 1. Januar 2019.

Bei den Schienenwegen werden von der LUBW Lärmkartierungen ausschließlich für nichtbundeseigene Eisenbahnstrecken durchgeführt. In Stufe 1 waren es 26 km, in Stufe 2 72 km. Diese tragen nur zu einem verhältnismäßig geringen Teil zum Schienenlärm in Baden-Württemberg bei. Weitaus größere Bedeutung haben die vom Eisenbahnbundesamt kartierten Eisenbahnstrecken des Bundes. In der ersten Stufe wurden dabei etwa 600 km Schienenwege erfasst, in der zweiten Stufe landesweit rund 1 500 km. In den Ballungsräumen ergeben sich aufgrund der Nähe zur Wohnbebauung auch durch den Straßenbahnverkehr hohe Betroffenenzahlen unter den Anwohnern. Für die Ermittlung der landesweiten Lärmbetroffenheit werden die Daten der unterschiedlichen Lärmkartierungen zusammengeführt (Tab. 7.4-1).

Tab. 7.4-1: Landesweite Lärmbetroffenheit durch Schienenverkehrslärm (auf Hundert gerundet)<sup>1)</sup>. Quellen: LUBW, EBA. Stand: 2014

Pegelbereich dB(A)		belastete Menschen (Schienenlärm)	
über	bis	L <sub>DEN</sub>	L <sub>Night</sub>
50	55	-	446 700
55	60	537 600	184 800
60	65	238 700	67 300
65	70	92 900	23 600
70	75	36 300	8 900
75		14 100	-
Summe über L <sub>DEN</sub> > 65 / L <sub>Night</sub> > 55 (Maßnahmenplanung empfohlen):		143 300	284 600
Summe über L <sub>DEN</sub> > 70 / L <sub>Night</sub> > 60 (vordringlicher Handlungsbedarf):		50 400	99 800
Summe		919 600	731 300

1) Datenbasis: Die von der LUBW kartierten nichtbundeseigenen Bahnen, die in den Ballungsräumen erfassten Schienenwege (inkl. Straßenbahnen) sowie die bundeseigenen Schienenwege aus der Lärmkartierung des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA).

## 7.5 Fluglärm

Der Flugverkehr und der dadurch entstehende Fluglärm wird in Baden-Württemberg insbesondere durch den Großflughafen Stuttgart, die überregionalen Flughäfen Karlsruhe/Baden-Baden (Baden-Airpark), Friedrichshafen (Bodensee-Airport) und Mannheim (City Airport Mannheim) sowie in Südbaden durch den schweizerischen Flughafen Zürich-Kloten geprägt. Daneben gibt es im Land noch über 160 zivil genutzte Flugplätze, die relativ gleichmäßig über die Landesfläche verteilt sind.

In einigen Studien wurde gezeigt, dass vor allem der nächtliche Fluglärm negative gesundheitliche Auswirkungen auf die Anwohner haben kann [GREISER ET AL. 2006, GREISER 2010, HUSS ET AL. 2010]. Der Flugverkehr zählt in Baden-Württemberg zu den Lärmquellen, die die Anwohner stark beeinträchtigen. Über 20 % der Bevölkerung fühlen sich durch Fluglärm belästigt, etwa 2 % davon stark oder äußerst stark (Abb. 7.1-1).

Im Einwirkungsbereich des Flughafens Stuttgart ist es in den vergangenen 30 Jahren gelungen, trotz steigender Flugzahlen sinkende Dauerschallpegel zu erreichen (Abb. 7.5-1 und 7.5-2). 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. Für laute Flugzeuge sind deutlich höhere

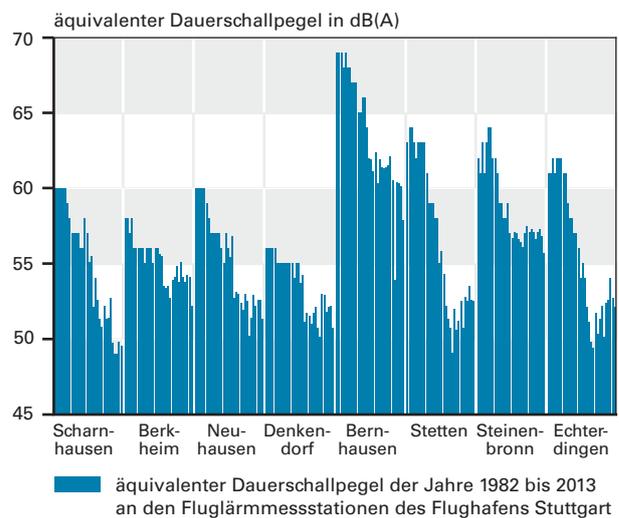


Abb. 7.5-1: Äquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel über die sechs verkehrsreichsten Monate) an den Fluglärmmessstationen im Einwirkungsbereich des Flughafens Stuttgart. Quelle: Jahresbericht des Lärmschutzbeauftragten für den Flughafen Stuttgart, 2013.

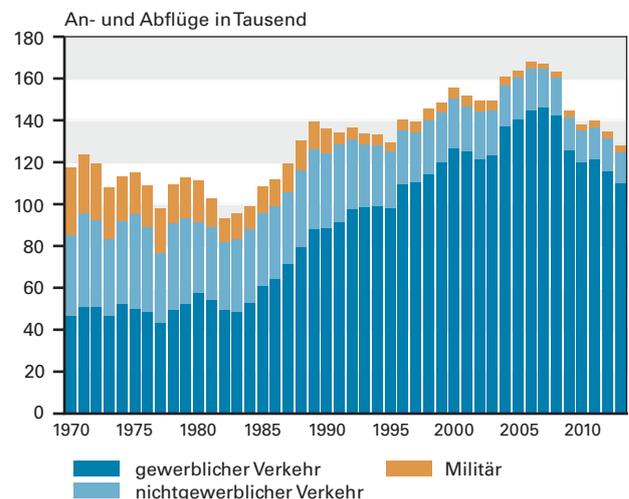


Abb. 7.5-2: Flugbewegungen (An- und Abflüge) am Flughafen Stuttgart. Quelle: Jahresbericht des Lärmschutzbeauftragten für den Flughafen Stuttgart, 2013.

Gebühren zu entrichten. Damit werden für Fluggesellschaften Anreize geschaffen, möglichst geräuscharme Flugzeuge einzusetzen. Die Zahl der Flugbewegungen ist seit einigen Jahren tendenziell rückläufig, es gibt einen Trend hin zu weniger, dafür größeren Flugzeugen [RPS 2013].

Die in den letzten zehn Jahren an den Messstationen im Bereich des Flughafens Stuttgart beobachteten Schwankungen der Dauerschallpegel lassen keinen stationsübergreifenden Trend erkennen. Sie können verschiedenste Ursachen haben, z. B. geänderte Flugrouten oder geänderte An- und Abflugverfahren.

Der schweizerische Flughafen Zürich-Kloten beeinträchtigt durch seine im südlichen Baden-Württemberg teilweise über deutschem Hoheitsgebiet verlaufenden An- und Ab-

flüge auch die Lebensqualität von Teilen der dort wohnenden Bevölkerung durch Fluglärm. In der etwa 15 km vom Flughafen entfernten Gemeinde Hohentengen (Landkreis Waldshut) und in Hohentengen-Herdern werden zwei Fluglärmmessstationen betrieben. Aufgrund der Reduktion der Nachtflüge sind die nächtlichen Immissionen gegenüber früher deutlich zurückgegangen. In Hohentengen werden nachts Lärmwerte um 33 dB(A) gemessen, während die Tagwerte bei knapp 55 dB(A) liegen (Abb. 7.5-3). Die Messstation Herdern zeigt übereinstimmend bei den Nachtwerten drastische Reduktionen auf unter 30 dB(A). Die Tagwerte liegen bei etwa 35 dB(A).

### 7.5.1 Fluglärmgesetz

Mit der Neufassung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (FluLärmG) im Juni 2007 wurde das 36 Jahre alte Fluglärmgesetz abgelöst. In Baden-Württemberg wurden im Jahr 2010 die Lärmschutzbereiche der Flughäfen Stuttgart, Karlsruhe/Baden-Baden, Friedrichshafen und Mannheim neu ermittelt und in Verordnungen der Landesregierung festgelegt. Der Lärmschutzbereich ist gegliedert in zwei Tag-Schutzzonen und eine Nacht-Schutzzone. Innerhalb des Lärmschutzbereichs gelten bauliche Nutzungsbeschränkungen und Vorgaben zum baulichen Schallschutz. Abbildung 7.5-4 zeigt beispielhaft den Lärmschutzbereich am Flughafen Stuttgart. Weitere ausführliche Daten, Diagramme und Informationen zu allen Flughäfen finden sich auf den Internetseiten der LUBW ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Lärm > Lärmarten-Lärmschutz > Fluglärm > Fluglärmgesetz).

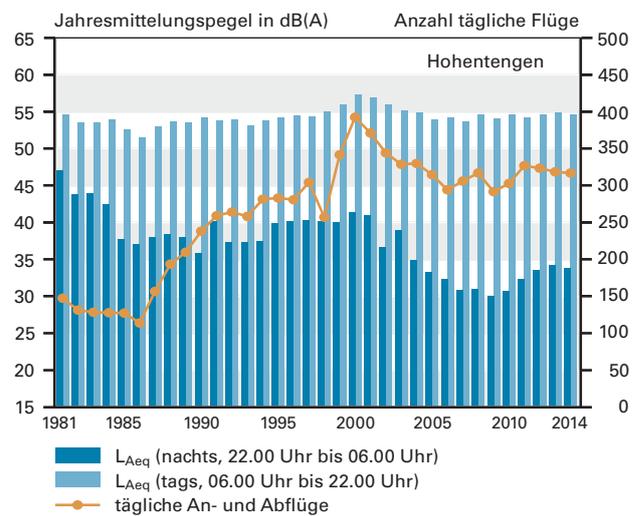


Abb. 7.5-3: Jahresmittelungspegel  $L_{Aeq}$  (energieäquivalenter Mittelungspegel aus dem zeitlichen Verlauf des Schalldruckpegels) und Mittelwert der täglichen Flugzahlen an der Fluglärmmessstation Hohentengen. Quellen: Landkreis Waldshut, LUBW.

### 7.5.2 Umgebungslärmkartierung

Als einziger Großflughafen im Land erfüllt der Flughafen Stuttgart die für eine Kartierung vorgegebene Mindestzahl von 50 000 Flugbewegungen pro Jahr und wurde in Stufe 1 kartiert. Eine Aktualisierung der für den Flughafen Stuttgart vorliegenden Lärmkarten war in Stufe 2 nicht erforderlich. Eine Überprüfung ergab, dass aufgrund der leicht rückläufigen Flugbewegungen kein Bedarf bestand, die Lärmkarten zu überarbeiten.

Die Lärmkartierung der Ballungsräume erfasst auch die darin gelegenen Flugplätze für den zivilen Luftverkehr. Aufgrund dessen wurde im Ballungsraum Mannheim der Verkehrslandeplatz Mannheim kartiert. Tabelle 7.5-1 gibt die in Baden-Württemberg bisher ermittelte Lärmbetroffenheit für Fluglärm zusammengefasst wieder.

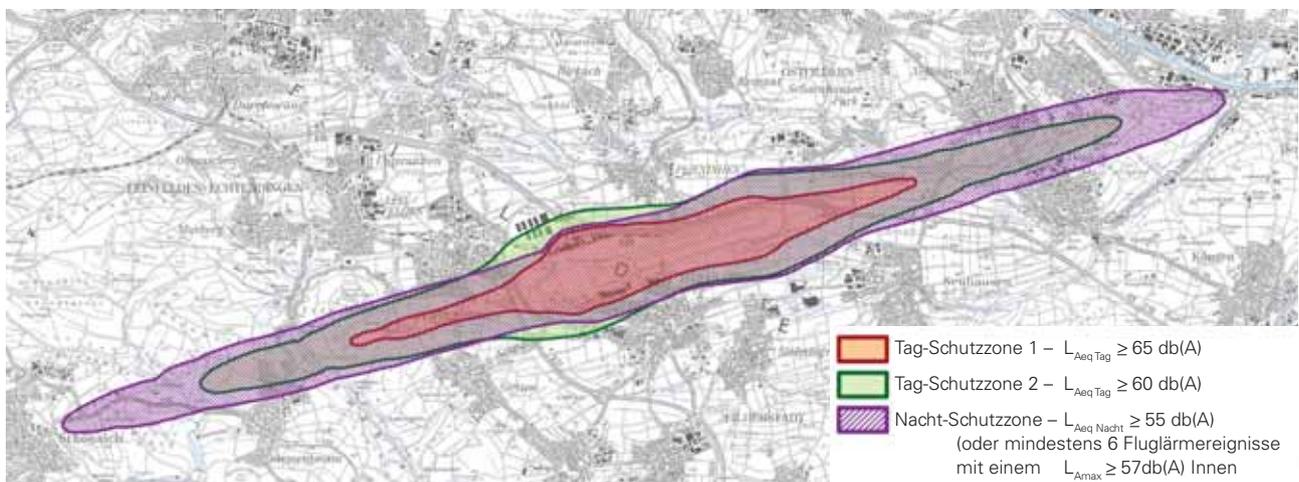


Abb. 7.5-4: Lärmschutzbereich am Flughafen Stuttgart. Stand: 2010

Tab. 75-1: Anzahl der von Fluglärm am Flughafen Stuttgart und dem Verkehrslandeplatz Mannheim belasteten Menschen (auf Hundert gerundet). Stand: 2008

Pegelbereich dB(A)		belastete Menschen (Fluglärm)	
über	bis	L <sub>DEN</sub>	L <sub>Night</sub>
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 über L <sub>DEN</sub> > 65 / L <sub>Night</sub> > 55 200 (Maßnahmenplanung empfohlen):			100
Summe über L <sub>DEN</sub> > 70 / L <sub>Night</sub> > 60 0 (vordringlicher Handlungsbedarf):			0
Gesamt		45 100	5 700

## 7.6 Anlagenlärm (Industrie und Gewerbe)

Eine bundesweite repräsentative Umfrage aus dem Jahr 2014 [UBA 2015] ergab, dass sich seit über 20 Jahren gleichbleibend etwa 2 % bis 4 % der Bevölkerung durch gewerbliche Lärmquellen „stark“ oder „äußerst stark“ belästigt fühlen (Abb. 7.6-1).

Eine punktuelle Erfassung aus dem Jahr 2009 zeigte, dass etwas mehr als die Hälfte aller ausgewerteten rund 1 000 Nachbarschaftsbeschwerden auf Lärm und Erschütterungen zurückzuführen waren [LUBW 2009]. Auch Immissionen durch Baulärm, insbesondere wenn Baustellen im Rahmen von Großprojekten oftmals viele Monate oder

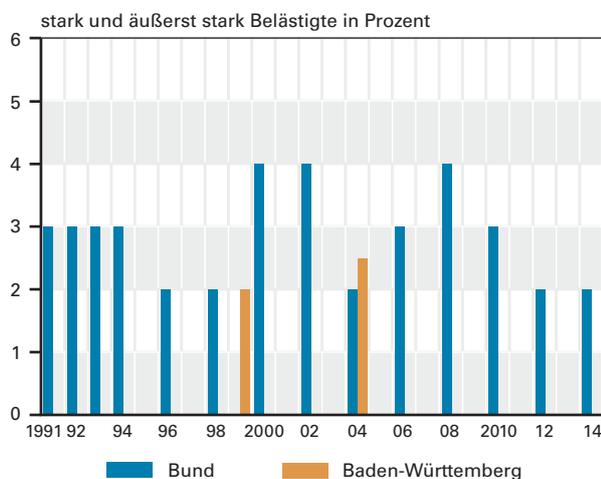


Abb. 7.6-1: Durch Industrie- bzw. Gewerbelärm hervorgerufene subjektive Belästigung der Bevölkerung in Prozent in Deutschland und Baden-Württemberg. Quellen: Sachverständigenrat für Umweltfragen ([www.umweltrat.de](http://www.umweltrat.de)), LUBW, Umweltbundesamt.

Jahre bestehen, gehören zum Anlagenlärm. Der Baulärm genießt im Vergleich zu herkömmlichem Gewerbelärm eine Sonderbeurteilung durch die „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm“ von 1970, welche gewisse Privilegierungen enthält. Dies ist insbesondere bei kurzfristigen Baustellen auch sinnvoll, kann aber bei z. T. mehrjährig betriebenen Bauprojekten aus Sicht des Immissionsschutzes durchaus problematisch werden.

Schon seit Jahren ist in Baden-Württemberg und auch bundesweit in Bezug auf benachbarte Industrie- und Gewerbeanlagen aber auch auf private Kleinanlagen, wie z. B. Wärmepumpen, ein Anstieg an Betroffenheit und Beschwerden wegen tieffrequenter Geräusche zu verzeichnen. Als tieffrequent bezeichnet man Geräusche, die vorwiegend im Frequenzbereich unter 100 Hertz (Hz) liegen. Bei diesen Frequenzen gibt es einen fließenden Übergang vom Hören, also von den Sinneseindrücken „Lautstärke“ und „Tonhöhe“, hin zum Fühlen. Tieffrequente Geräusche unterhalb der Hörschwelle mit Frequenzen von weniger als 20 Hz werden als Infraschall bezeichnet. Infraschall ist ein alltäglicher Bestandteil unserer Umwelt. Natürliche Quellen wie Wind, Wasserfälle oder Meeresbrandung erzeugen ihn ebenso wie technische Quellen, beispielsweise Heizungsanlagen, Straßen- und Schienenverkehr. Auch Windenergieanlagen emittieren durch die Umströmung der rotierenden Flügel Infraschall, wobei dieser im Vergleich zu den oben genannten Schallquellen gering ist. Selbst in der näheren Umgebung einer Windenergieanlage liegt er deutlich unterhalb der Wahrnehmungsgrenze. Dies haben mehrere Messungen der LUBW bestätigt [LUBW 2015].

Im Zusammenhang mit dem Ausbau der Windenergie geäußerte Befürchtungen, diese tieffrequenten Geräusche könnten eine neue gesundheitliche Gefahr für den Menschen darstellen oder schädliche Wirkungen hervorrufen, sind nach den derzeitigen Erkenntnissen unbegründet [LUBW 2013]. Das Umweltbundesamt hat ermittelt, dass bundesweit lediglich 3,3 % aller Beschwerdefälle aufgrund tieffrequenter Geräusche auf Windenergieanlagen zurückgehen [UBA 2014].

Beschwerden über Belästigungen durch Geräusche von bestehenden Windenergieanlagen sind in Baden-Württemberg selten. Im Rahmen der Energiewende wird ein deutlicher Ausbau der Windkraftnutzung angestrebt. Dabei wird in den Planungs- und Genehmigungsverfahren stets auf eine Begrenzung der Lärmimmissionen und die Einhal-

tung der gesetzlichen Vorgaben geachtet. Entsprechende Regelungen finden sich in der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm). Bei richtiger Planung und mit ausreichendem Abstand zur Wohnbebauung lassen sich akustische Beeinträchtigungen durch Windenergieanlagen vermeiden.

## 7.7 Lärm im Wohnumfeld

Lärmende Nachbarn liegen in der Skala der lästigen Lärmquellen weit vorne. In Baden-Württemberg nahmen sie in einer Umfrage die dritte Stelle ein, bundesweit sind sie sogar die zweitlästigste Quelle (Abb. 7.1-1). Auch der Betrieb lärmintensiver Maschinen und Geräte, z. B. im Gartenbereich, ist immer wieder Anlass von Belästigungen und Beschwerden. Hier gilt eine bundesweite Regelung (Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung, 32. BImSchV).

In jüngerer Zeit sind zunehmend nachbarschaftliche Probleme durch den Betrieb von Wärmepumpen und anderen technischen Aggregaten zu verzeichnen. Immer mehr Gebäude werden mit Luft-, Wasser- oder Erdwärmepumpen beheizt. Bei nicht fachgerechter Installation solcher Anlagen können tieftönige Geräusche auftreten, die zu Belästigungen führen. Wenn die Anlagen an der Außenwand oder im Freien aufgestellt sind, kann es vor allem nachts zu Belästigungen der Nachbarschaft kommen. Insbesondere in Neubaugebieten, wo verstärkt solche Anlagen installiert und betrieben werden, können sich durch den Betrieb mehrerer Geräte zudem unerwünschte Summenwirkungen ergeben.

Der Lärm durch Sport- und Freizeitanlagen ist in Baden-Württemberg, verglichen mit den anderen Lärmarten, am wenigsten belästigend. Nur ein bis zwei Prozent der Bevölkerung fühlen sich durch Sport- und Freizeitanlagen „stark“ oder „äußerst stark“ belästigt (vgl. Abb. 7.1-1).

## 7.8 Lärm in Kindergärten und Schulen

Die von Kindergärten und Schulen ausgehenden Geräusche können von Anwohnern als Belästigung empfunden werden. Durch neuere gesetzliche Regelungen den „Kinderlärm“ betreffend wurde festgelegt, dass solche Geräusche im Regelfall nicht als schädliche Umwelteinwirkung einzustufen sind (§ 22 BImSchG).

Andererseits kann der Lärmpegel innerhalb von Schulen und Kindertagesstätten zur Belastung von Kindern, Schülern und dem pädagogischen Personal führen und u. a. auch die kognitiven Leistungen der Schüler inklusive Spracherkennung und Spracherlernung stark beeinträchtigen. Dabei kommt den bau- und raumakustischen Eigenschaften eine besondere Rolle zu. Schon die Durchführung des Unterrichts selbst ist ohne akustische Kommunikation nicht denkbar. Damit diese Kommunikation gelingt, müssen Unterrichtsräume akustisch geeignet sein. Leider ist das in der Praxis häufig nicht der Fall. Das Thema „Lärm in Bildungsstätten“ ist in den letzten Jahren zunehmend in den Blickpunkt des öffentlichen und wissenschaftlichen Interesses getreten. So ergab eine Umfrage unter Lehrkräften, dass sich von 1 000 Befragten mehr als 80 % durch den Lärm in der Schule belastet fühlen [IFA 2004, ISF 2002]. Befragungen in Kindertagesstätten zeigten ein ähnliches Bild. Akustische Messungen bestätigen die hohe Lärmbelastung des Lehrpersonals wie auch akustisch ungünstige, lange Nachhallzeiten in vielen Einrichtungen. In Kindertagesstätten und beim Schulsportunterricht in Hallen wurden Lärmpegel gemessen, bei denen an vergleichbar belasteten industriellen Arbeitsplätzen Gehörschutz bereitzustellen ist. Die in Klassenräumen gemessenen Schallpegel liegen oft weit über den Werten, die für Kommunikation und geistiges Arbeiten anzustreben sind (DIN 4109 Schallschutz im Hochbau und DIN 18041 Hörsamkeit in kleinen und mittelgroßen Räumen). Die LUBW und das Umweltministerium Baden-Württemberg stellten in den vergangenen Jahren weiterführende Materialien zu diesem Thema zusammen und förderten Modellprojekte. Viele weitere Informationen finden sich daher auf den Internetseiten der LUBW unter [www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Lärm > Informationen & Angebote > Für Schulen und Kindertagesstätten. Unter dem Menüpunkt „Raumakustik“ sind die Broschüren „Lärmschutz für kleine Ohren – Leitfaden zur akustischen Gestaltung von Kindertagesstätten“ und „Lärmschutz für kleine Ohren – Modellprojekte zur akustischen Gestaltung von Kindertagesstätten“ verfügbar. Unter dem Menüpunkt „Studien“ sind zudem auf derselben Internetseite die Ergebnisse der Untersuchung „Lärm in der schulischen Umwelt und kognitive Leistungen bei Grundschulkindern“ eingestellt.

# 8 Abfallwirtschaft

## Das Wichtigste in Kürze

In Baden-Württemberg ist das kommunale **Abfallaufkommen** seit 1990 um 62 % zurückgegangen. Das Haus- und Sperrmüllaufkommen reduzierte sich dabei von 269 Kilogramm pro Einwohner und Jahr auf 144 Kilogramm pro Einwohner und Jahr. Im gleichen Zeitraum ist eine deutliche Steigerung der Wertstoffe aus Haushalten von 81 Kilogramm pro Einwohner und Jahr auf ca. 169 Kilogramm pro Einwohner und Jahr zu verzeichnen.

Aus abfallrechtlichen und produktionsbedingten Gründen hat sich das Aufkommen von gefährlichen Abfällen seit 1994 von rund 0,6 Mio. Tonnen auf rund 2,5 Mio. Tonnen im Jahr 2013 vervierfacht. Zwischen 1990 und 2013 ist die abgelagerte kommunale Abfallmenge (ohne Baumassenabfälle) auf Siedlungsabfalldeponien von ca. 5,8 Mio. Tonnen auf knapp 120 000 Tonnen deutlich zurückgegangen. Die **stoffliche Verwertung** hat sich mit 1,8 Mio. Tonnen fast verdoppelt.

Die Menge an biologisch behandelten Abfällen stieg von rund 420 000 Tonnen im Jahr 1990 auf über 1,1 Mio. Tonnen im Jahr 2013. Klärschlämme werden zurzeit zu 94 % verbrannt, die restlichen 6 % werden kompostiert oder auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht.

## 8.1 Abfallaufkommen

Das gesamte Abfallaufkommen in Baden-Württemberg betrug im Jahr 2013 etwa 45,5 Millionen Tonnen (Mio. t), wobei der größte Anteil die Baumassenabfälle sind. Damit ist das gesamte Abfallaufkommen im Vergleich zum Vorjahr um rund 1,2 % gestiegen und liegt in etwa auf demselben Niveau wie in den 1990er Jahren (Abb. 8.1-1).

Im Jahr 2013 fielen in Baden-Württemberg rund 36,0 Mio. t Baumassenabfälle (Bodenaushub, Bauschutt, Straßenaufbruch, andere Bau- und Abbruchabfälle) an, das sind drei Viertel des gesamten Abfallaufkommens (Abb. 8.1-2).

Aus Gründen der Ressourcenschonung und des Erhalts wertvollen Deponieraumes steht die Verwertung von Bauschutt und Bodenaushub im Mittelpunkt einer nachhaltigen Umweltpolitik. Ein Großteil des in Baden-Württemberg

anfallenden Bauschutts und Straßenaufbruchs sowie anderer Bau- und Abbruchabfälle wird bereits verwertet (Abb. 8.1-3). Rund 79 % davon werden in Bauschuttrecycling- und Asphaltmischanlagen aufbereitet, um sie als Sekundärrohstoffe wieder in die Bauwirtschaft einzubringen. Der überwiegende Teil des Bodenaushubs wird im Rahmen von Verfüllmaßnahmen, z. B. in Steinbrüchen, eingesetzt (Abb. 8.1-4).

Das kommunale Abfallaufkommen ist in Baden-Württemberg seit 1990 um 62 % zurückgegangen und betrug im Jahr 2013 nur noch rund 11,9 Mio. t. Den größten Anteil haben auch hier die Baumassenabfälle, obwohl sie von über 22,8 Mio. t im Jahr 1990 auf 6,6 Mio. t im Jahr 2013 zurückgegangen sind. Die kommunalen Baumassenabfälle fallen z. B. bei kleineren Umbaumaßnahmen in den Haushalten

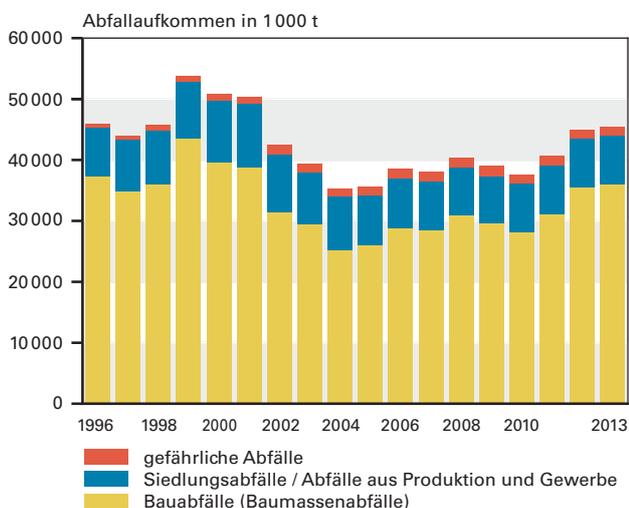


Abb. 8.1-1: Mengenentwicklung des gesamten Abfallaufkommens in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

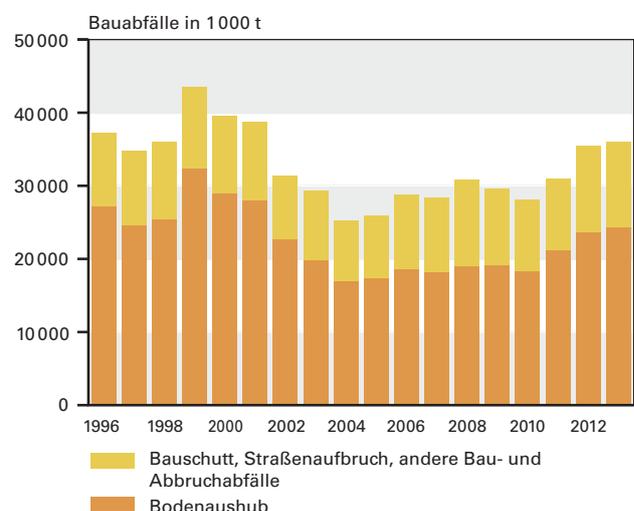
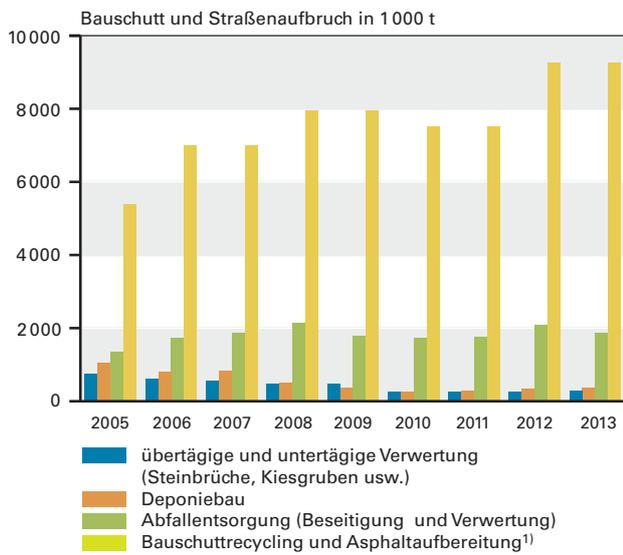


Abb. 8.1-2: Mengenentwicklung der Baumassenabfälle in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.



1) keine Erhebung für 2005, 2007, 2009, 2011 und 2013; Daten des Vorjahres verwendet

Abb. 8.1-3: Entsorgungswege von Bauschutt und Straßenaufbruch in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

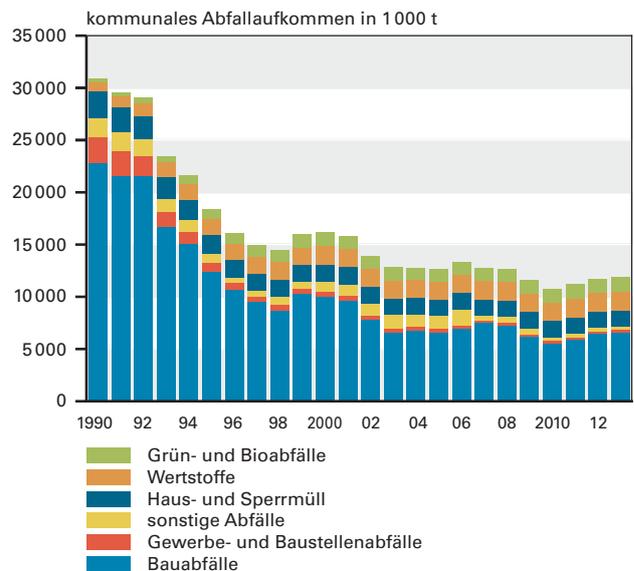


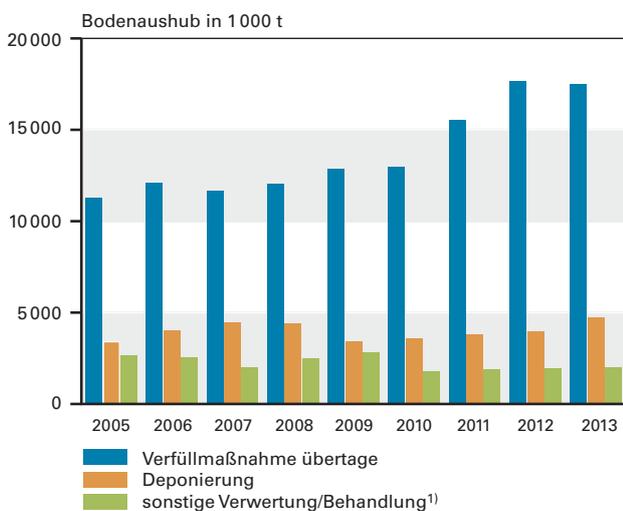
Abb. 8.1-5: Mengenentwicklung des kommunalen Abfallaufkommens in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

der Bürgerinnen und Bürger an und werden den kommunalen Abfallwirtschaftsbetrieben überlassen. Im Gegensatz dazu werden die bei größeren Baumaßnahmen, z. B. bei Firmen, anfallenden Baumassenabfälle ohne Einschaltung der kommunalen Entsorger direkt den Recyclingbetrieben zugeführt.

Auch der Haus- und Sperrmüll hat seit 1990 von 2,6 Mio. t auf etwa 1,5 Mio. t im Jahr 2013 abgenommen. Demgegenüber haben die Grünabfälle und Abfälle aus der Biotonne sowie die Wertstoffe seit 1990 stetig zugenommen (Abb. 8.1-5). Zukünftig sollen Grünabfälle und Abfälle aus der Biotonne im Sinne der Ressourcenwirtschaft in noch größerem Umfang energetisch und stofflich verwertet werden.

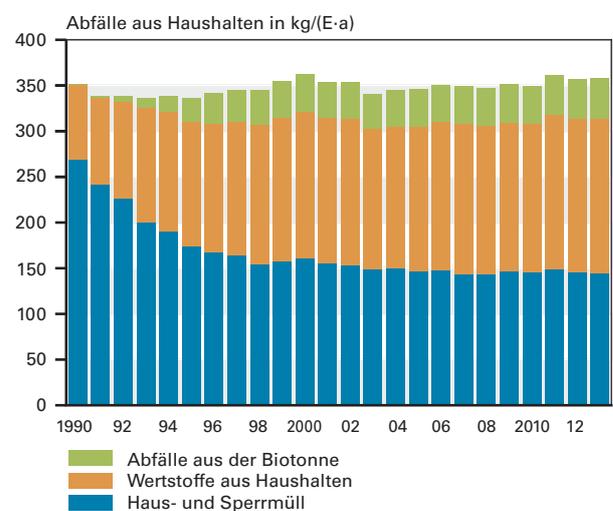
Für Vergleiche bietet sich an, die Abfallmengen normiert in Kilogramm pro Einwohner und Jahr ( $\text{kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ ) anzugeben.

In Baden-Württemberg ist das Haus- und Sperrmüllaufkommen von  $269 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$  im Jahr 1990 auf  $144 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$  im Jahr 2013 zurückgegangen. Herangezogen wird dabei der Einwohnerstand jeweils zum 30. Juni des Jahres. Aufgrund der zunehmenden Getrennsammlung ist dagegen bei Wertstoffen und Abfällen aus der Biotonne eine Zunahme pro Einwohner zu verzeichnen. Die gesamte Pro-Kopf-Menge an Haus- und Sperrmüll, Wertstoffen aus Haushal-



1) für Bauschuttrecycling keine Erhebung für 2005, 2007, 2009, 2011 und 2013; Daten des Vorjahres verwendet

Abb. 8.1-4: Entsorgungswege von Bodenaushub in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.



1990 bis einschließlich 2010 Pro-Kopf-Aufkommen auf Basis Volkszählung 1987, ab 2011 Pro-Kopf-Aufkommen auf Basis Zensus 2011

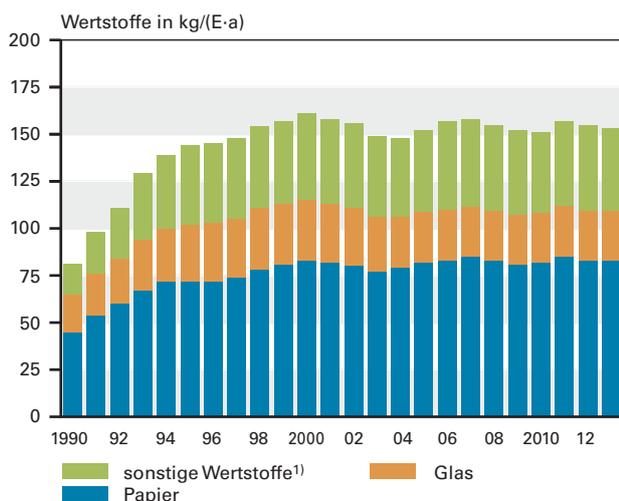
Abb. 8.1-6: Mengenentwicklung von häuslichen Abfällen pro Einwohner in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

ten und Abfällen aus der Biotonne liegt seit 1990 relativ konstant bei etwa 348 kg/(E·a) (Abb. 8.1-6).

Seit 1990 ist bei Papier und Glas sowie bei den sonstigen Wertstoffen, z. B. Kunststoffen, Metallen, Holz, Verbundstoffen und Textilien, eine deutliche Zunahme der getrennt erfassten Wertstoffmengen pro Einwohner zu beobachten (Abb. 8.1-7).

Gefährliche Abfälle (wie z. B. Asbest) weisen Gefährlichkeitsmerkmale auf, die eine potenzielle Gefahr für die Gesundheit und/oder die Umwelt darstellen. Alltagssprachlich werden die gefährlichen Abfälle auch als Sonderabfälle bezeichnet. Das gesamte Aufkommen an gefährlichen Abfällen (einschließlich der Importe) hat sich in Baden-Württemberg seit 1994 von rund 0,6 Mio. t auf rund 2,5 Mio. t im Jahr 2013 vervierfacht (Abb. 8.1-8).

Die Mengenentwicklung der Sonderabfälle wird von einer Reihe von Faktoren beeinflusst. Sie ist sowohl von der wirtschaftlichen Entwicklung im Land als auch von Änderungen im Abfallrecht abhängig. So ist beispielsweise der Anstieg der Sonderabfallmengen zwischen 2001 und 2002 vor allem auf die am 01.01.2002 in Kraft getretene Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) zurückzuführen. Durch die Verordnung wurden einige Abfallarten, die bisher als nicht gefährlich galten, als gefährlich eingestuft und zählen damit zu den Sonderabfällen. Außerdem sind infolge kostengünstiger externer Entsorgungsmöglichkeiten innerbetriebliche Behandlungsanlagen zunehmend unrentabel geworden.



1) sonstige Wertstoffe: Metalle, Kunststoffe, Textilien, Holz, Verbundstoffe, Altfette, Kabel und Teppiche. Metalle einschließlich Schrott aus Kompostierungs-, Müllverbrennungs- (MVA) und mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA). Ab 2006 geändertes Erhebungskonzept, Schrott aus MVA und MBA anteilig aus der anlagenbezogenen Erhebung der Abfallentsorgung (UStatG) ermittelt.  
1990 bis einschließlich 2010 Pro-Kopf-Aufkommen auf Basis Volkszählung 1987, ab 2011 Pro-Kopf-Aufkommen auf Basis Zensus 2011

Abb. 8.1-7: Mengenentwicklung von Wertstoffen pro Einwohner in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

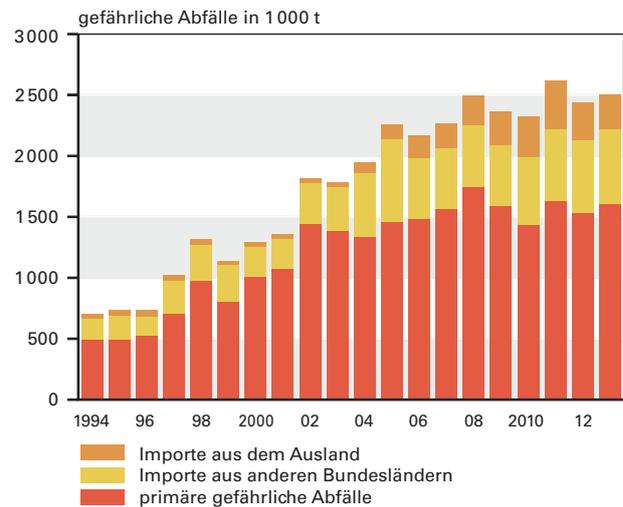


Abb. 8.1-8: Mengenentwicklung der gefährlichen Abfälle in Baden-Württemberg. Quelle: Sonderabfallagentur Baden-Württemberg GmbH.

Betriebe, die ihre erzeugten Abfälle bisher selbst aufbereiteten, stellten vermehrt auf externe Entsorgung um. Dies führte zu einem Anstieg der durch Begleitscheine erfassten Sonderabfallmengen.

## 8.2 Entsorgung von Abfällen

Abfälle müssen vor der Verwertung oder Beseitigung in der Regel aufbereitet bzw. behandelt werden. Hierzu steht eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren zur Verfügung:

- mechanische Behandlung  
(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) und
- thermische Behandlung  
(Abfallverbrennung, Pyrolyse, Vergasung, Mitverbrennung z. B. in Zementöfen und Kohlekraftwerken).

Nicht verwertbare Abfälle müssen letztendlich durch Ablagerung auf Deponien (oberirdische Deponien, Untertagedeponien) beseitigt werden. Enthalten die zu beseitigenden Abfälle organische Bestandteile, so müssen sie vor der Ablagerung thermisch oder mechanisch-biologisch behandelt werden.

Mit der Einführung von Deponieklassen durch die Deponieverordnung mussten die bestehenden Deponien den Deponieklassen entsprechend zugeordnet werden. Boden-

aushub und Bauschuttdeponien wurden den Deponieklassen -0,5, 0 und I zugeordnet. Unter der Deponiekategorie -0,5 sind Deponien zu verstehen, bei denen keine besonderen Anforderungen an die Barrierewirkung des Untergrunds gestellt werden und auf denen deshalb lediglich nicht verunreinigter Bodenaushub abgelagert werden kann. Die ehemaligen Hausmülldeponien wurden in der Deponiekategorie II zusammengefasst.

Ein deutlicher Wandel in den Entsorgungswegen ist vor allem bei der Ablagerung von Abfällen auf ehemaligen Hausmülldeponien festzustellen. Von 1990 bis 2013 ging die abgelagerte kommunale Abfallmenge (ohne Baumassenabfälle) von knapp 5,8 Mio. t auf knapp 120 000 t zurück. Im gleichen Zeitraum hat sich die stoffliche Verwertung fast verdoppelt und betrug im Jahr 2013 rund 1,8 Mio. t. Eine ähnliche Entwicklung ist bei der biologischen Behandlung zu beobachten. Die Menge der biologisch behandelten Abfälle, insbesondere durch Aufbereitung zu Kompost, stieg von ca. 420 000 t im Jahr 1990 auf rund 1,1 Mio. t im Jahr 2013 an und hat sich somit nahezu verdreifacht. Die Menge der thermisch und mechanisch-biologisch behandelten Abfälle nahm von rund 820 000 t im Jahr 1990 auf über 2 Mio. t im Jahr 2013 zu. Dieser vor allem seit 2004 zu verzeichnende Anstieg ist auf das seit dem 01.06.2005 geltende Ablagerungsverbot für Abfälle, die organische Bestandteile enthalten, zurückzuführen (Abb. 8.2-1).

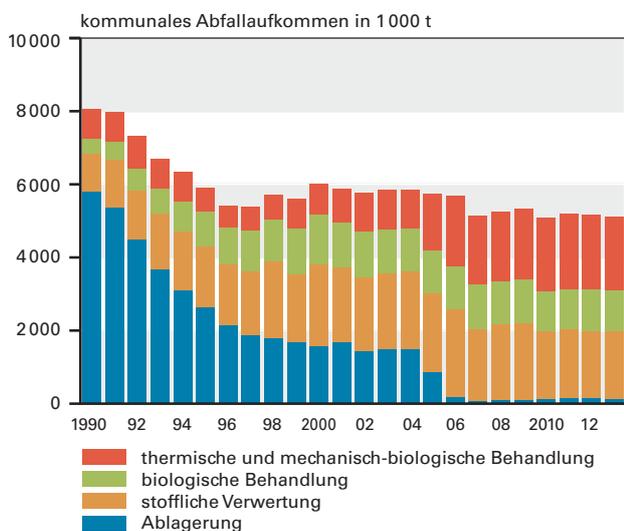


Abb. 8.2-1: Mengenentwicklung des kommunalen Abfallaufkommens (ohne Baumassenabfälle, ohne Problemstoffe, ohne Elektroaltgeräte) nach Art der Entsorgung. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

### 8.2.1 Entsorgung von Klärschlamm

Auch der in den rund 960 kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg anfallende Klärschlamm zählt zur Gruppe der Siedlungsabfälle. Im Jahr 2013 fielen bei der Abwasserreinigung rund 240 000 t Klärschlamm (Trockenmasse) an. Davon wurden 225 000 t energetisch und 15 000 t stofflich verwertet (z. B. Landwirtschaft, Landschaftsbau, Kompostierung). Die Deponierung von Klärschlamm ist seit dem 01.06.2005 abfallrechtlich nicht mehr möglich. In Baden-Württemberg wird Klärschlamm in erster Linie energetisch verwertet. Damit geht die Verwertung des Klärschlammes in der Landwirtschaft oder im Landschaftsbau immer mehr zurück. Dieser Trend zur energetischen Verwertung von Klärschlamm ist seit Ende der 1990er Jahre zu erkennen (Abb. 8.2-2).

### 8.2.2 Entsorgungsanlagen in Baden-Württemberg

In Baden-Württemberg gibt es eine Vielzahl von Anlagen, in denen Abfälle aufbereitet oder behandelt werden. Die Anlagen können in folgende Typen unterteilt werden:

- biologische Behandlungsanlagen für Bio- und Grünabfälle,
- chemisch-physikalische Behandlungsanlagen,
- mechanisch-physikalische Behandlungsanlagen (Sortier- und Zerlegeanlagen, Stoffstromanlagen),
- mechanisch-biologische Behandlungsanlagen für Restabfälle und
- thermische Restabfallbehandlungsanlagen.

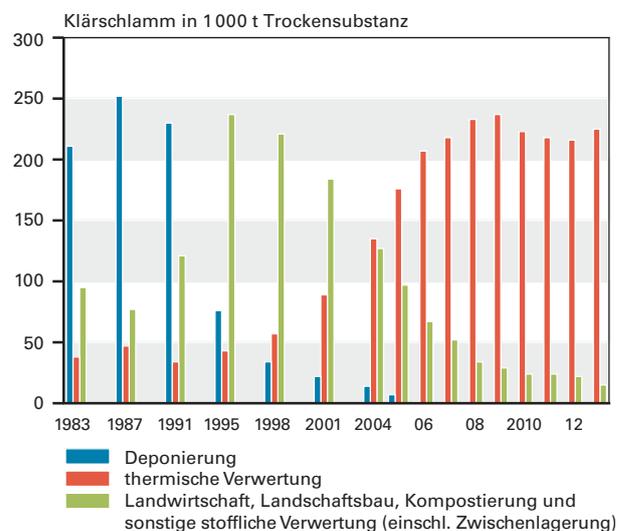


Abb. 8.2-2: Entsorgung von Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen mit Standort in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

Die einzige mechanisch-biologische Behandlungsanlage zur Aufbereitung von Restabfällen in Baden-Württemberg wird auf der Deponie Kahlenberg im Ortenaukreis betrieben.

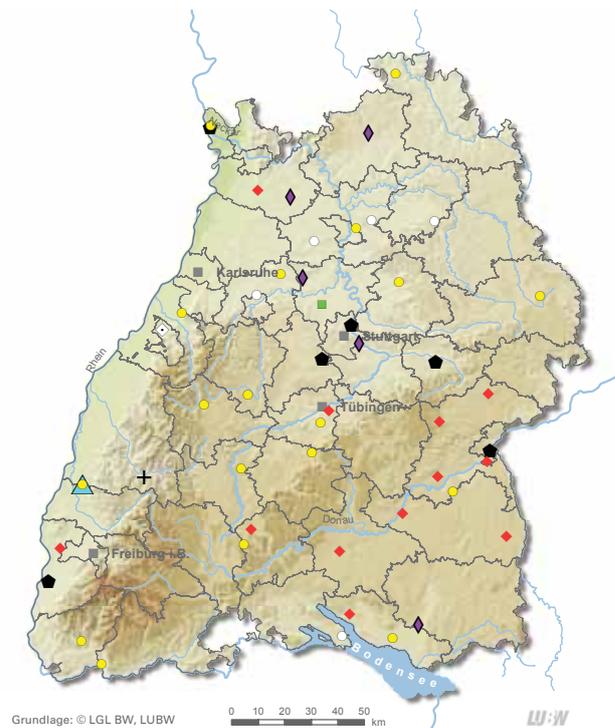
Die in Baden-Württemberg im Jahr 2013 betriebenen 80 Kompostierungsanlagen, 9 Bioabfallvergärungsanlagen und 88 Sortieranlagen sowie Zerlegeeinrichtungen für Elektronikschrott sind über das ganze Land verteilt.

Außerdem gibt es rund 320 Deponien für Baumassenabfälle, 23 Hausmülldeponien, eine Untertagedeponie in Heilbronn, zwei Versatzbergwerke in Bad Friedrichshall-Kochendorf und Haigerloch-Stetten sowie eine Sonderabfalldeponie in Billigheim (Neckar-Odenwald-Kreis).

Abbildung 8.2-3 zeigt die Lage der sechs thermischen Restabfallbehandlungsanlagen, der 13 sogenannten Stoffstromanlagen, die der Herstellung von Abfallfraktionen aus Gewerbeabfällen für die stoffliche und energetische Verwertung dienen, sowie der 23 ehemaligen Hausmülldeponien in Baden-Württemberg.

Die abnehmende Bedeutung der Deponien für die Beseitigung von Hausmüll in Baden-Württemberg sieht man nicht nur an den rückläufigen auf Hausmülldeponien abgelagerten Abfallmengen, sondern auch am Rückgang der Anzahl der in Betrieb befindlichen Hausmülldeponien. So verringerte sich die Zahl der in der Ablagerungsphase befindlichen Deponien der Klasse DK II (i.d.R. ehemaligen Hausmülldeponien) in Baden-Württemberg von 48 im Jahr 2001 auf 23 im Jahr 2013.

Langfristig könnten noch weniger Deponien in Baden-Württemberg für die Entsorgungssicherheit ausreichen.



#### Deponien und Restabfallbehandlungsanlagen

##### Deponiestandort

(Weiterbetrieb der ehemaligen Hausmülldeponien)

- DK 0
- ◇ DK I
- ◆ DK II/I
- DK II
- Mineralstoffdeponie DK I mit anteiligem Bereich DK II
- ◆ Deponien bzw. Deponieabschnitte DK I
- + vorübergehend stillgelegt
- thermische Abfallbehandlungsanlagen
- ▲ mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen

Abb. 8.2-3: Deponien und Restabfallbehandlungsanlagen in Baden-Württemberg. DK: Deponieklasse. Stand: 2013

# 9 Radioaktivität

## Das Wichtigste in Kürze

Die auf **Kernkraftwerke bezogene Überwachung der Radioaktivität** in Baden-Württemberg umfasst Emissionsmessungen der Betreiber und Immissionsmessungen durch die unabhängige Messinstitution LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.

Für die Bevölkerung in Baden-Württemberg kann aufgrund der ermittelten Radioaktivitätsgehalte in den überwachten Medien eine unzulässige Strahlenbelastung durch den Betrieb der überwachten kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

In den Immissionsmessergebnissen spiegeln sich nur noch schwach die langlebigen Nuklide der früheren oberirdischen Kernwaffenversuche (1960er Jahre) und des Reaktorunfalls von Tschernobyl (1986) wider. In Einzelfällen waren Spuren der zulässigen Ableitungen aus dem Betrieb der Anlagen im aquatischen Bereich nachweisbar. Die Werte liegen in unbedenklichen Größenordnungen und sind für die Strahlenexposition der Bevölkerung bedeutungslos. Die Messwerte der Gamma-Ortsdosis liegen im Bereich der durch natürliche Radioaktivität bedingten Untergrundstrahlung. Für die **Strahlenbelastung der Menschen** spielt die Röntgendiagnostik die weitaus größte Rolle.

Die auf der Erde vorkommenden chemischen Elemente weisen zu einem kleinen Anteil instabile Atomkerne auf. Ihre Kerne wandeln sich durch radioaktiven Zerfall um und senden hierbei energiereiche Strahlung aus. Charakteristische Größen sind die Strahlungsart (Abb. 9-1) und die Halbwertszeit.

Einige natürlich vorkommende Radionuklide, z. B. Uran-238, Thorium-232 und Kalium-40, haben Halbwertszeiten in der Größenordnung des Erdalters. Uran-238 und Thorium-232 sind Ausgangsnuklide von Zerfallsreihen mit zahlreichen weiteren natürlichen Radionukliden wie dem radioaktiven Edelgas Radon. Zusätzlich werden durch die Wechselwirkung der kosmischen Strahlung mit der uns umgebenden Luftschicht Radionuklide wie Krypton-85, Beryllium-7 oder Tritium ständig neu erzeugt. Durch die Aufnahme solcher natürlichen Radionuklide mit der Atemluft oder der Nahrung kommt es neben der äußeren auch zu einer inneren Strahlenexposition des Menschen.

Von den zahlreichen künstlich erzeugten Radionukliden haben nur wenige mit langen Halbwertszeiten oder hoher Radiotoxizität für die Belastung von Mensch und Umwelt praktische Bedeutung. Entscheidend für den Strahlenschutz des Menschen ist die biologische Wirkung, die die ionisierende Strahlung im Organismus hervorruft. Sie wird als Dosis bezeichnet. Um die verschiedenen Einwirkungsmöglichkeiten, z. B. Ganz- oder nur Teilkörperbestrahlung, äußere oder innere Exposition oder die Wirkungsunterschiede zwischen den Strahlungsarten vergleichbar zu machen, wird sie als „effektive Dosis“, gemessen in Sievert (Sv, mSv oder  $\mu\text{Sv}$ ), angegeben (Abb. 9-2).

Baden-Württemberg betreibt ein komplexes System zur Überwachung der Radioaktivität. Das Hauptaugenmerk richtet sich auf die kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen im Land an den Standorten Philippsburg, Neckarwestheim, Obrigheim und Karlsruhe. Immissionsseitig werden zudem die den grenznahen ausländischen Kern-

Strahlenart		maximale Reichweite in Luft	in Gewebe
Alpha-Strahlen	 Heliumkern	bis 12 cm	bis 0,15 mm
Beta-Strahlen	 Elektron	bis 15 m	bis 2 cm
Gamma-Strahlen		35 -100 m Schwächung auf die Hälfte	5 -15 cm

*LU:W*

Abb. 9-1: Strahlungsarten und ihre Eigenschaften.

Ursache <b>Radioaktivität</b>	Folge <b>Strahlung</b>	Wirkung <b>Dosis</b>
Zahl der pro Sekunde zerfallenden Atomkerne	Alpha-, Beta- und Gammastrahlung, Neutronenstrahlung	Energieabgabe im Gewebe, Zellschädigung
Maßeinheit: Becquerel (Bq)		Maßeinheit: Sievert (Sv)

*LU:W*

Abb. 9-2: Radiologische Zusammenhänge.

kraftwerken Fessenheim (Frankreich) und Leibstadt (Schweiz) gegenüberliegenden Regionen im Land überwacht. Neben dieser anlagenbezogenen Radioaktivitätsüberwachung werden auch im übrigen Landesgebiet sowohl der Strahlenpegel gemessen als auch Proben verschiedener Umweltmedien und Nahrungsmittel regelmäßig auf ihre Radioaktivitätsgehalte untersucht. Die Einrichtungen zur Online-Messung des Strahlenpegels (Gamma-Ortsdosisleistung) und zur nuklidspezifischen Messung der Radioaktivität in Schwebstoffen der Luft (Radioaerosole) bilden zusammen mit der Kernreaktor-Fernüberwachung (KFÜ) zudem einen sensiblen Warndienst.

## 9.1 Anlagenbezogene Emissionsüberwachung

Der Betrieb kerntechnischer Anlagen und der Umgang mit radioaktiven Stoffen führen in vielen Fällen zu Ableitungen radioaktiver Stoffe über Luft oder Wasser in die Umwelt. Die maximal zulässigen Emissionen eines Kernkraftwerkes sind in einem System aus Tages-, Halbjahres- und Ganzjahreswerten umfassend geregelt (vgl. Abb. 11.1-3). Für die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen sind die Vorgaben des § 47 der Strahlenschutzverordnung einzuhalten. Demnach darf die Strahlenexposition einer Einzelperson durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser eine effektive Dosis von je 0,3 mSv im Kalenderjahr nicht überschreiten. Die Summe der Strahlenexposition aus Ableitungen und Direktstrahlung darf nach § 46 Strahlenschutzverordnung nicht mehr als 1 mSv betragen. Bei der Bestimmung der zulässigen Ableitungswerte der verschiedenen Expositionspfade wird Sorge getragen, dass die Strahlenexposition einer Referenzperson auch unter ungünstigsten Umständen unterhalb dieser Grenzwerte bleibt.

Die tatsächlichen Ableitungen liegen weit unterhalb der zulässigen Ableitungen. Die durch die Ableitungen bedingte Strahlenexposition der Bevölkerung liegt mit weniger als 0,01 Millisievert pro Jahr (mSv/a) im Bereich weniger Promille der durchschnittlichen Strahlenexposition von 2 bis 4 mSv/a (vgl. Abb. 9.4-2).

Die abgeleiteten Aktivitätsmengen werden kontrolliert und nach Nuklidgruppen getrennt bilanziert. Überwacht werden die Kernkraftwerke Neckarwestheim (GKN I und GKN II) und Philippsburg (KKP 1 und KKP 2) sowie das

Kernkraftwerk Obrigheim (KWO), darüber hinaus auch die Einrichtungen auf dem Gelände des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT Campus Nord, KIT-CN; vormals Forschungszentrum Karlsruhe). Die Anlagen und die Standorte werden auch nach Ende des Leistungsbetriebs (KWO, GKN I, KKP 1) weiter überwacht.

### 9.1.1 Abgaben mit der Abluft

Bei kerntechnischen Anlagen wird grundsätzlich die gesamte fortzuleitende Abluft über den Kamin abgeleitet und überwacht. In den Abbildungen 9.1-1 bis 9.1-3 sind die Emissionen der Nuklidgruppe Edelgase, die Emissionen

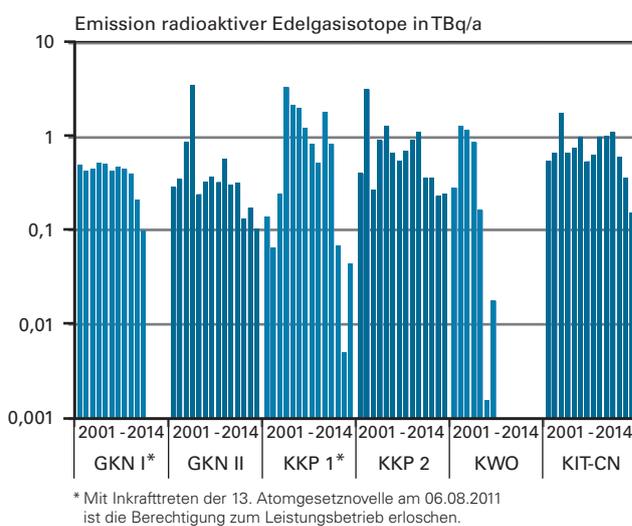


Abb. 9.1-1: Emissionen radioaktiver Edelgasisotope mit der Abluft. GKN: Kraftwerke Neckarwestheim; KKP: Kraftwerke Philippsburg; KWO: Kraftwerk Obrigheim; KIT-CN: Karlsruher Institut für Technologie, Campus Nord. Quelle: IMIS; Betreiberdaten 2015.

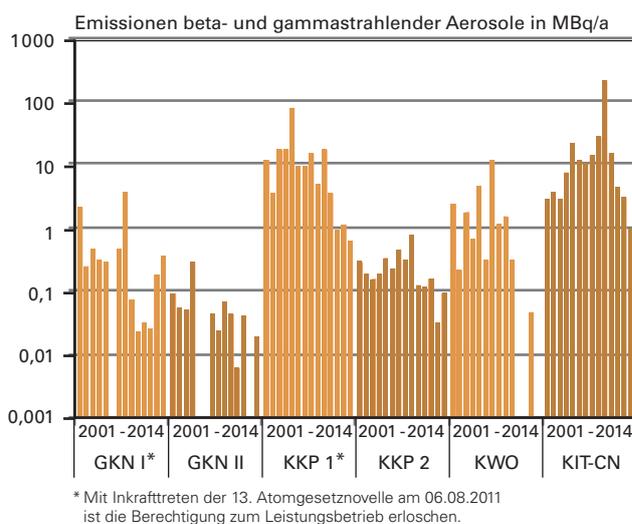


Abb. 9.1-2: Emissionen beta- und gammastrahlender Aerosole mit der Abluft (GKN 2005/06 unterhalb der Erkennungsgrenze). GKN: Kraftwerke Neckarwestheim; KKP: Kraftwerke Philippsburg; KWO: Kraftwerk Obrigheim; KIT-CN: Karlsruher Institut für Technologie, Campus Nord. Quelle: IMIS; Betreiberdaten 2015.

beta- und gammastrahlender Aerosole sowie die Tritiumemissionen (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 Strahlenbelastung, die durch das natürliche radioaktive Edelgas Radon bedingt ist.

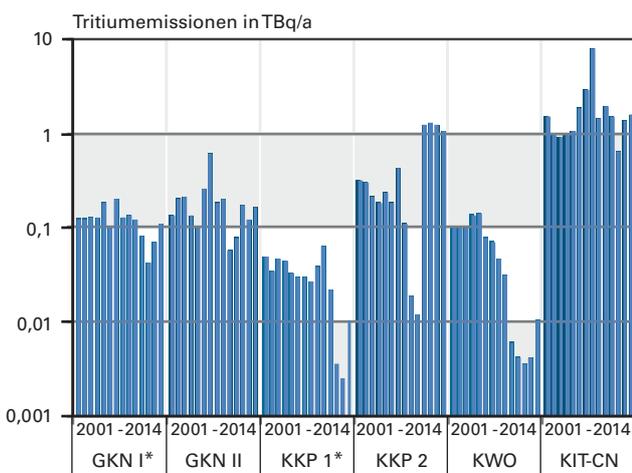
Die beta- und gammastrahlenden Aerosole können die unterschiedlichsten Spaltprodukte enthalten, z. B. Cäsium-137 oder Strontium-90. Bei Spaltprodukten handelt es sich um Nuklide, die durch Spaltung oder nachfolgenden radioaktiven Zerfall der durch Spaltung direkt entstandenen Nuklide entstehen. Bildet sich dagegen im Neutronenfluss aus inaktivem Material ein radioaktiver Stoff wie z. B. Kobalt-60, spricht man von Aktivierungsprodukten. Bei Kernkraftwerken treten Emissionen von Spalt- und Aktivierungsprodukten vorwiegend während der Revision

auf. Beim KIT-CN 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. Siedewasserreaktoren wie KKP 1 geben typbedingt weniger Tritium mit der Fortluft ab als Druckwasserreaktoren (Abb. 9.1-3). Die Emissionen der Kernkraftwerke korrelieren in etwa mit der jeweiligen jährlichen Betriebsdauer.

### 9.1.2 Abgaben mit dem Abwasser

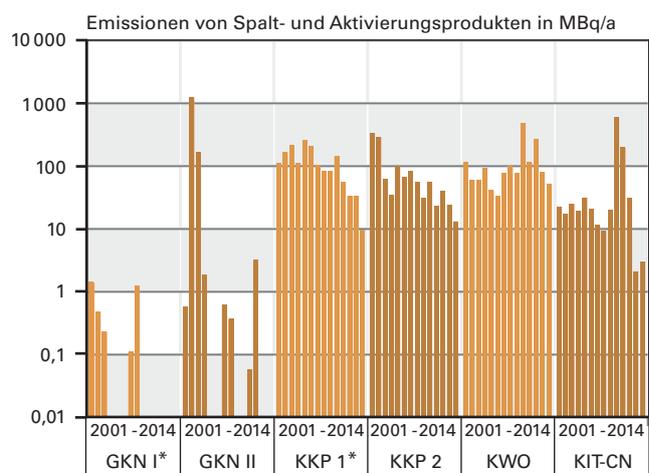
Bei kerntechnischen Anlagen wird auch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser überwacht und bilanziert. In den Abbildungen 9.1-4 und 9.1-5 sind die Ableitungen der Nuklidgruppe der beta- und gammastrahlenden Radionuklide sowie von Tritium dargestellt. Edelgase spielen beim Abwasser keine Rolle.

Die beta- bzw. gammastrahlenden Radionuklide im Abwasser entstehen einerseits bei den Spaltvorgängen im Kernbrennstoff und andererseits durch Aktivierung von Wand- und Strukturmaterialien. Diese Spalt- und Korrosionsprodukte gelangen zum einen mittels Diffusion durch die Brennstabhüllrohre und zum anderen durch den korrosionsbedingten Materialabtrag in das Wasser des Primärkreislaufes und von dort in Spuren nach außen. Das Auftreten künstlicher Radionuklide im Abwasser hängt



\* Mit Inkrafttreten der 13. Atomgesetznovelle am 06.08.2011 ist die Berechtigung zum Leistungsbetrieb erloschen.

Abb. 9.1-3: Tritiumemissionen mit der Abluft. GKN: Kraftwerke Neckarwestheim; KKP: Kraftwerke Philippsburg; KWO: Kraftwerk Obrigheim; KIT-CN: Karlsruher Institut für Technologie, Campus Nord. Quelle: IMIS, Betreiberdaten 2015.



\* Mit Inkrafttreten der 13. Atomgesetznovelle am 06.08.2011 ist die Berechtigung zum Leistungsbetrieb erloschen.

Abb. 9.1-4: Emissionen von Beta-/Gammastrahlern mit dem Abwasser. GKN: Kraftwerke Neckarwestheim; KKP: Kraftwerke Philippsburg; KWO: Kraftwerk Obrigheim; KIT-CN: Karlsruher Institut für Technologie, Campus Nord. Quelle: IMIS, Betreiberdaten 2015.



men. Das langfristig gemessene Jahresmittel der Krypton-85-Aktivität erhöhte sich in den vergangenen 30 Jahren in unseren Breitengraden von 0,6 Becquerel pro Kubikmeter ( $\text{Bq/m}^3$ ) auf über 1,5  $\text{Bq/m}^3$ . Dies entspricht dem globalen Trend und zeigt, dass die Freisetzungsraten für Krypton-85 weltweit größer sind als seine radioaktive Zerfallsrate. Radiologisch sind Krypton-85 und Xenon-133 in den beobachteten Aktivitätskonzentrationen ohne Bedeutung. Luftgetragene, nicht gasförmige radioaktive Stoffe werden mit Niederschlägen in den Boden ausgewaschen und dort entweder eingelagert, von der Vegetation aufgenommen oder mit Grund- oder Oberflächenwasser abgeführt.

### 9.3.2 Wasser

In allen Wasserproben sind stets Spuren von Tritium enthalten. Es entsteht sowohl auf natürlichem Weg durch die kosmische Höhenstrahlung als auch künstlich durch technische Prozesse. Aufgrund der früheren Kernwaffentests liegt der Tritiumgehalt oberflächennaher Gewässer bei etwa 2 Becquerel pro Liter ( $\text{Bq/l}$ ) bis 4  $\text{Bq/l}$ . Ohne Einfluss des Menschen läge er, wie bei sehr alten Tiefenwässern, bei unter 1  $\text{Bq/l}$ . Bei den oberirdischen Fließgewässern konnten so gut wie keine im Wasser gelösten künstlichen Radionuklide nachgewiesen werden. Allerdings transportieren Bäche und Flüsse auch mehr oder weniger feine Schwebstoffe, an denen sich radioaktive Stoffe anlagern können und die auf dem Gewässerboden als Sediment abgelagert werden. In den stromabwärts von kerntechnischen Anlagen gelegenen Flussabschnitten sind künstliche Radionuklide in den Sedimenten nachweisbar. Den Hauptanteil hat jedoch das Nuklid Cäsium-137, das vorwiegend aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl stammt. Bei Kobalt-60 und Cäsium-134 sind die Nachweisgrenzen in den meisten Fällen unterschritten. Jod-131 wird vereinzelt nachgewiesen, teilweise bedingt durch Einträge aus der Nuklearmedizin. Die ermittelten Werte schwanken zwischen weniger als 1  $\text{Bq/kg}$  und knapp 30  $\text{Bq/kg}$  Trockenmasse (TM). Das natürlich vorkommende Kalium-40 findet man dagegen regelmäßig in Konzentrationen von mehreren hundert  $\text{Bq/kg}$  TM.

In den untersuchten Trink- und Grundwässern konnten außer gelegentlichen Spuren von Strontium-90 (zwischen 0,001  $\text{Bq/l}$  und 0,01  $\text{Bq/l}$ ) keine künstlichen beta- oder gammastrahlenden radioaktiven Inhaltsstoffe nachgewiesen werden. Die Strontiumkonzentrationen liegen unter-

halb der Gehalte, die an natürlichen Radionukliden anzutreffen sind: Trinkwasser weist in Deutschland Kalium-40-Konzentrationen um die 0,2  $\text{Bq/l}$  und Radium-226-Konzentrationen um die 0,004  $\text{Bq/l}$  auf. Werden Wässer als Trinkwasser aufbereitet oder verwendet, so schreibt die Trinkwasserverordnung die Einhaltung eines Dosisgrenzwertes von maximal 0,1  $\text{mSv/a}$  infolge Trinkwasserkonsums vor. Die zulässige Tritiumaktivität beträgt 100  $\text{Bq/l}$ . Der Gehalt an natürlich vorkommendem Uran im Trinkwasser ist mit 10  $\mu\text{g/l}$  begrenzt. Er wird nicht als Aktivitätswert, sondern als Massenkonzentration vorgegeben und ermittelt, weil die Radiotoxizität (Schädigung durch Strahlung) des Urans von untergeordneter Bedeutung gegenüber der chemischen Toxizität als Schwermetall ist.

### 9.3.3 Boden

Nahezu alle radioaktiven Stoffe, die heute bei den Untersuchungen von Pflanzen, Tieren und Menschen gefunden werden, stammen aus dem Boden. Überwiegend sind dies natürliche radioaktive Stoffe. Von den künstlichen Radionukliden stammt der überwiegende Teil, das Strontium-90 und ein Teil des Cäsiums-137, aus früheren Kernwaffentests. Das übrige Cäsium-137 ist dagegen auf den Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahr 1986 zurückzuführen. Die auf dem Boden abgelagerte Aktivität ist durch den radioaktiven Zerfall von Cäsium-137 (Halbwertszeit: 30,2 Jahre) bis 2015 erst auf rund 51 % 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 Cäsiumaktivitätswerte auf. Innerhalb von Baden-Württemberg streuen sie jedoch stark, entsprechend dem damaligen Eintrag und der späteren Verlagerung in andere Bodenschichten. Das Cäsium-137 befindet sich auch heute noch im Wesentlichen im Wurzelbereich der Pflanzen. In Waldböden ist es aufgrund eines hohen Humusanteils noch gut für Waldpflanzen wie Farne, Brombeeren oder Pilze verfügbar.

### 9.3.4 Nahrungsmittel

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. Einige Pilzarten, wie bei-

spielsweise Maronenröhrlinge, nehmen Cäsium besonders gut auf, ähnlich verhalten sich Semmelstoppelpilze, Ockertäublinge, Perlpilze, graublättrige Schwefelköpfe oder Habichtspilze. Andere, wie der Safranschirmling oder verschiedene Champignonarten, enthalten dagegen trotz exponierter Böden nur wenig Cäsium-137. Neben diesen artspezifischen Eigenschaften hängt die Cäsiumbelastung auch stark von der Höhe der örtlichen Bodenkontamination und der Bodenart ab. Nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl war die Region Oberschwaben durch örtliche Niederschläge höher belastet als andere Regionen. Deshalb findet man dort auch heute noch relativ hohe Cäsiumbelastungen in Pilzen.

In Hirschtrüffeln, nicht essbaren Pilzen, die unterirdisch in der Humusschicht des Fichtenwaldbodens wachsen, reichert sich das Cäsium-137 besonders an. Zur Nahrungsergänzung werden Hirschtrüffel von Wildschweinen ausgegraben und aufgenommen. Deren Fleisch kann dann in Einzelfällen Aktivitätskonzentrationen durch Cäsium-137 von bis zu einigen 1000 Becquerel pro Kilogramm (Bq/kg) Fleisch aufweisen. Um sicherzustellen, dass kein Wildschweinfleisch mit mehr als 600 Bq/kg Cäsium-137 in den Handel gelangt, wurde in Baden-Württemberg ein verstärktes Überwachungsprogramm aufgelegt. Danach muss in Gemeinden, die als belastet ausgewiesen sind, jedes erlegte Wildschwein vor seiner Vermarktung auf Radioak-

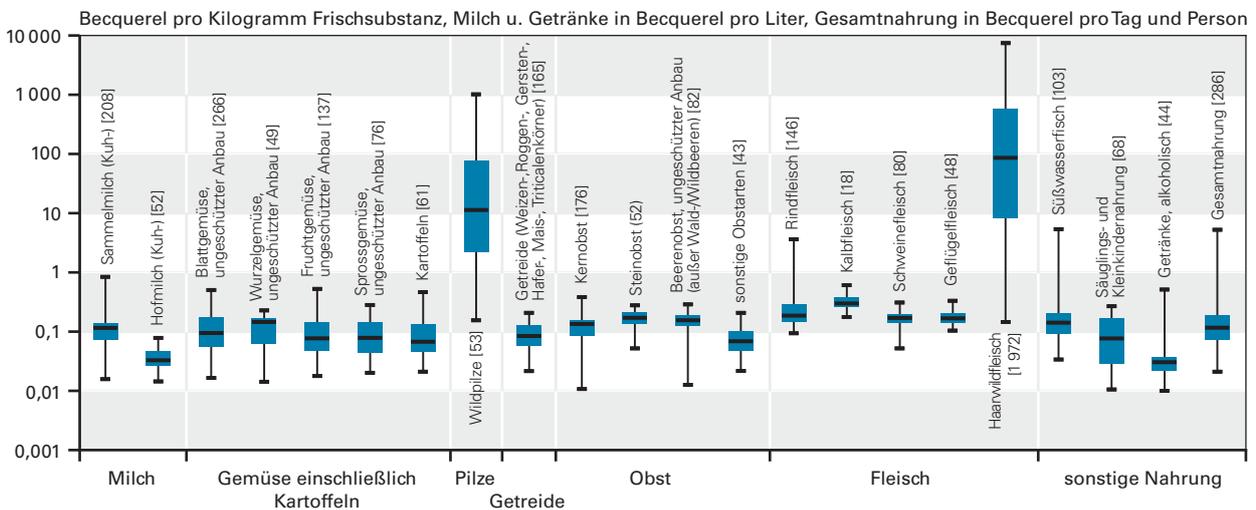


Abb. 9.3-1: Cäsium-137 in Nahrungsmitteln in Baden-Württemberg 2012 bis 2014. Die medienspezifische Zahl der Proben ist jeweils in Klammern vermerkt. Gesamtzahl der Messungen: 4 185. Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz.

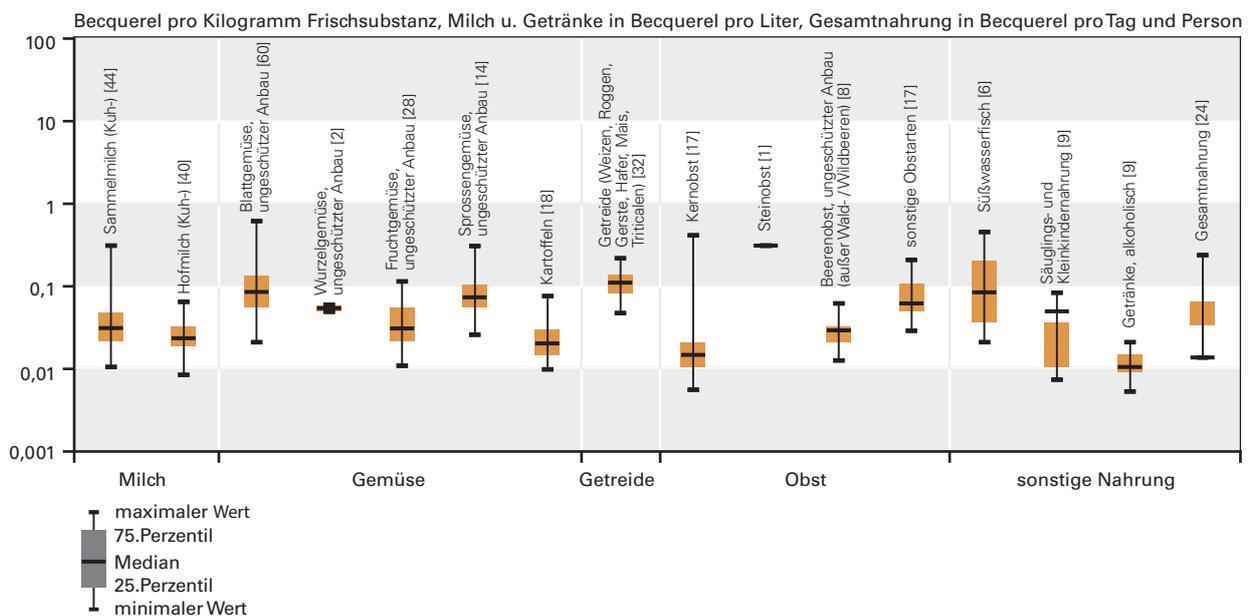


Abb. 9.3-2: Strontium-90 in Nahrungsmitteln 2012 bis 2014 in Baden-Württemberg. Die medienspezifische Zahl der Proben ist jeweils in Klammern vermerkt. Gesamtzahl der Messungen: 329. Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz.

tivität durch Eigenkontrollmessstellen der Jägerschaft untersucht werden. Das Chemische und Veterinäruntersuchungsamt (CVUA) Freiburg bereitet die Ergebnisdaten zentral für Baden-Württemberg auf ([www.ua-bw.de](http://www.ua-bw.de) > CVUA Freiburg > Radioaktivität > Cs-137 in Wild).

Im Jagdjahr 2012/13 betrug der gemessene Spitzenwert ca. 13 000 Bq/kg Cäsium-137, im Jagdjahr 2013/14 lag er bei nur 6 940 Bq/kg, jeweils bei einem Wildschwein aus dem Kreis Biberach. Bei Rehwild ist die Grenze für die Verzehrfähigkeit von 600 Bq/kg inzwischen regelmäßig unterschritten. Die Aktivitätsgehalte werden völlig unbedeutend, sobald die Rehe und Wildschweine mit unkontaminierter Nahrung gefüttert wurden, z. B. bei Haltung im Gehege.

Radiologisch betrachtet führt ein mäßiger Verzehr von belasteten Pilzen oder Wildfleisch zu keiner gesundheitlich relevanten Strahlenbelastung.

Insgesamt ist die Belastung der Lebensmittel mit künstlichen Radionukliden so gering, dass in der überwiegenden Zahl der landwirtschaftlichen Produkte die künstlichen Radionuklide mit den üblichen Routinemessungen nicht nachweisbar sind, wie die Abbildungen 9.3-1 und 9.3-2 verdeutlichen.

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 mSv entspricht. Die Strahlenexposition durch den Verzehr von Nahrungsmitteln hängt aber vom individuellen Ernährungsverhalten ab.

## 9.4 Strahlenexposition des Menschen

### 9.4.1 Strahlenexposition der Bevölkerung

Die in der Atemluft, dem Trinkwasser und in der Nahrung befindlichen Radionuklide bewirken, dass auch der menschliche Körper Radioaktivität aufweist. Die seit 1961 in Karlsruhe durchgeführten Messungen zeigen für Cäsium-137 einen durch die beiden für die Strahlenbelastung bedeutsamen Ereignisse, die oberirdischen Kernwaffentests und den Reaktorunfall in Tschernobyl, geprägten Verlauf (Abb. 9.4-1). Dabei war die Körperaktivität durch das Cäsium-137, das von den früheren Kernwaffentests verursacht wurde, im Karlsruher Raum deutlich größer als die

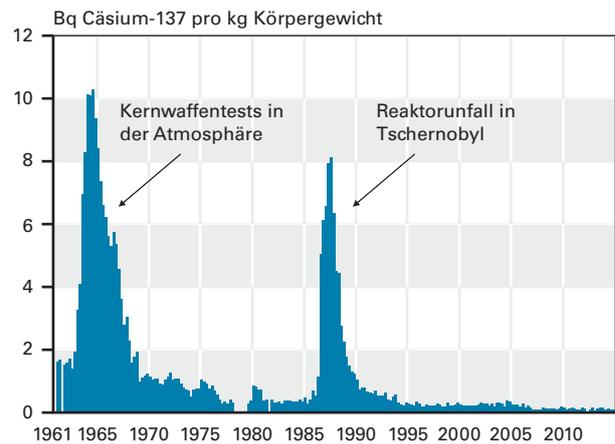


Abb. 9.4-1: Spezifische Aktivität von Cäsium-137 im menschlichen Körper im Raum Karlsruhe. Quelle: KIT 2015.

durch den Reaktorunfall in Tschernobyl verursachte Körperaktivität. Die Havarie mehrerer japanischer Kernkraftwerke infolge der Tsunamikatastrophe in Fukushima im März 2011 verursachte dagegen bis heute in ganz Europa keine nachweisbare Strahlenexposition. Die aktuellen Werte für Cäsium-137 sind deutlich niedriger als 1 Bq/kg Körpergewicht. Die durch natürliches Kalium-40 bedingte Aktivität des menschlichen Körpers liegt mit etwa 50 bis 70 Bq/kg Körpergewicht durchgehend sehr viel höher. 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 (Abb. 9.4-2). Im Mittel kommen 1,1 mSv/a allein durch die Inhalation von Radon und seiner Zerfallsprodukte in

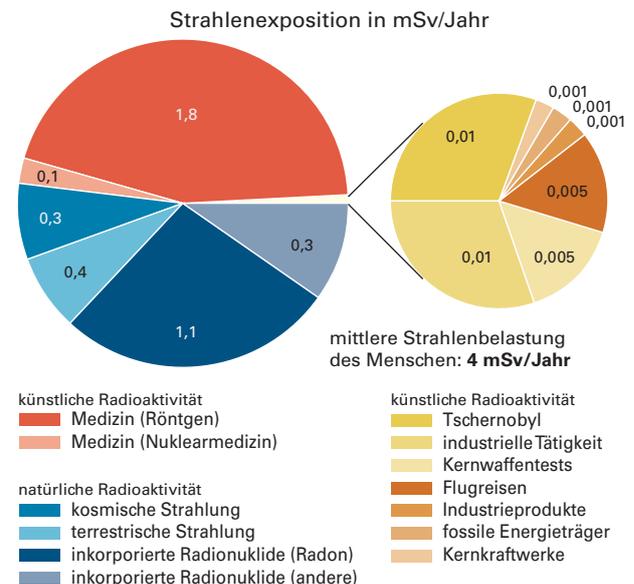


Abb. 9.4-2: Beiträge zur mittleren effektiven Jahresdosis der Bevölkerung. Datenquelle: LUBW, BfS, [KOELZER 2013].

Wohngebäuden zustande, wenn diese auf entsprechendem Untergrund stehen, das Radongas durch Porositäten der Bodenplatte diffundieren kann und Keller und Wohnraum schlecht durchlüftet sind. Verstärktes Lüften kann hier bereits eine deutliche Minderung bewirken. Die gesamte mittlere effektive Dosis durch die natürliche Strahlenexposition beträgt in Deutschland 2,1 mSv/a.

Die gesamte mittlere effektive Dosis aus zivilisatorisch erhöhter Strahlenexposition liegt in Deutschland bei 1,9 mSv/a. Von allen Anwendungsgebieten ionisierender Strahlen liefert die Röntgendiagnostik mit etwa 1,8 mSv/a den bei weitem größten Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung. Der Beitrag der verschiedenen nuklearmedizinischen Untersuchungen ist mit 0,12 mSv/a mittlerer effektiver Dosis dagegen schon vergleichsweise gering. Weitere Dosisbeiträge aus anderen zivilisatorischen Strahlenexpositionen sind demgegenüber faktisch zu vernachlässigen (Abb. 9.4-2). Die effektive Dosis aus allen Strahlenquellen zusammen beträgt somit für einen Einwohner in Deutschland im Mittel ungefähr 4 mSv/a.

#### 9.4.2 Berufliche Strahlenexposition

Personen, die in Bereichen mit erhöhter Strahlung arbeiten, unterliegen der Strahlenschutzüberwachung. Dies betraf in Deutschland im Jahr 2012 ca. 390 000 Personen. Der Großteil dieser strahlenexponierten Personen wird während der Arbeitszeit mit Dosimetern überwacht. Die mittlere effektive Dosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen (ca. 352 000) lag 2012 bei 0,08 mSv. Bei ca. 85 % der überwachten Personen lag während des ganzen Überwachungszeitraums die Personendosis unter der

Nachweisgrenze. Bei den Überwachten mit einer messbaren Dosis (ca. 54 000 Personen) betrug die mittlere Jahrespersonendosis 0,52 mSv. Durch kosmische Strahlung während des Fluges waren aus dem Personenkreis des fliegenden Personals mit ca. 40 000 Personen nahezu alle exponiert. Ihre mittlere berufliche Jahresdosis ging aufgrund des Sonnenzyklus auf 1,96 mSv zurück. Damit ist das fliegende Personal aber immer noch die am höchsten strahlenexponierte Berufsgruppe in Deutschland, weit höher als das beruflich strahlenexponierte Personal aus Industrie, Medizin oder kerntechnischen Anlagen [BfS 2012].

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 des Radons innerhalb des Wasserwerkes. In einzelnen Bereichen der Wasserwerke können dadurch hohe Radonkonzentrationen in der Luft zustande kommen. So sind in Hochbehältern Konzentrationen von einigen 10 000 Bq/m<sup>3</sup>, bei fehlender Lüftung sogar bis zu 100 000 Bq/m<sup>3</sup>, möglich. Durch die Inhalation dieses natürlich vorkommenden radioaktiven Edelgases und seiner Folgeprodukte muss an bestimmten Arbeitsplätzen in Wasserwerken mit erhöhten Strahlenexpositionen gerechnet werden. Zum Teil reichen aber schon einfache Maßnahmen wie verstärktes Lüften und kürzere Einsatzzeiten aus, um die Dosis auf tolerierbare Werte zu verringern.

Weiterführende Informationen enthalten der 2012 von der LUBW veröffentlichte Bericht „Radioaktivität in Baden-Württemberg“ sowie die Internetseiten der LUBW ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Radioaktivität).

# 10 Elektromagnetische Felder

## Das Wichtigste in Kürze

Messungen der LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg in den Jahren 2003 und 2009 ergaben, dass die Grenzwerte für **hochfrequente elektromagnetische Felder** im landesweiten Durchschnitt nur zu etwa 1 % ausgeschöpft wurden. Die Belastungen sind im Zeitraum von 2003 bis 2009 insgesamt nicht angestiegen. Der grundsätzliche Trend zur Digitalisierung setzt sich bis heute fort. Dadurch kam und kommt es in einzelnen Teilbereichen zu Erhöhungen, an anderen zu Absenkungen. Während bei den digitalen Funkdiensten wie Mobilfunk (UMTS und LTE) oder Digitalradio (DAB+) Zuwächse bei den Immissionen zu beobachten sind, nehmen die Immissionen durch analoge Funkdienste immer weiter ab. Dies ist auf die Abschaltung der Kurz-, Mittel- und Langwellensender zurückzuführen. Kurzwellensender gibt es in Baden-Württemberg schon lange nicht mehr. Der letzte Langwellensender Baden-Württembergs in Donebach wurde Ende 2014 abgeschaltet. Der letzte Mittelwellensender Baden-Württembergs in Ravensburg soll Ende 2015 abgeschaltet werden. Die Exposition der Bevölkerung mit **niederfrequenten elektromagnetischen Feldern** liegt im Mittel weit unter den gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten. Zu Immissionen niederfrequenter elektromagnetischer Felder in der Umwelt kommt es hauptsächlich im Bereich der Stromversorgung. Die stärksten Belastungen treten in unmittelbarer Nähe von Hochspannungsfreileitungen oder Transformatorstationen auf.

Überall, wo Elektrizität erzeugt, transportiert oder genutzt wird, entstehen als unvermeidliche Begleiterscheinung elektromagnetische Felder. Für diese Felder besitzen wir Menschen, mit Ausnahme von Wärmestrahlung und Licht, kein Sinnesorgan. 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; Abb. 10-1). In diesem Kapitel wird nur die nichtionisierende Strahlung (nieder- und hochfrequente Felder) behandelt. Aufgrund der rasanten Entwicklung mobiler Kommunikationstechniken, wie z. B. Mobilfunk, spielen die hochfrequenten Funkwellen eine besondere Rolle.

Nichtionisierende Strahlung kann direkt auf den Körper einwirken und dort unterschiedliche Wirkungen hervorrufen. Bei statischen Feldern (Gleichfeldern) kommen Effekte wie aufgerichtete Haare oder Elektrisierung und Entladung vor. Bei niederfrequenten Feldern dominieren die Reizwirkungen auf die Zellen. Die Auslöser sind die durch die Felder im Körper hervorgerufenen Ströme (sogenannte Körperströme). Bei hochfrequenten Feldern sind thermische Wirkungen vorherrschend, also eine Erwärmung des Körpers bzw. bestimmter Körperteile.

Das in den Jahren 2002 bis 2008 vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in Deutschland durchgeführte umfangreiche Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF) konnte Hinweise auf gesundheitsrelevante Wirkungen

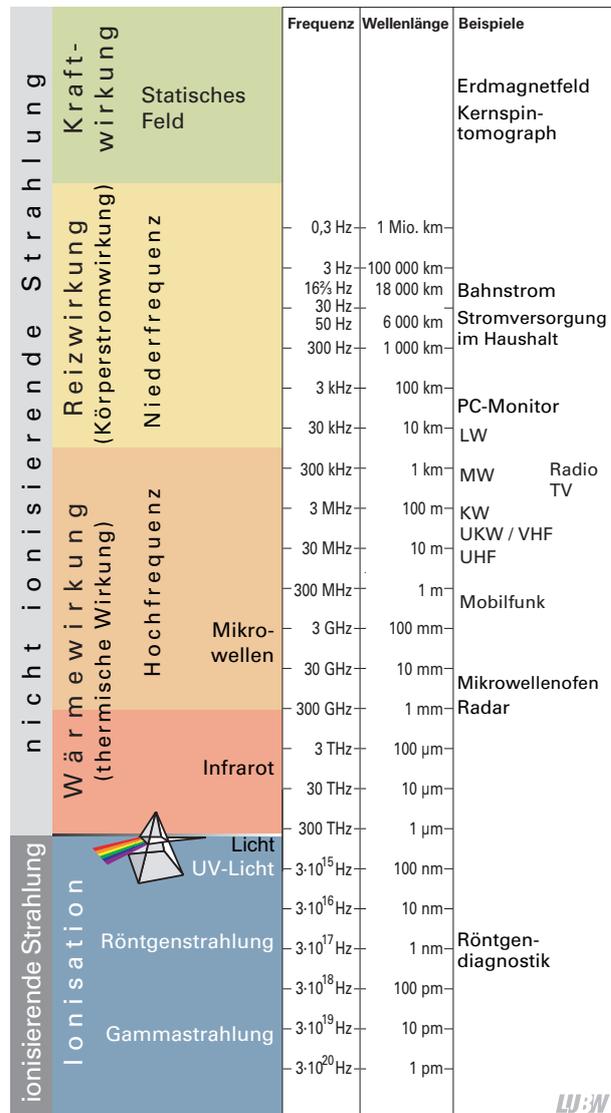


Abb.10-1: Elektromagnetische Felder bzw. Wellen oder Strahlen umfassen einen weiten Frequenzbereich – dargestellt in Hertz (Hz), mit Beispielen technischer Nutzung.

hochfrequenter Felder nicht bestätigen. Offen blieb jedoch die Frage nach möglichen Langzeitriskien für Nutzungszeiten der Handys von mehr als zehn Jahren. Außerdem besteht weiterhin Forschungsbedarf zur Klärung der Frage, ob Kinder empfindlicher auf hochfrequente elektromagnetische Felder reagieren als Erwachsene.

Insgesamt ist beim gleichzeitigen Betrieb mehrerer Quellen elektromagnetischer Felder in der Zukunft Vorsorge geboten. Die Strahlenschutzkommission möchte bewusst machen, dass die Expositionen beim Menschen ohne Gesundheitsrisiken nicht beliebig zu steigern sind. Es sollte daher mit dem verfügbaren Expositionsbereich verantwortungsbewusst umgegangen werden. Im Jahr 2011 hat die WHO/IARC (International Agency for Research on Cancer; Internationale Agentur für Krebsforschung) auch die hochfrequenten elektromagnetischen Felder vorsorglich als „möglicherweise krebserregend“ eingestuft. Grund hierfür waren Forschungsergebnisse, die auf ein erhöhtes Krebsrisiko bei intensiver Handynutzung hindeuten könnten. Hinsichtlich eines erhöhten Krebsrisikos durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung in der Umwelt (z. B. Sendeanlagen des Mobilfunks, Rundfunks oder Fernsehens) wurden keine Schlussfolgerungen gezogen [IARC/WHO 2011].

## 10.1 Quellen hochfrequenter Felder

Hochfrequente elektromagnetische Felder werden vor allem zur Übertragung von Informationen über Funk verwendet, wie z. B. beim Radio, Fernsehen oder Mobilfunk, ebenso beim Schnurlostelefon (DECT, Digital Enhanced Cordless Telecommunications) und bei kabellosen Verbindungen wie WLAN (Wireless Local Area Network). Da elektromagnetische Wellen Energie transportieren, lässt sich mit ihnen auch Materie erwärmen. Beispiele für solche Anwendungen sind Induktionsöfen, Hochfrequenzschweißgeräte oder Mikrowellengeräte.

In den letzten Jahren hat die Anwendung des Mobilfunks rasant zugenommen (Abb. 10.1-1 und 10.1-2). Durch die neuen technischen Möglichkeiten und die zunehmende Nutzung der mobilen Datendienste hat sich das übertragene mobile Datenvolumen jedes Jahr in etwa verdoppelt. Der Ausbau des Mobilfunknetzes wird von Teilen der Bevölkerung durchaus mit Besorgnis beobachtet. Ende 2014 gab es in Baden-Württemberg rund 8 800 Standorte mit

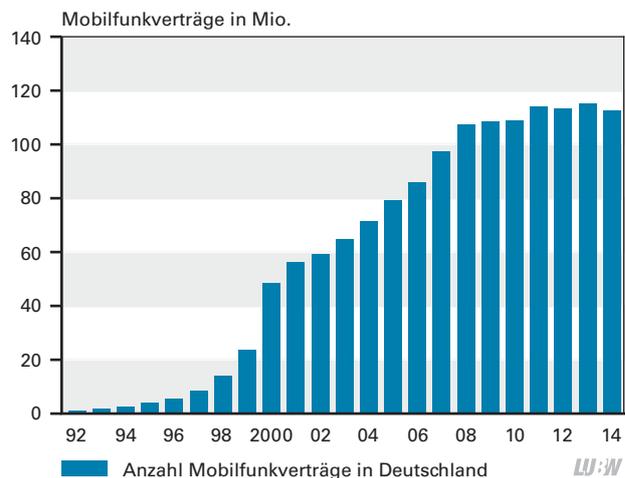


Abb. 10.1-1: Teilnehmerentwicklung: Mobilfunkverträge in Deutschland (inkl. Prepaidkarten). Quelle: Bundesnetzagentur.

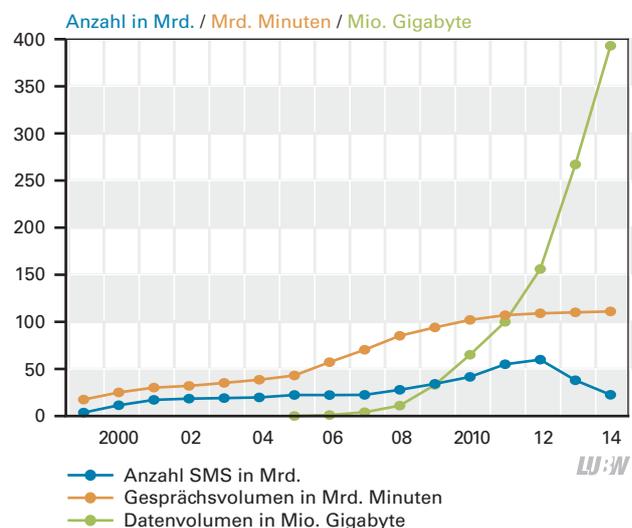


Abb. 10.1-2: Mobilfunknutzung: Entwicklung der Gesprächszeiten (Mobiltelefone, ausgehende Gespräche), versandte SMS-Nachrichten in Deutschland und Entwicklung des Datenvolumens im Mobilfunk. Quelle: Bundesnetzagentur.

Mobilfunksendeanlagen. Deutschlandweit sind es etwa 73 000 Standorte. Mithilfe eines Feldberechnungsprogramms kann das Abstrahlverhalten einer solchen Sendeanlage (Mobilfunkantenne) dargestellt werden (Abb. 10.1-3). Der Hauptstrahl trifft erst in ca. 107 m Entfernung auf den Boden. Dort werden Leistungsflussdichten von etwa 2 Milliwatt pro Quadratmeter ( $mW/m^2$ ) erreicht (dunkelgrün). Durch die spezielle Abstrahlcharakteristik der Antenne kann es in Bodennähe dazu kommen, dass näher an der Sendeanlage liegende Immissionspunkte mit geringeren Werten beaufschlagt werden als weiter entfernte. Insgesamt werden durch den Betrieb von Mobilfunksendeanlagen immissionsseitig die Grenzwerte der 26. BImSchV deutlich unterschritten.

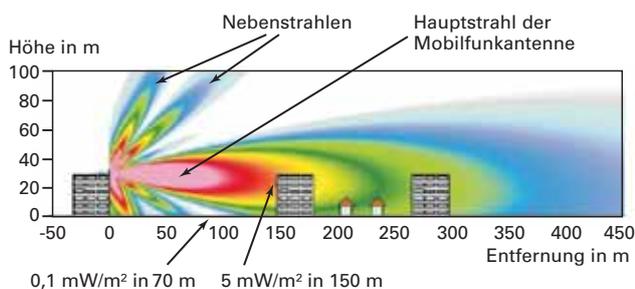


Abb. 10.1-3: Abstrahlverhalten einer Mobilfunkantenne (Beispiel Sektoranenne in 30 m Höhe). Die angegebenen Werte beziehen sich auf die Leistungsflussdichte (in Milliwatt pro m<sup>2</sup>). Quelle: Landesamt für Umweltschutz Bayern (LfU). Stand: 2009

Die flächendeckende Mobilfunkversorgung erfordert ein dichtes Netz von Basisstationen, die eine flächendeckende Belastung durch elektromagnetische Felder in der Umwelt verursachen. 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. Seit der Einführung von UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) und LTE (Long Term Evolution) ist mobiles Internetsurfen mit hoher Geschwindigkeit möglich.

In den letzten Jahren wurde außerdem deutschlandweit ein gemeinsames digitales Behördenfunknetz für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) aufgebaut. Darunter fallen z. B. Feuerwehren, Rettungsdienste, Technisches Hilfswerk sowie Bundes- und Landespolizei.

In Deutschland werden für das digitale Behördenfunknetz rund 4 500 Basisstationen benötigt. In Baden-Württemberg sind heute 633 BOS-Basisstationen in Betrieb, der Netzaufbau ist seit Ende 2013 abgeschlossen. Die alten analogen BOS-Funkanlagen werden im Gegenzug abgebaut.

Auch schnurlose Festnetztelefone übertragen mit Funkwellen im Gigahertzbereich Gespräche zwischen der Basisstation und einem oder mehreren Mobilteilen. Dabei wird der sogenannte DECT-Standard verwendet. Für den Aufbau kabelloser Verbindungen sowohl zwischen Telekommunikationsgeräten als auch Geräten der Datenverarbeitung und Kombinationen aus beiden dienen WLAN und Bluetooth. Auch hier werden elektromagnetische Felder mit Frequenzen im Gigahertz-Bereich genutzt. Die hierdurch auftretende Strahlung bleibt aber deutlich unter den Grenzwerten für die spezifischen Absorptionsraten (Teil- oder Ganzkörper). Die spezifische Absorptionsrate (SAR)

beschreibt, wie viel Leistung in Watt pro Kilogramm Körpergewicht (W/kg) absorbiert wird.

Rundfunk- und Fernsehsender tragen zusammen mit Mobilfunkanlagen am meisten zur durchschnittlichen Exposition der Bevölkerung mit hochfrequenten Funkwellen bei. Zur flächendeckenden Versorgung der Bevölkerung gibt es in Baden-Württemberg eine Vielzahl von Standorten mit Rundfunk- und Fernsehsendeanlagen. Im Bereich des Fernsehens erfolgte in den Jahren 2002 bis 2009 sukzessiv eine Umstellung des analogen auf das digitale terrestrische Fernsehen DVB-T ([www.ueberallfernsehen.de](http://www.ueberallfernsehen.de)). Im Bereich des Hörfunks ist diese Umstellung von analogem auf digitales Radio DAB+ gerade in der Durchführung ([www.digitalradio.de](http://www.digitalradio.de)).

## 10.2 Monitoring hochfrequenter Felder in der Umwelt

Im Jahr 2003 wurden im Rahmen eines umfangreichen Messprogramms die Einwirkungen durch elektromagnetische Wellen in mehreren repräsentativen Gebieten Baden-Württembergs flächenhaft an fast 900 Messpunkten erfasst ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Elektromagnetische Felder > Messungen). Dabei wurden alle wesentlichen Funkanwendungen im Frequenzbereich von 9 Kilohertz (kHz) bis 3 Gigahertz (GHz), insbesondere Rundfunk, Fernsehen und Mobilfunk, abgedeckt. Die Messungen umfassten etwa 10 % der Landesfläche und 143 Gemeinden, in denen etwa ein Drittel der Bevölkerung Baden-Württembergs lebt. Im Jahr 2009 wurden an 600 dieser Messpunkte erneut Messungen in den Regionen Mannheim-Heidelberg, Freiburg, Stuttgart und Oberschwaben in städtischen und ländlichen Gebieten vorgenommen, um Veränderungen zu erfassen und zu dokumentieren.

In allen Untersuchungsgebieten schöpften 2009 die durchschnittlichen Einwirkungen die gesetzlichen Grenzwerte (Tab. 10.2-1) zu weniger als 1 % aus.

Tab. 10.2-1: Grenzwerte für Hochfrequenzanlagen nach der 26. BImSchV in Volt pro Meter (V/m) und Ampere pro Meter (A/m). Der Grenzwert ist von der Frequenz (f) abhängig.

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

### 10.2.1 Anteile der Quellen an der Gesamtmission

Den höchsten Anteil an den Gesamtmissionen haben die leistungsstarken Rundfunk- und Fernsehsender, wobei sowohl Körperstromwirkung als auch thermische Wirkung berücksichtigt sind. Im Bereich der thermischen Wirkung allein, also oberhalb der Frequenz 100 kHz, stellte 2009 der Mobilfunk mit rund 37 % die stärkste Gruppe. An zweiter Stelle standen mit 28 % die Lang-, Mittel- und Kurzwellensender, gefolgt von den UKW-Sendern mit 16 % und den vorwiegend digitalen Fernsehsendern mit 13 %. Der Beitrag der BOS-Sendeanlagen (Feuerwehr- und Polizeifunk) sowie der sonstigen Funkdienste (z. B. WLAN, schnurlose DECT-Telefone, Betriebsfunk) blieb unter 6 % der thermischen Gesamtwirkung. Im Vergleich zu den Messungen aus dem Jahr 2003 ergaben sich 2009 deutliche Veränderungen bei der Aufteilung der Funkdienste im Bereich der thermischen Wirkung. Durch den Rückgang des analogen Fernsehens und die Zunahme des Mobilfunks kam es zu Verschiebungen der Anteile an der Gesamtmission.

Innerhalb von Ortschaften ist der Mobilfunk die stärkste Einzelquelle bei der thermischen Wirkung. Er übertrifft deutlich die durch Rundfunksender verursachten Immissionen. Umgekehrt verhält es sich außerhalb von Ortschaften. Die Ursache hierfür liegt vor allem in der unterschiedlichen Reichweite der Sender. Das Mobilfunknetz ist innerhalb von Ortschaften deutlich dichter als außerhalb. Fernseh- und Rundfunksender stehen dagegen in der Regel in größerer Entfernung von Siedlungen.

### 10.2.2 Grenzwertausschöpfung

Die Anzahl der Messpunkte mit einer maximalen Gesamtmission durch Funkwellen von weniger als 1 % des Grenzwertes ist zwischen 2003 und 2009 von 50 % auf 58 % angewachsen. An acht Messpunkten, das entspricht einem Anteil von 1 % an der Gesamtzahl der Messpunkte, war die Grenzwertausschöpfung 2009 größer als 5 %, im höchsten Fall lag der Wert bei 11 %. Ursachen für eine Abnahme der Einwirkungen sind u. a. die Abschaltung von Sendern im Rundfunk- und im analogen Fernsehbereich. Demgegenüber führte die Verdichtung des GSM-Mobilfunknetzes (GMS: Global Systems for Mobile Communications) und die flächendeckende Einführung von UMTS zu einer Zunahme der Einwirkungen. Zwischen 2003 und 2009 hat das Niveau der Einwirkungen durch Funkwellen insgesamt jedoch nicht zugenommen.

In Abbildung 10.2-1 sind die Veränderungen zwischen 2003 und 2009, differenziert nach Funkdiensten, landesweit als Mittelwert der Grenzwertausschöpfung dargestellt. Erkennbar ist eine Abnahme beim Rundfunk und Fernsehen. Die analogen Fernsehsender wurden flächendeckend abgeschaltet. Der digitale terrestrische Sendebetrieb (DVB-T) war 2009 noch nicht vollständig aufgenommen. Die Einwirkungen durch Fernsehsender haben dadurch im Durchschnitt um 45 % abgenommen. Demgegenüber haben die Einwirkungen beim Mobilfunk zugenommen. Eine ausführliche Projektbeschreibung mit weiteren Ergebnissen ist im Internet abrufbar ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Elektromagnetische Felder > Messungen).

Der grundsätzliche Trend, der bereits 2009 zu beobachten war, setzt sich bis heute fort. Während bei den digitalen Funkdiensten wie Mobilfunk oder Digitalradio Zuwächse bei den Immissionen zu beobachten sind, nehmen die Immissionen analoger Funkdienste immer weiter ab. Dies ist auf die Abschaltung der Kurz-, Mittel- und Langwellensender zurückzuführen. Kurzwellensender gibt es in Baden-Württemberg bereits seit längerem nicht mehr. Der benachbarte große Kurzwellensender Wertachtal in Bayern wurde Mitte 2013 abgeschaltet. Der letzte Langwellensender Baden-Württembergs in Donebach stellte Ende 2014 den Betrieb ein. Der letzte Mittelwellensender Baden-Württembergs in Ravensburg soll Ende 2015 abgeschaltet werden. Einzig der analoge UKW-Rundfunk wird bis auf Weiteres erhalten bleiben. Pläne zu seiner Abschaltung

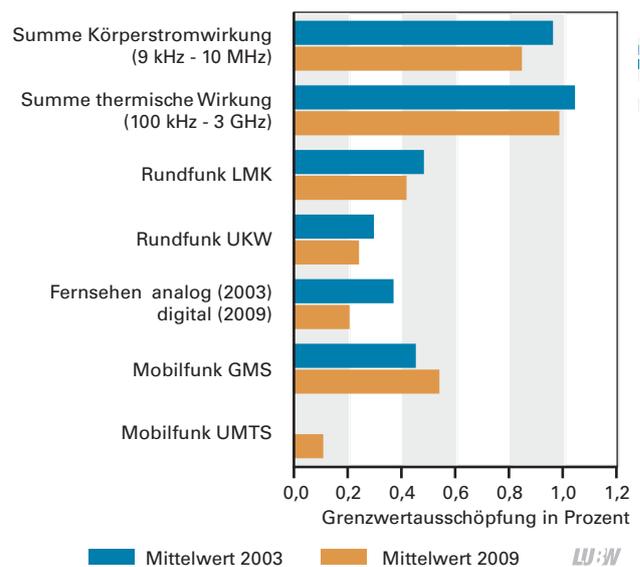


Abb. 10.2-1: Vergleich der mittleren Grenzwertausschöpfung einzelner Funkdienste. Veränderungen zwischen 2003 und 2009. Stand: 2011

sind 2011 vom Bundestag verworfen worden. Mit dem flächendeckenden Ausbau des Digitalradios ist jedoch auch hier eine Abschaltung in den kommenden Jahren zu erwarten.

### 10.3 Niederfrequente Felder

Niederfrequente Felder treten z. B. bei der öffentlichen Stromversorgung, im Haushalt sowie bei Bahnstromanlagen auf. Generell gilt: Je kleiner der Abstand zu den Strom führenden Teilen und je höher Stromstärke und Spannung, desto größer sind die resultierenden Felder.

Die Exposition der Bevölkerung mit niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern liegt im Mittel weit unter den gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten (Tab. 10.3-1). Diese betragen bei 50 Hz für das elektrische Feld 5 Kilovolt pro Meter (kV/m) und für das magnetische Feld 100 Mikrottesla ( $\mu\text{T}$ ).

Tab. 10.3-1: Grenzwerte für Niederfrequenzanlagen nach der 26. BImSchV in Kilovolt pro m (kV/m) und Mikrottesla ( $\mu\text{T}$ ).

Frequenz	Elektrische Feldstärke Effektivwert (kV/m)	Magnetische Flussdichte Effektivwert ( $\mu\text{T}$ )
50 Hz	5	100
16 $\frac{2}{3}$ Hz	10	300

In einzelnen Untersuchungen wurde bei niederfrequenten Magnetfeldern unterhalb der Grenzwerte eine geringfügig erhöhte statistische Signifikanz für Erkrankungen an Leukämie bei Kindern beobachtet. Allerdings ist es bisher in Tierversuchen nicht gelungen, Krebserkrankungen durch niederfrequente Magnetfelder hervorzurufen. Es ist daher nicht nachgewiesen, ob ein Zusammenhang zwischen Magnetfeldern und Krebs besteht [BAFU 2009, BFS 2014, SCHÜTZ 2000]. Dennoch hat die Weltgesundheitsorganisation (WHO) niederfrequente Magnetfelder vorsorglich als möglicherweise krebserregend eingestuft. Aus Vorsorgegründen sollten daher Wohnnutzungen im unmittelbaren Einwirkungsbereich von Hochspannungsfreileitungen vermieden werden.

In Wohnungen sind die selbst betriebenen Elektrogeräte und die eingebauten elektrischen Hausinstallationen die größten Quellen elektromagnetischer Felder. Relativ starke Magnetfelder im Haushalt können Geräte zur Wärmezeugung mit hohem Stromverbrauch sein, z. B. Induktionsherd, Geräte mit Trafo oder Magnetspulen (Radiowecker, Halogenlampen) sowie Geräte mit einem elektrischen Motor (Staubsauger, Bohrmaschine, Mixer, Föhn). Insbesondere bei kontinuierlichem Betrieb von Geräten sollte daher auf genügenden Abstand zu Daueraufenthaltsorten geachtet werden. Die Feldstärke nimmt mit der Entfernung sehr schnell ab.

Zu Immissionen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder in der Umwelt kommt es hauptsächlich im Bereich der Stromversorgung. Die stärksten Belastungen treten in unmittelbarer Nähe von Hochspannungsfreileitungen oder Transformatorenstationen auf. Die elektrische Feldstärke in der Nähe von Hochspannungsfreileitungen wird von verschiedenen Faktoren bestimmt. Sie ist umso größer, je höher die elektrische Spannung der Leitung und je geringer der Abstand zum Einwirkungsort ist. Die magnetische Flussdichte hängt u. a. von der Stromstärke ab. Die höchste magnetische Flussdichte in Bodennähe tritt direkt unterhalb des Leiterseils auf. Sie nimmt mit zunehmender Entfernung von der Freileitung sehr rasch ab.

Im Rahmen der Energiewende soll das Transportnetz in Baden-Württemberg in Zukunft um- und ausgebaut werden. Es handelt sich hierbei um ca. 600 km Netzverstärkung auf bereits bestehenden Trassen und um ca. 300 km neue Trassen. Im 110-kV-Hochspannungsnetz sind rund 125 km neue Trassen und rund 400 km Netzverstärkung auf bestehenden Trassen geplant. Durch unterschiedliche Maßnahmen, wie z. B. Phasenoptimierung, Leiteranordnung oder Erdkabel sowie durch einen ausreichenden Abstand zur Wohnbebauung, kann die Belastung der Bevölkerung durch zusätzliche elektrische und magnetische Felder reduziert werden.

# 11 Überwachung und Warndienste

## 11.1 Kernreaktor-Fernüberwachung

Die Kernreaktor-Fernüberwachung (KFÜ) ist ein komplexes System zur Online-Überwachung der kerntechnischen Anlagen im Land, das die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg betreibt und kontinuierlich weiterentwickelt. Das Ministerium ist die atomrechtliche Aufsichtsbehörde. Mit diesem System kann die Aufsichtsbehörde die gemessenen Werte auf Einhaltung von Grenzwerten und Schutzziele überprüf. Das System alarmiert beim Überschreiten von Warnschwellen selbständig die Atomaufsicht. Auch die Umgebung von abgeschalteten Anlagen wird immissionsseitig weiterhin überwacht (Abb. 11.1-1).

Die Einrichtungen zur Online-Messung des Strahlenpegels (Gamma-Ortsdosisleistung) und zur nuklidspezifischen Messung der Radioaktivität in Schwebstoffen der Luft (Radioaerosole) bilden zusammen mit der KFÜ einen sen-

siblen Warndienst, der bei geringsten Veränderungen gegenüber der natürlich vorhandenen Strahlung die zuständige Atomaufsicht alarmiert.

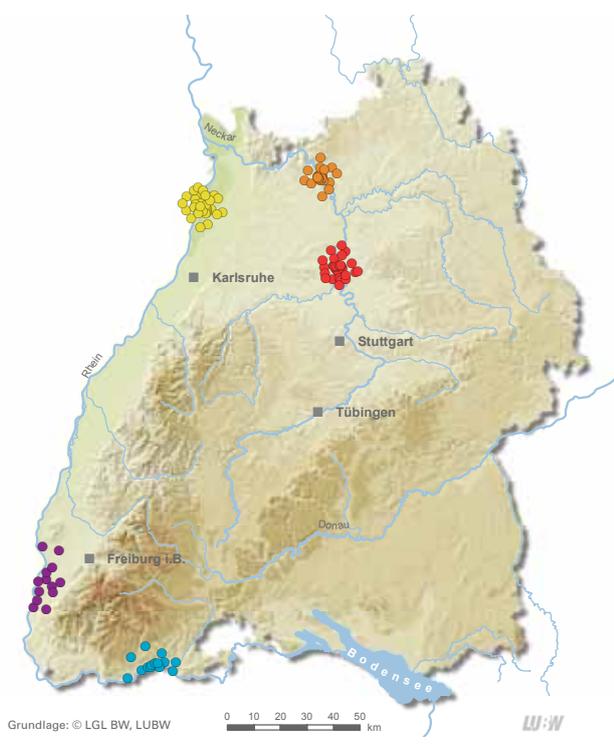
### 11.1.1 KFÜ zur Immissionsüberwachung

In einem 10-km-Radius um die baden-württembergischen Kernkraftwerksstandorte Neckarwestheim, Philippsburg und Obrigheim sind jeweils rund 30 Messsonden angeordnet, die bis zu drei Jahre lang ohne externe Stromversorgung den Strahlenpegel (Gamma-Ortsdosisleistung) messen und per Datenfunk zur LUBW übertragen. Im Halbkreis auf baden-württembergischem Gebiet um die grenznahen ausländischen Kernkraftwerke Fessenheim in Frankreich und im schweizerischen Leibstadt am Hochrhein befindet sich jeweils ein weiteres Dutzend solcher Sonden (Abb. 11.1-1).

Um die Atomaufsicht frühzeitig vor einem luftgetragenen Eintrag radioaktiver Stoffe zu warnen, werden zudem an zwölf Messorten Radioaerosolmessstationen betrieben. In diesen Stationen wird regelmäßig die Umgebungsluft über Filterpatronen gesammelt und kontinuierlich gammaskopmetrisch ausgewertet: Ein Halbleiterdetektor misst noch während der Filterbestäubung die nuklidspezifische Gammastrahlung und bestimmt daraus die Aktivitätskonzentration der detektierten Radionuklide. Diese Spektren werden im Stundentakt zur LUBW übermittelt und verarbeitet. Im Alarmfall werden die Daten sofort übertragen, von der LUBW ausgewertet und umgehend der Atomaufsicht zur Verfügung gestellt. Aktuelle Messdaten zum Strahlenpegel und zur luftgetragenen Radioaktivität finden sich im Internet ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Radioaktivität > Messdaten Online).

### 11.1.2 KFÜ im Notfallschutz

Ein wichtiges Instrument des vorbeugenden Bevölkerungsschutzes ist die Bestimmung von Gebieten, die potenziell von einem kerntechnischen Notfall betroffen sein könnten, sowie der dort durch Freisetzung radioaktiver Stoffe zu erwartenden radiologischen Belastung mithilfe einer Ausbreitungsrechnung (Abb. 11.1-2). Die dazu notwendigen meteorologischen Daten werden von Messstationen des



- Obrigheim
- Neckarwestheim
- Leibstadt
- Philippsburg
- Fessenheim

Abb. 11.1-1: Online-Überwachung der KFÜ in Baden-Württemberg. Stand: 2015

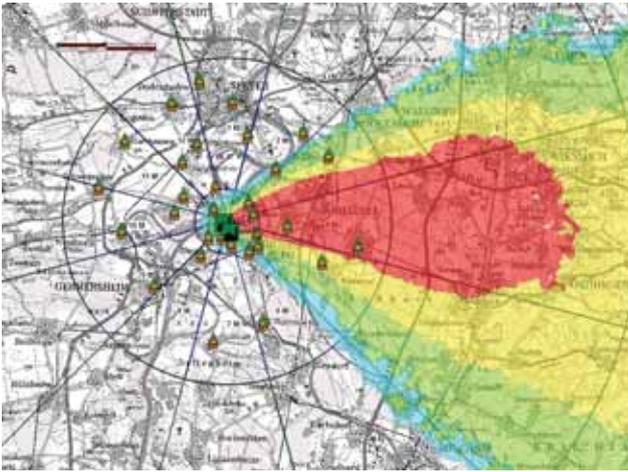


Abb. 11.1-2: Beispielhafte Ergebnisdarstellung einer Ausbreitungsrechnung zur Beurteilung der radiologischen Lage im Falle eines kerntechnischen Unfalls am Standort Philippsburg (ohne Skalierung). Quelle: KFÜ.

Betreibers, der LUBW und des Deutschen Wetterdienstes (DWD) abgerufen und durch Prognose- und Radardaten des DWD ergänzt. Die zahlreichen Immissionsmessstellen in der Umgebung der Kernkraftwerke würden den tatsächlichen Verlauf einer möglichen Freisetzung registrieren und eine sofortige Anpassung von Notfallschutzmaßnahmen erlauben. Nach der Freisetzung kämen Messtrupps der LUBW, der Betreiber, des Bundesamts für Strahlenschutz und der Feuerwehr zum Einsatz, um das betroffene Gebiet genauer einzugrenzen und die Datengrundlage für notwendige Entscheidungen zum Schutz der Bevölkerung zu schaffen. Diese Daten werden in der KFÜ verarbeitet und gemeinsam mit den stationären Online-Messungen ausgewertet, um rasch einen vollständigen Überblick über die

radiologische Situation herzustellen. Die KFÜ ermöglicht zudem realitätsnahe Simulationen, um regelmäßige Übungen zu unterstützen, bei denen das Zusammenspiel der beteiligten Stellen und Systeme geprobt wird.

### 11.1.3 KFÜ als Aufsichtsinstrument

Die wichtigsten Betriebsparameter aus dem Inneren der baden-württembergischen Kernkraftwerke wie Neutronenfluss, Druck, Temperatur und Füllstand im Primärkreislauf, Dosisleistung in verschiedenen Bereichen sowie Radioaktivität in Abluft und Abwasser werden online überwacht und unabhängig vom Betreiber ausgewertet. Die wichtigsten Daten werden täglich durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg als atomrechtliche Aufsichtsbehörde kontrolliert. Auffälligkeiten werden auch weit unterhalb von Grenz- oder Genehmigungswerten sofort untersucht. Zudem erfolgt bei Erreichen von im System eingestellten Schwellenwerten eine automatische Alarmierung der Aufsichtsbehörde.

Über das Internet ([www.um.baden-wuerttemberg.de](http://www.um.baden-wuerttemberg.de) > Umwelt > Kernenergie und Radioaktivität > Aktuelle Informationen > Aktueller Anlagenstatus) können jederzeit aktuelle Informationen zum Anlagenstatus (Abb. 11.1-3) der aktiven baden-württembergischen Kernkraftwerke abgerufen werden.

Im Internetangebot der LUBW finden sich außerdem weiterführende Informationen zum Thema Radioaktivität ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Radioaktivität).

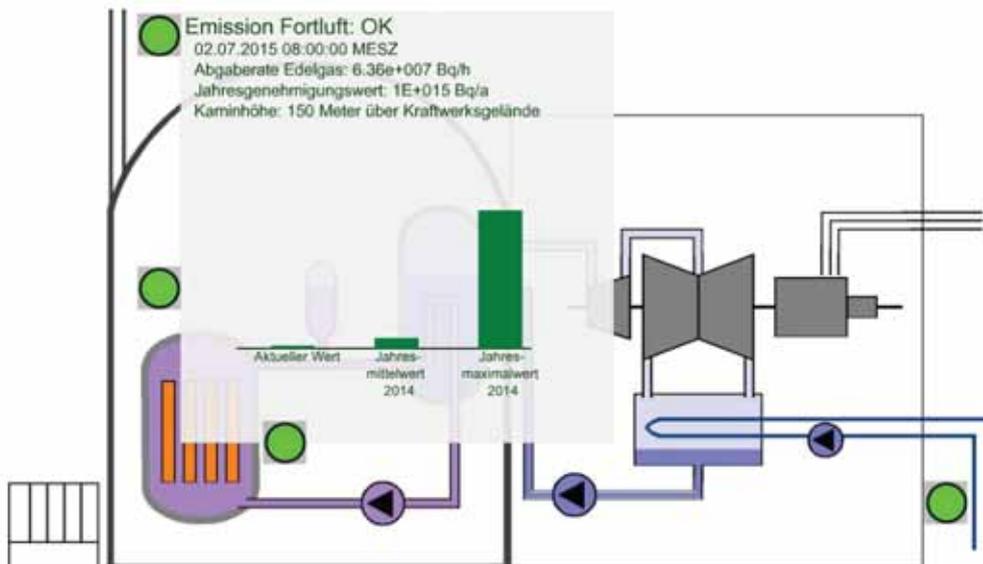


Abb. 11.1-3: Beispiel einer Darstellung des Anlagenstatus eines aktiven baden-württembergischen Kernkraftwerks im Internet. Quelle: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.

## 11.2 Anlagensicherheit

In Baden-Württemberg unterliegen 316 Betriebsbereiche den Regelungen der Störfall-Verordnung (StörfallV, 12. BImSchV). Die StörfallV gehört zum Rechtsbereich der technischen Sicherheit. In ihr werden die Anforderungen der sogenannten europäischen Seveso-II-Richtlinie über die Gefahrenvorsorge und die Gefahrenabwehr im industriellen Bereich festgelegt.

Die Anwendung der StörfallV hängt ausschließlich vom Vorhandensein bestimmter Mengen an gefährlichen Chemikalien ab. Die Verordnung enthält hierzu im Anhang I konkrete Mengenschwellen für namentlich aufgeführte Stoffe, wie z. B. Chlor oder Wasserstoff, sowie für Kategorien von Stoffen mit bestimmten gefährlichen Eigenschaften, z. B. brennbar oder giftig. Die sogenannten Grundpflichten gelten für Betriebsbereiche, in denen die Mengenschwellen des Anhangs I Spalte 4 StörfallV erreicht oder überschritten werden.

Unter Grundpflichten versteht man die allgemeinen Betreiberpflichten, die nach Art und Ausmaß der möglichen Gefahren erforderlichen Vorkehrungen zu treffen, um Störfälle zu verhindern. Darüber hinaus sind Maßnahmen zu ergreifen, um die Auswirkungen von Störfällen so gering wie möglich zu halten.

Die sogenannten erweiterten Pflichten gelten bei Erreichen oder Überschreiten der Mengenschwellen des Anhangs I Spalte 5 StörfallV. Zu den erweiterten Pflichten gehören das Verfassen eines Sicherheitsberichts, das Aufstellen von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen sowie die Information der Öffentlichkeit über Sicherheitsmaßnahmen.

### 11.2.1 Anzahl und Standorte der Betriebsbereiche

Die Übersichtskarte (Abb. 11.2-1) zeigt die Standorte der Betriebsbereiche in Baden-Württemberg, die unter die StörfallV fallen. Von den 316 Betriebsbereichen in Baden-Württemberg unterliegen 195 den Grundpflichten und 121 den erweiterten Pflichten. Die Schwerpunkte liegen in den industriellen Ballungsräumen Baden-Württembergs: Mittlerer Neckar/Stuttgart, Rhein-Neckar/Mannheim, Mittlerer Oberrhein/Karlsruhe und Südlicher Oberrhein.

Die Standortinformationen dienen u. a. dem Vollzug des UNECE-Abkommens über grenzüberschreitende Industrieunfälle [UNECE 1992], da hier die Entfernung der Betriebe von der Staatsgrenze bzw. vom Einzugsbereich eines grenzüberschreitenden Flusses maßgeblich für die Information

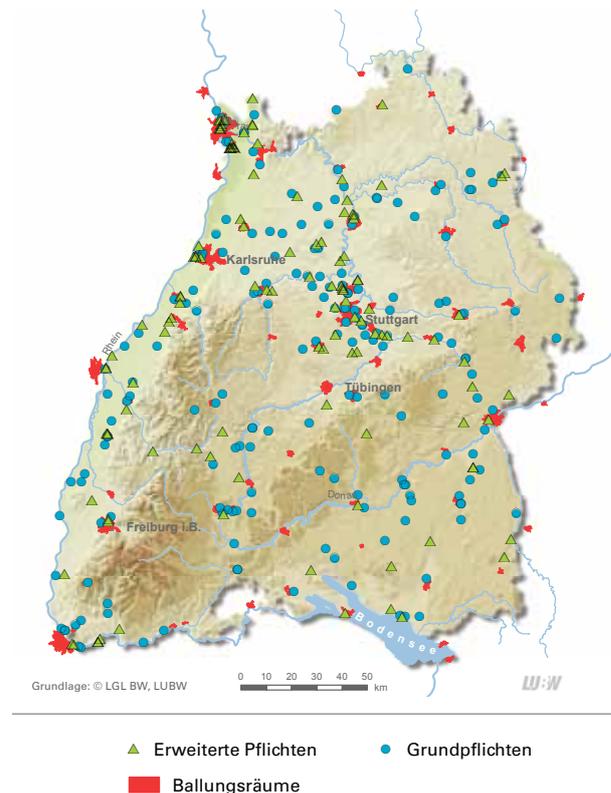


Abb. 11.2-1: Standorte der Betriebsbereiche in Baden-Württemberg, die unter die StörfallV fallen. Stand: 2014

des betreffenden Nachbarstaates ist. Zur Beurteilung des Standorts und seiner Umgebung für die Bauleitplanung (§ 50 Bundes-Immissionsschutzgesetz) dienen hochauflösende Karten, die bei den zuständigen Regierungspräsidien und bei der LUBW vorhanden sind.

### 11.2.2 Betriebsbereiche und zugeordnete Tätigkeiten

Die Tätigkeiten der Betriebsbereiche lassen sich wirtschaftlichen Schwerpunkten zuordnen. Schwerpunkte im Anwendungsbereich der StörfallV bilden folgende Branchen:

- Metallverarbeitung (Galvaniken und Oberflächenbehandlung) mit 66 Betrieben
- Chemikalienherstellung mit 58 Betrieben
- Großhandel (Flüssiggas-Versorgungsunternehmen, Chemikalien- und Pflanzenschutzmittelhandel) mit 42 Betrieben
- Energieversorgung mit 47 Betrieben (darunter 14 Biogasanlagen, die den Grundpflichten der StörfallV unterliegen)

Auf die vier genannten Branchen entfallen insgesamt 67 % aller Betriebsbereiche in Baden-Württemberg.

### 11.2.3 Meldepflichtige Ereignisse

In den Betriebsbereichen und ihren Anlagen können trotz der getroffenen sicherheitstechnischen und organisatorischen Vorkehrungen Störungen auftreten. Die Betreiber sind nach § 19 StörfallV 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, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) 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 Auswirkungen werden vom BMUB an die EU-Kommission weitergeleitet, sofern die Meldekriterien eines Störfalls erfüllt sind.

Gleiches gilt für bestimmte, aus sicherheitstechnischer Sicht besonders bedeutsame Ereignisse, aus denen Lehren zur künftigen Verhinderung oder Begrenzung von Auswirkungen solcher Ereignisse 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 ausgeschlossen werden kann.

In den Jahren 2000 bis 2014 wurden 51 Ereignisse in Baden-Württemberg erfasst (Abb. 11.2-2); dies entspricht einer durchschnittlichen Häufigkeit von 3,4 Ereignissen pro Jahr.

In den Jahren 2012 bis 2014 lag der Schwerpunkt der Ursachen überwiegend im Bereich des Sicherheitsmanagements und der Betriebsorganisation. Dies belegt die hohe Bedeutung von funktionierenden Sicherheitsmanagementsysteme-

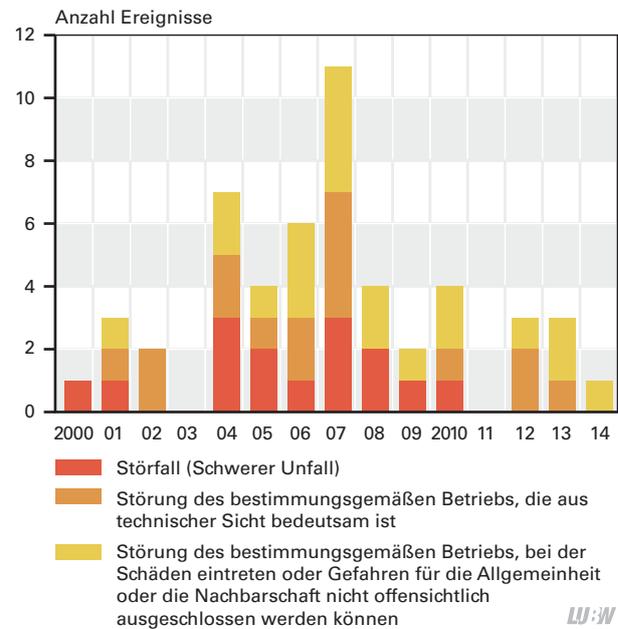


Abb. 11.2-2: Anzahl der gemeldeten Ereignisse in Baden-Württemberg.

men für die Gewährleistung der Anlagensicherheit. Außerdem waren häufig Defizite bei der systematischen Gefahrenanalyse erkennbar. Nur vergleichsweise wenige Ereignisse gingen primär auf technische Fehler wie das Versagen von Bauteilen oder Komponenten zurück. Weitere Informationen zu den einzelnen Ereignissen sind im Internet erhältlich ([www.infosis.uba.de](http://www.infosis.uba.de)).

Eine Auswertung der Ereignisfolgen zeigt, dass im Zeitraum 2000 bis 2014 unter den 51 Fällen 16 als „Schwere Unfälle“ eingestuft wurden. Darunter gab es fünf Ereignisse mit jeweils einem Todesfall, fünf Ereignisse mit Sachschäden über 2 Millionen Euro und weitere fünf Fälle, bei denen Personen verletzt wurden. Bei zwei Ereignissen erfolgte die Einstufung aufgrund der großen Menge freigesetzter gefährlicher Stoffe.

### 11.3 Informationsdienst zu Luftschadstoffen

Für die Luftverunreinigungen Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und Ozon (O<sub>3</sub>) sind vom Gesetzgeber EU-einheitliche Alarm- und Informationsschwellen festgelegt (Tab. 11.3-1). Beim Überschreiten der Alarmschwellen besteht für die Gesamtbevölkerung ein Gesundheitsrisiko, so dass die Bevölkerung unverzüglich informiert werden muss.

Beim Überschreiten der Informationsschwelle für Ozon besteht ein Gesundheitsrisiko für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen. Ozonempfindlichen Personen und Kindern wird empfohlen, ungewohnte körperliche Anstrengungen und sportliche Ausdauerleistungen im Freien, insbesondere in den Nachmittags- und frühen Abendstunden, zu vermeiden, da hier die höchsten Ozonwerte auftreten. Beim Überschreiten der Alarmschwelle gilt diese Verhaltensempfehlung für die Gesamtbevölkerung.

Zur Überwachung der Alarm- und Informationsschwellen wird im Luftmessnetz Baden-Württemberg an 36 Messstationen Stickstoffdioxid, an 30 Messstationen Ozon und an 11 Messstationen Schwefeldioxid rund um die Uhr gemessen, so dass beim Überschreiten der Schwellen die Bevölkerung zeitnah informiert werden kann.

Die Alarmschwellen für Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid wurden seit ihrer Einführung im Jahr 2002 (22. BImSchV) nicht überschritten. Die Anzahl der Stunden mit Überschreitung der Informations- und Alarmschwelle für Ozon nimmt seit 2003 stark ab (Abb. 11.3-1).

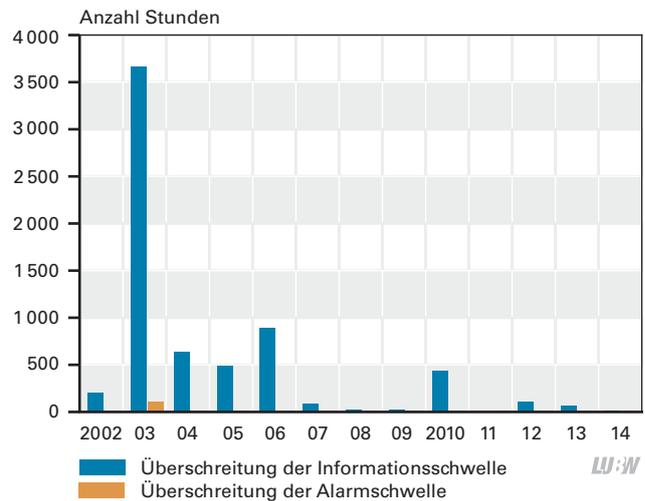


Abb. 11.3-1: Anzahl der Stunden mit Überschreitung der Alarm- und Informationsschwelle für Ozon im Luftmessnetz Baden-Württemberg.

Die im Rahmen des Luftmessnetzes ermittelten Messdaten werden auf den Internetseiten der LUBW veröffentlicht ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Aktuelle Messwerte der LUBW). Außerdem informieren ein Ansagedienst (Telefonnummer 0721/75 10 76) und der Fernsehtext des SWR ab Tafel 174 über die aktuelle Luftqualität in Baden-Württemberg. Die Aktualisierung der Daten erfolgt im Winterhalbjahr (1. Oktober bis 30. April) zwischen 6:00 Uhr und 21:00 Uhr alle drei Stunden. Im Sommerhalbjahr (1. Mai bis 30. September) werden die Messdaten zusätzlich zwischen 12:00 Uhr und 21:00 Uhr stündlich aktualisiert, um die Bevölkerung bei Ozonperioden zeitnah informieren zu können.

Tab. 11.3-1: Alarm- und Informationsschwellen für Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid und Ozon nach der 39. BImSchV

Luftverunreinigung	Schwellenwert	Mittelungszeitraum	Wert
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	Alarmschwelle	1 Stunde*	400 µg/m <sup>3</sup>
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	Alarmschwelle	1 Stunde*	500 µg/m <sup>3</sup>
Ozon (O <sub>3</sub> )	Informationsschwelle	1 Stunde	180 µg/m <sup>3</sup>
Ozon (O <sub>3</sub> )	Alarmschwelle	1 Stunde	240 µg/m <sup>3</sup>

\* gemessen an drei aufeinander folgenden Stunden.

## 11.4 Hochwasservorhersagezentrale

Die Hochwasservorhersagezentrale Baden-Württemberg (HVZ) der LUBW bündelt im Hochwasserfall aktuelle Informationen (Wasserstände, Abflussdaten, Vorhersagen und Lageberichte über den Hochwassererlauf) und macht sie den zuständigen Verwaltungsstellen, der betroffenen Bevölkerung sowie den Medien zugänglich. Die Abfluss- und Wasserstandsvorhersagen der HVZ werden im Routinebetrieb viermal täglich und bei Hochwasser bis zu stündlich neu berechnet und veröffentlicht. Die gemessenen Niederschläge an zahlreichen Stationen werden rund um die Uhr stündlich, die gemessenen Wasserstände bis zu viertelstündlich aktualisiert. Die Daten werden grafisch aufbereitet und auf zahlreichen Informationswegen wie Internet, mobilen Webseiten, Videotext, Rundfunk und automatischer Telefonansage veröffentlicht (Tab. 11.4-1).

Tab. 11.4-1: Informationsangebote der Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) Baden-Württemberg. Stand: 2014

Internet	<a href="http://www.hvz.baden-wuerttemberg.de">www.hvz.baden-wuerttemberg.de</a> <a href="http://www.hochwasserzentralen.info">www.hochwasserzentralen.info</a>
Mobile Seite	<a href="http://www.mh wz.info/bw.html">www.mh wz.info/bw.html</a>
HVZ-Telefon	0721-9804-0
Videotext	SWR Tafel 805-809
Telefonansage	0721-9804-61

Der kontinuierliche, tägliche Betrieb der Hochwasservorhersagemodelle erfordert einen umfangreichen Datenfluss von Mess- und Vorhersagedaten, der derzeit rund 120 Millionen Mess- und Modellwerte pro Tag umfasst. Dieser operationelle Modellbetrieb ist die Grundlage für Hoch-, Mittel- und Niedrigwasservorhersagen für rund 100 Pegel in Baden-Württemberg an Rhein, Neckar, Donau und deren jeweils wichtigsten Zuflüssen sowie an Main und Tauber. Abbildung 11.4-1 zeigt ein Beispiel für eine Wasserstandsvorhersage am Oberrhein beim Hochwasserereignis Mai/Juni 2013.

Die länderübergreifende Vorhersage für den Bodensee ([www.bodensee-hochwasser.info](http://www.bodensee-hochwasser.info)) 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 (vgl. Kap. 5.5) weitere Daten:

- Meteorologische Parameter aus dem LUBW-Messnetz (Globalstrahlung, Luftdruck, Lufttemperatur, Niederschlag, relative Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit)
- Meteorologische Daten und Vorhersagen der Wetterdienste (Deutscher Wetterdienst, MeteoSwiss und MeteoGroup AG)
- Betriebsdaten für Rückhaltemaßnahmen (Segmentöffnungen, Betriebsart, Wasserstand, Einstauvolumen, Zufluss, Abfluss)

Bei außergewöhnlichen Hochwasserereignissen wie beispielsweise beim Ereignis Mai/Juni 2013 berechnet die HVZ im Bedarfsfall Varianten zum Einsatz der Rückhaltemaßnahmen am Oberrhein und erarbeitet Empfehlungen für die Optimierung von Maßnahmen.

Zusätzlich berechnet die HVZ 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: Geringe, mäßige, mittlere und hohe Hochwassergefährdung.

Die Frühwarnkarten werden alle drei Stunden aktualisiert und beziehen sich jeweils auf die Hochwassergefahr der nächsten 24 Stunden bzw. 25 bis 48 Stunden. Die Verlässlichkeit der Hochwasserfrühwarnung ist wesentlich von der Güte der Niederschlagsvorhersagen abhängig und nimmt mit zunehmendem Frühwarnzeitraum ab.

Auch Niedrigwassersituationen haben für die Gewässer erhebliche negative Auswirkungen. Daher wird bei Niedrigwasser von den Wasserbehörden geprüft, ob die Nutzungen am Gewässer (Einleitungen oder Entnahmen) eingeschränkt werden. Zur Information der Wasserbehörden stellt daher die Hochwasservorhersagezentrale auch bei Niedrigwasser aktuelle Abflusswerte und Vorhersagen zur weiteren Entwicklung zur Verfügung.

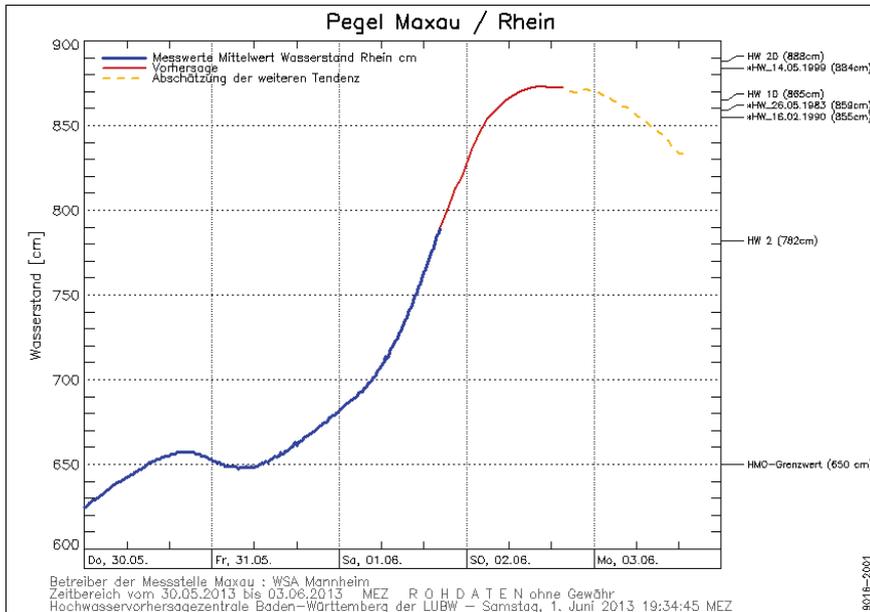


Abb. 11.4-1: Wasserstandsvorhersage vom 01.06.2013 für den weiteren Hochwasserverlauf am Pegel Maxau/ Oberrhein (rote Linie = Vorhersage, gelbe Linie = Tendenz). Quelle: LUBW.

### 11.5 Warn- und Alarmplan Rhein

Nach der Sandoz-Katastrophe 1986 haben die Anrainerstaaten die Überwachung des Rheins intensiviert und die Zusammenarbeit verstärkt. Dazu wurde mit dem internationalen Warn- und Alarmplan ein Frühwarnsystem entlang des Rheins eingerichtet, um unfallbedingte Schadstoffeinträge schnellstmöglich zu erfassen und mögliche Gefährdungen für die Lebewesen des Rheins, seiner schützenswerten Altarme und die Trinkwassergewinnung zu erkennen.

Über die Internationalen Hauptwarnzentralen werden die Anliegerländer und -staaten jeweils zeitnah und effektiv über vorhandene Gefährdungslagen informiert. Bei ersten Gewässerverschmutzungen ergeht eine „Warnung“, andernfalls erfolgt eine „Information“. Aufgabe der LUBW ist zum einen, die beim Polizeipräsidium Einsatz in Göppingen angesiedelte „Internationale Hauptwarnzentrale Baden-Württemberg“ durch einen bei der LUBW eingerichteten Bereitschaftsdienst rund um die Uhr zu unterstützen und fachlich zu beraten. Zum anderen betreibt die LUBW die Messstation in Karlsruhe, gemeinsam mit der Schweiz die Messstation in Weil am Rhein und gemeinsam mit den Ländern Rheinland-Pfalz und Hessen die Messstation in Worms, um Schadstoffeinträge in Hoch- und Oberrhein zeitnah zu erkennen.

Abbildung 11.5-1 zeigt die Anzahl der in den Jahren 2003 bis 2014 erfolgten Meldungen durch die an Hoch- und Oberrhein tätigen Internationalen Hauptwarnzentralen

der Schweiz, Frankreichs und Baden-Württembergs, basierend auf den Berichten der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) und Zählungen der LUBW für das Jahr 2014. Ein Trend ist nicht erkennbar.

Die Auswertungen der IKSR für die Jahre 2012 und 2013 für den ganzen Rhein zeigen, dass in mehr als der Hälfte der Fälle die Verschmutzungen, die zu den Meldungen führten, erst durch die Untersuchungen in den Messstationen entdeckt wurden. Die restlichen Meldungen wurden durch den Verursacher (i. d. R. Industriebetrieb, Schiff) gemeldet oder z. B. durch die Wasserschutzpolizei oder Spaziergänger entdeckt (Ölfilm, Fischsterben).

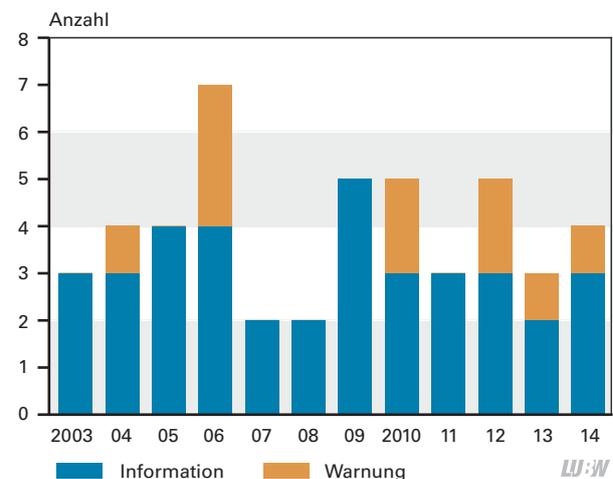


Abb. 11.5-1: Meldungen der Internationalen Hauptwarnzentralen an Hoch- und Oberrhein, den baden-württembergischen Rheinabschnitt betreffend. Quelle: IKSR.

## 11.6 Sauerstoffreglement Neckar

Der Sauerstoffhaushalt des schiffbaren Neckars von Deizisau bis Mannheim ist in der warmen Jahreszeit durch die beschleunigt ablaufenden Abbauprozesse, den im Verhältnis zum Abfluss hohen Abwasseranteil und die vielen Stauhaltungen streckenweise labil. Besonders empfindlich reagiert der Neckar dann bei stoßartigem Eintrag sauerstoffzehrender Stoffe (leicht abbaubare organische Substanzen) durch Starkregenereignisse oder wenn es nach ausgeprägten Schönwetterperioden zum Absterben großer Algenmassen kommt.

Mit dem zunehmenden Ausbau der Abwasserbehandlung hat sich die Situation deutlich verbessert. Trotzdem können die Sauerstoffgehalte in Extremsituationen soweit absinken, dass es lokal zu Fisch- oder Muschelsterben kommen kann.

Seit 1980 gibt es Vereinbarungen zur Stützung des Sauerstoffgehaltes. Zuletzt hat das Land das „Sauerstoffreglement Neckar“ im Jahr 2003 geändert. Hierbei handelt es sich um eine Vereinbarung mit den Kraftwerksbetreibern und der Stadt Stuttgart als Betreiberin der größten Kläranlage am Neckar, in der sich diese verpflichten, bei den für die Gewässerökologie kritischen Sauerstoffgehalten unter 4 mg/l Belüftungsmaßnahmen zu ergreifen.

Belüftet wird z. B. durch die Absenkung von Wehren, wodurch das Wasser über die Wehre fließt und dadurch Sauerstoff aufnimmt.

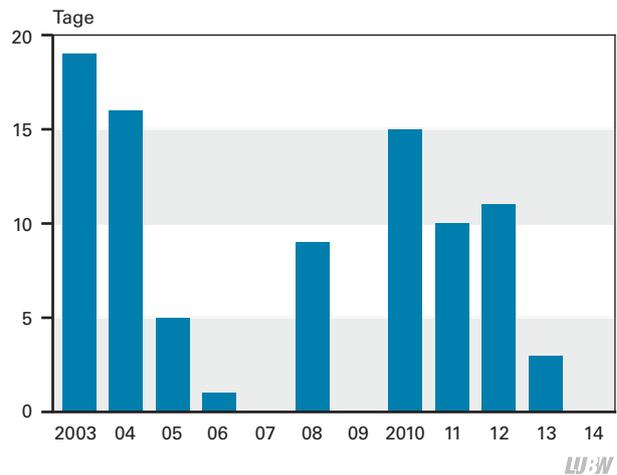


Abb. 11.6-1: Dauer der Belüftungsmaßnahmen.

Die LUBW hat die Aufgabe, die Sauerstoffverhältnisse an ihren 13 Messstationen entlang des Neckars zu beobachten und erforderlichenfalls geeignete Belüftungsmaßnahmen in die Wege zu leiten (Abb. 11.6-1), um Fisch- oder Muschelsterben zu verhindern. Die LUBW unterhält in den Sommermonaten einen Bereitschaftsdienst, um diese Aufgabe rund um die Uhr erfüllen zu können und arbeitet eng mit der Wasserschutzpolizei und den Energieversorgungsunternehmen zusammen.

Derzeit liegt ein Schwerpunkt des wasserwirtschaftlichen Handelns in Maßnahmen zur Reduzierung der Phosphoreinträge (vgl. Kap. 5). Mittelfristig ist dadurch eine weitere Verbesserung der Situation zu erwarten.

# Informationsmöglichkeiten im Internet

Bund	
<a href="http://www.bfn.de">www.bfn.de</a>	Bundesamt für Naturschutz
<a href="http://www.bfs.de">www.bfs.de</a>	Bundesamt für Strahlenschutz
<a href="http://www.bmel.de">www.bmel.de</a>	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
<a href="http://www.bmub.bund.de/">www.bmub.bund.de/</a>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
<a href="http://www.bmvi.de">www.bmvi.de</a>	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
<a href="http://www.bmwi.de">www.bmwi.de</a>	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
<a href="http://www.bundesnetzagentur.de">www.bundesnetzagentur.de</a>	Bundesnetzagentur
<a href="http://www.bvl.bund.de">www.bvl.bund.de</a>	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
<a href="http://www.destatis.de">www.destatis.de</a>	Statistisches Bundesamt
<a href="http://www.dihk.de">www.dihk.de</a>	Deutscher Industrie- und Handelskammertag
<a href="http://www.dwd.de">www.dwd.de</a>	Deutscher Wetterdienst
<a href="http://www.umweltbundesamt.de">www.umweltbundesamt.de</a>	Umweltbundesamt

Land Baden-Württemberg	
<a href="http://www.cvuas.de">www.cvuas.de</a>	Die Untersuchungsämter für Lebensmittelüberwachung und Tiergesundheit
<a href="http://www.forstbw.de">www.forstbw.de</a>	Landesbetrieb ForstBW
<a href="http://www.fva-bw.de">www.fva-bw.de</a>	Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg
<a href="http://www.gaa.baden-wuerttemberg.de">www.gaa.baden-wuerttemberg.de</a>	Gewerbeaufsicht Baden-Württemberg
<a href="http://www.lazbw.de">www.lazbw.de</a>	Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg
<a href="http://www.lgrb-bw.de">www.lgrb-bw.de</a>	Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau im Regierungspräsidium Freiburg
<a href="http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de">www.lubw.baden-wuerttemberg.de</a>	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
<a href="http://www.mfw.baden-wuerttemberg.de">www.mfw.baden-wuerttemberg.de</a>	Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg
<a href="http://www.mlz.baden-wuerttemberg.de">www.mlz.baden-wuerttemberg.de</a>	Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg
<a href="http://www.mvi.baden-wuerttemberg.de">www.mvi.baden-wuerttemberg.de</a>	Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg
<a href="http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de">www.statistik.baden-wuerttemberg.de</a>	Statistisches Landesamt Baden-Württemberg
<a href="http://www.um.baden-wuerttemberg.de">www.um.baden-wuerttemberg.de</a>	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Arbeitskreise / Agenturen / Verbände	
<a href="http://www.blag-klina.de">www.blag-klina.de</a>	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft „Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit“ (BLAG KIiNa)
<a href="http://www.igkb.org">www.igkb.org</a>	Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee
<a href="http://www.kea-bw.de">www.kea-bw.de</a>	Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH
<a href="http://www.lak-energiebilanzen.de">www.lak-energiebilanzen.de</a>	Länderarbeitskreis Energiebilanzen
<a href="http://www.lawa.de">www.lawa.de</a>	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)
<a href="http://www.liki.nrw.de">www.liki.nrw.de</a>	Länderinitiative Kernindikatoren – LIKI
<a href="http://www.labo-deutschland.de">www.labo-deutschland.de</a>	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO)
<a href="http://www.la-na.de">www.la-na.de</a>	Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Naturschutz, Landschaftspflege und Erholung (LANA)
<a href="http://www.lai-immissionsschutz.de">www.lai-immissionsschutz.de</a>	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)
<a href="http://www.laga-online.de">www.laga-online.de</a>	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)
<a href="http://www.ugrdl.de">www.ugrdl.de</a>	Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (AK UGRdL)

# Literatur

## Kapitel 1 Nachhaltiges Baden-Württemberg

BMEL (2015): Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2014. Stand: 01.02.15.

BMU (2012): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes). Mai 2012.

BPA (2012): Presse- und Informationsamt der Bundesregierung: Nationale Nachhaltigkeitsstrategie – Fortschrittsbericht 2012. Stand: 31. Oktober 2011. Kabinettsbeschluss vom 15. Februar 2012.

BUNDESREGIERUNG (2002): Perspektiven für Deutschland – Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung.

FORSTBW (2012): Landesbetriebe ForstBW: Jahresbericht 2012.

FVA (2014): Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA): Waldzustandsbericht 2014 für Baden-Württemberg.

ISO (2013): International Organization for Standardization (ISO): The ISO Survey of Management System Standard Certifications – 2013. [http://www.iso.org/iso/iso\\_survey\\_executive-summary.pdf?v2013](http://www.iso.org/iso/iso_survey_executive-summary.pdf?v2013) [Geprüft am 07.07.2015].

KALTSCHMITT, M.; HARTMANN, H. (2001): Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren (1. Aufl.). Berlin. Springer Verlag.

LGRB (2013): Regierungspräsidium Freiburg; Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau: LGRB-Informationen 27 – Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2012/2013. Bedarf, Gewinnung und Sicherung von mineralischen Rohstoffen – Dritter Landesrohstoffbericht. Dezember 2013.

LUBW UND STA LA (2014): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg und

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg: Daten zur Umwelt – Umweltindikatoren Baden-Württemberg. Stuttgart 2014.

MESSNER, J. (2015): Biogaserzeugung in Baden-Württemberg (unveröffentlicht).

MLR (2013): Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Naturschutzstrategie Baden-Württemberg. Stuttgart.

MLR (2015): Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg: <http://www.bio-aus-bw.de/Lde/Startseite> [Geprüft am 07.07.2015].

MVI (2014): Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg: Flächen gewinnen in Baden-Württemberg, 10 Jahre Aktionsbündnis. Stuttgart.

MVI (2015): Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg: <http://mvi.baden-wuerttemberg.de/de/mobilitaet-verkehr/nachhaltige-mobilitaet/> [Geprüft am 07.07.2015].

NAGUS (2014): NA 172 DIN-Normenausschuss Grundlagen des Umweltschutzes: Geschäftsstelle des DIN-Normenausschusses, Grundlagen des Umweltschutzes 2014. [http://www.nagus.din.de/sixcms\\_upload/media/2612/2014-05-30%20Certified%20Organizations%20ISO%2050001.pdf](http://www.nagus.din.de/sixcms_upload/media/2612/2014-05-30%20Certified%20Organizations%20ISO%2050001.pdf) [Geprüft am 29.07.2015].

REGIERUNGSERKLÄRUNG (2006): Regierungserklärung im Landtag von Baden-Württemberg am 21.06.2006.

SIGMUND, V.; FROMMHERZ, J. (1999/2000): Herleitung des verfügbaren Waldenergieholzpotenzials in Baden-Württemberg auf der Basis der Forsteinrichtungsplanung, Forstdirektion Freiburg. In: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (2002): Holz-Energie-Fibel (S. 39-48). Stuttgart.

UBA (2014): Umweltbundesamt: Reinhard Peglau, Number of ISO 50001 certified sites in Germany. Berlin. Stand: 30.05.2014.

UM (2014a): Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Geschäftsstelle Nachhaltigkeitsstrategie: Indikatorenbericht 2014, Statusindikatoren einer nachhaltigen Entwicklung in Baden-Württemberg. Stuttgart, Oktober 2014.

UM (2014b): Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg (IEKK). Stand: 15. Juli 2014.

UM (2014c): Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Abfallbilanz 2013 – 25 Jahre Abfallbilanz Baden-Württemberg. Stand: Juli 2014.

UM (2015): Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg. Vulnerabilitäten und Anpassungsmaßnahmen in relevanten Handlungsfeldern, Version 2.2. Stand: 30.04.2015. [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4\\_Klima/Klimawandel/20150430\\_Anpassungsstrategie\\_BW\\_Arbeitsentwurf\\_.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimawandel/20150430_Anpassungsstrategie_BW_Arbeitsentwurf_.pdf) [Geprüft am 09.06.2015].

WM (2010): Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg: Biomasse-Aktionsplan Baden-Württemberg. Erste Fortschreibung.

## **Kapitel 2 Klima**

IPCC (2013): Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, 30. September 2013.

LUBW (2013): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Zukünftige Klimaentwicklung in Baden-Württemberg, Perspektiven aus regionalen Klimamodellen. Langfassung. Karlsruhe 2013.

UM (2014): Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg (IEKK). Stand: 15. Juli 2014.

## **Kapitel 3 Luft**

INFRAS (2010): INFRAS AG: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Version 3.1, Bern/Zürich.

LUBW (2008): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Ammoniak in der Umwelt – Messprogramme und Messergebnisse 2003-2007, Karlsruhe 2008.

LUBW (2014): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Luftreinhaltepläne für Baden-Württemberg – Grundlagenband 2013, Dokumentationsnummer 31-02/2014, Karlsruhe, Dezember 2014.

LUBW (2015): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Luftschadstoff-Emissionskataster Baden-Württemberg 2012, Dokumentationsnummer 31-01/2015, Karlsruhe, März 2015.

StALA (2013): Statistisches Landesamt Baden-Württemberg: Viehbestände und -halter in den Stadt- und Landkreisen Baden-Württembergs. Stuttgart 2013.

## **Kapitel 4 Boden**

BGR (2008): Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Flächenrepräsentative Hintergrundwerte für Arsen, Antimon, Beryllium, Molybdän, Kobalt, Selen, Thallium, Uran und Vanadium in Böden Deutschlands aus länderübergreifender Sicht. Hannover, Archiv Nr. 10040/08.

LABO (2003): Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz: Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden mit Datenanhang. 3. Auflage, 2003. [https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO-HGW-Text\\_4e3.pdf](https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO-HGW-Text_4e3.pdf) [Geprüft am 29.07.2015].

LFU (1994): Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Schwermetallgehalte in Böden aus verschiedenen Ausgangsgesteinen Baden-Württembergs. Materialien zum Bodenschutz, Heft 3.

LUBW (2008): Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg. Schriftenreihe Bodenschutz 21. Karlsruhe, Dezember 2008.

MWKEL (2013): Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz: Hintergrundwerte der Böden von Rheinland-Pfalz. Stand: 2013.

UTERMANN, J.; FUCHS, M. (2008): Uranium in German soils. In: De Kok, L. und Schnug, E., (Hrsg.): Load and Fate of fertilizerderived Uranium (S. 33-47). Leiden: Backhuys.

WEDEPOHL, K.H. (1995): The composition of the continental crust. In: Reimann, C., Caritat, P. (1998): Chemical Elements in the environment (S. 17-357). Berlin: Springer.

## **Kapitel 5 Wasser**

IGKB (2009): Jahresbericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Limnologischer Zustand des Bodensees Nr. 37.

IKSR (2009): Internationale Kommission zum Schutz des Rheins. International koordinierter Bewirtschaftungsplan für die internationale Flussgebietseinheit Rhein.

IKSR (2010): Internationale Kommission zum Schutz des Rheins. Strategie Mikroverunreinigungen – Strategie für die Siedlungs- und Industrieabwässer. IKSR-Bericht Nr. 181d.

IKSR (2014): Internationale Kommission zum Schutz des Rheins: Rheinstoffliste 2014. IKSR-Bericht Nr. 215.

KOMPS (2015): Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg. Kläranlagenkarte, Stand: 02/2015. [http://www.koms-bw.de/pulsepro/data/img/uploads/Klaeranlagenkarte\\_2015\\_02\\_neu\(5\).pdf](http://www.koms-bw.de/pulsepro/data/img/uploads/Klaeranlagenkarte_2015_02_neu(5).pdf) [Geprüft am 28.02.2015].

LAWA (1998): Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser: Gewässerbewertung stehende Gewässer. Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von natürlich entstandenen Seen nach trophischen Kriterien.

LAWA (2007): Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, LAWAO Rahmenkonzeption Monitoring, Teil B: Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibung, Arbeitspapier II: Hintergrund- und Orientierungswerte für physikalisch-chemische Komponenten. Stand: 07.03.2007.

LAWA (2014): Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, LAWAO Rahmenkonzeption Monitoring, Teil B: Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibung, Arbeitspapier II: Hintergrund- und Orientierungswerte für physikalisch-chemische Komponenten. Stand: 19.02.2014.

LUBW (2011a, b): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Berichte zum Grundwasserüberwachungsprogramm [www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/9162](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/9162) Jahresdatenkatalog Grundwasser (Gütedaten): [www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) > Themen > Wasser > Grundwasser > Jahresdatenkatalog Grundwasser [Geprüft am 29.07.2015].

UM, LUBW (2014): Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg und LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz: Spurenstoffinventar der Fließgewässer in Baden-Württemberg – Ergebnisse der Beprobung von Fließgewässern und Kläranlagen 2012/2013.

UM (2015): Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Kommunales Abwasser – Lagebericht 2015

## **Kapitel 6 Natur und Landschaft**

ARGE STICKSTOFFBW (2015): Arbeitsgemeinschaft StickstoffBW (Hrsg.): Ermittlung der in Baden-Württemberg eingesetzten Stickstoff-Mineraldüngermenge. Abgleich von Berechnungen mit Daten auf Bundes- und Landesebene. Stand: 2011. Fachdokumentendienst Umweltbeobachtung, ID U75-S7-N11, Karlsruhe. <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de>.

- BMEL (2012): Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Oktober 2014.
- JUMP, A.S.; HUNT, J.M. & PENUELAS, J. (2006): Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*. *Global Change Biology*, 12, 2163-2174.
- KOHNLE, U.; WOLF, T.; WILPERT, K. & YUE C. (2014). Wachstumstrends der Hauptbaumarten in Südwestdeutschland. *AFZ-Der Wald*, 69 (12), 6-8.
- NLWKN (2009): Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz: Status-Bericht zur Problematik von Dioxinen und Furanen und dl-PCB in Futtermitteln – unter besonderer Berücksichtigung von Gewässersedimenten der Ems. Hildesheim.
- PIOVESAN, G.; BIONDI, F.; DI FILIPO, A.; ALESSANDRINI, A.; MAUGERI, M. (2008): Drought-driven growth reduction in old beech (*Fagus sylvatica* L.) forests of the central Apennines, Italy. *Global Change Biology*, 14, 1265-1281.
- SCHARNWEBER, T.; MANTHEY, M.; CRIEGEE, C.; BAUWE, A.; SCHRÖDER, C. & WILMKING, M. (2011): Drought matters – Declining precipitation influences growth of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in north-eastern Germany. *Forest Ecology and Management*, 262, 947-961.
- WEBER, R.; BALLSCHMITER, K.-H.; KAMPHUES, J.; HOLLERT, H. & MOCH, K. (2014): Ursachen erhöhter Gehalte von dl-PCB von Rindfleisch aus extensiver Haltung. Fachgespräch „Eintragspfade von PCB in Rindfleisch – Stand des Wissens und Schlussfolgerungen“, Bonn, 3. Juni 2014. [www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/dokumente/uba-fg3\\_v2\\_weber\\_pcb\\_quellen\\_-\\_lokal\\_regional\\_ueberregional\\_ins\\_netz\\_mit\\_lit\\_2.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/dokumente/uba-fg3_v2_weber_pcb_quellen_-_lokal_regional_ueberregional_ins_netz_mit_lit_2.pdf) [Geprüft am 29.07.2015].
- Kapitel 7 Lärm**
- BMVI (2014): Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 2013.
- FLEISCHER, G. (2000): Gut hören – Heute und Morgen. Median Verlag, Heidelberg.
- GREISER, E.; JAHNSEN, K. & GREISER, C. (2006): Beeinträchtigung durch Fluglärm. Arzneimittelverbrauch als Indikator für gesundheitliche Beeinträchtigungen. Förderkennzeichen 205 51 100, Umweltbundesamt, Dessau.
- GREISER, E. (2010): Risikofaktor nächtlicher Fluglärm – Abschlussbericht über eine Fall-Kontroll-Studie zu kardiovaskulären und psychischen Erkrankungen im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn, in: Schriftenreihe Umwelt & Gesundheit 01/2010, Umweltbundesamt.
- HUSS, A.; SPOERRI, A.; EGGER, M. & RÖSLI, M. (2010): Aircraft Noise, Air Pollution and Mortality from Myocardial Infarction. *Epidemiology*, 21 (6), 829.
- IFA (2004): Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung: Lärm in Bildungsstätten (Fb 1030), in: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- ISF (2002): Institut für interdisziplinäre Schulforschung: Belastung und Beanspruchung von Lehrerinnen und Lehrern – Ergebnisse der empirischen Untersuchung von Belastung und Beanspruchung von Lehrerinnen und Lehrern in fünf Schulen Bremens und erste Schlussfolgerungen. [www.isf.uni-bremen.de/Publik\\_Belastung.htm](http://www.isf.uni-bremen.de/Publik_Belastung.htm) [Geprüft am 07.07.2015].
- LFU (2004): Landesanstalt für Umweltschutz: Lärmbelastung in Baden-Württemberg: Ergebnisse sozialwissenschaftlicher Untersuchungen. Karlsruhe.
- LUBW (2009): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Jahresaktion „Bearbeitung von Nachbarschaftsbeschwerden“. Interner Bericht der LUBW im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg. Karlsruhe.
- LUBW (2013): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Windenergie und Infraschall – Tieffrequente Geräusche durch Windenergieanlagen. Karlsruhe; Faltblatt.

LUBW (2015): Tieffrequente Geräusche und Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen. Zwischenbericht über Ergebnisse des Messprojekts 2013-2014. Karlsruhe.

MVI (2014): Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg: Leise(r) ist das Ziel! Lärmschutz als Querschnittsaufgabe stärken. Tätigkeitsbericht der Lärmschutzbeauftragten der baden-württembergischen Landesregierung. Stuttgart.

RPS (2013): Regierungspräsidium Stuttgart: Jahresbericht des Lärmschutzbeauftragten für den Flughafen Stuttgart.

UBA (2014): Umweltbundesamt: Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall. Berlin.

UBA (2015): Umweltbundesamt (UBA): Umweltbewusstsein in Deutschland 2014. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Berlin. [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de) > Publikationen > Suche nach „Umweltbewusstsein in Deutschland 2014“.

## Kapitel 8 Abfallwirtschaft

—

## Kapitel 9 Radioaktivität

BfS (2012): Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Jahresbericht 2012 und Bericht des Strahlenschutzregisters 2012, April 2014. [www.bfs.de](http://www.bfs.de) > Ionisierende Strahlung > Beruflicher Strahlenschutz [Geprüft am 12.01.2015].

KOELZER (2013): Lexikon zur Kernenergie. Hrsg.: Informationskreis Kernenergie. [www.kernenergie.de](http://www.kernenergie.de) > Service > Downloads > Lexikon zur Kernenergie.

## Kapitel 10 Elektromagnetische Felder

BAFU (2009): Bundesamt für Umwelt in der Schweiz: Niederfrequente Magnetfelder und Krebs – Bewertung von wissenschaftlichen Studien im Niedrigdosisbereich. Stand: August 2008. [www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01511/?lang=de](http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01511/?lang=de) [Geprüft am 12.01.2015].

BfS (2014): Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Wirkungen statischer und niederfrequenter Felder: [www.bfs.de/de/elektro/nff/wirkungen](http://www.bfs.de/de/elektro/nff/wirkungen) [Geprüft am 12.01.2015].

IARC/WHO (2011): International Agency for Research on Cancer/World Health Organization (IARC) und World Health Organization (WHO): IARC Classifies Radiofrequency Electromagnetic Fields as possibly Carcinogenic to Humans: [www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208\\_E.pdf](http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_E.pdf) [Geprüft am 12.01.2015].

SCHÜTZ, J.; MICHAELIS, J. (2000): Abschlussbericht der EMFII-Studie – „Epidemiologische Studie zur Assoziation von Leukämieerkrankungen bei Kindern und häuslicher Magnetfeldexposition“. <https://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-201004211560> [Geprüft am 29.07.2015].

## Kapitel 11 Überwachung und Warndienste

UNECE (1992): United Nations Economic Commission for Europe: UNECE-Übereinkommen über die grenzüberschreitenden Auswirkungen von Industrieunfällen (Industrieunfall-Konvention). Helsinki am 17. Mai 1992. ABl. L 326/5.