



Umweltdaten 2018

Baden-Württemberg

LU:BW



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Umweltdaten 2018
Baden-Württemberg

IMPRESSUM

Die vorliegende Broschüre erfüllt die Funktion des Umweltzustandsberichtes nach § 31 des Gesetzes zur Vereinheitlichung des Umweltverwaltungsrechts und zur Stärkung der Bürger- und Öffentlichkeitsbeteiligung im Umweltbereich vom Dezember 2013.

- HERAUSGEBER:** Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
Postfach 10 34 39, 70029 Stuttgart
www.um.baden-wuerttemberg.de

LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe
www.lubw.baden-wuerttemberg.de
- BEARBEITUNG:** LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg
Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg
Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg
Statistisches Landesamt Baden-Württemberg
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) im Regierungspräsidium Freiburg
- REDAKTION:** LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
Referat 21 – Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung
- BEZUG:** Die Broschüre ist gedruckt oder als Download im PDF-Format kostenlos erhältlich bei der LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, www.lubw.baden-wuerttemberg.de
- ISBN-NUMMER:** 978-3-88251-403-2
- STAND:** Oktober 2018
- DRUCK:** ABT Print und Medien GmbH Weinheim
Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier mit dem Blauen Engel (RAL-UZ 14)
- BERICHTSUMFANG:** 169 Seiten
- TITELBILDER:** Flachlandmähwiese: LUBW
Strommast: LUBW
Mülltonnen: LUBW
Radfahrer auf Radweg: Jürgen Fälchle/Fotolia.com
- PORTRAITBILDER:** Minister Untersteller: Umweltministerium / KD Busch
Präsidentin Bell: Foto Fabry, Ettlingen
- BILDER KAPITELSEITEN:** Kapitel 1 Radfahrer auf Radweg: Kara/Fotolia.com
Kapitel 2 Wolken mit Sonne: magann/Fotolia.com
Kapitel 3 Luftmessstation: LUBW
Kapitel 4 Ackerboden: LUBW
Kapitel 5 Gewässer: Rolf Stahl
Kapitel 6 Mähwiese: LUBW
Kapitel 7 Staßenarbeiten: www.alabiso.de
Kapitel 8 Bauschutt: Schäfer/Gamm
Kapitel 9 Kernkraftwerk Philippsburg: EnBW/Daniel Meier-Gerber
Kapitel 10 Hochwasservorhersagezentrale: Rolf Stahl

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

Vorwort



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

seit Jahrtausenden greift der Mensch in die Umwelt ein. Aber erst seit wenigen Jahrzehnten hat sein Handeln so erhebliche Folgen, dass nicht nur das natürliche ökologische Gleichgewicht beeinträchtigt ist, sondern die Belastbarkeitsgrenze unserer Erde insgesamt erreicht wird durch Treibhausgasemissionen, Stickstoffüberschuss, Bodenerosion und auch den Verlust an biologischer Vielfalt.

Diese Probleme sind jedoch nicht immer greifbar oder unmittelbar wahrnehmbar. Wir erkennen schlicht ihre Dringlichkeit nicht. Dies lässt sich vor allem bei globalen Herausforderungen wie dem Klimawandel beobachten. Umso wichtiger sind daher fundierte Daten, die umfassend den aktuellen Stand darstellen und Entwicklungen aufzeigen.

Aus diesen Daten müssen jedoch auch Schlussfolgerungen gezogen werden. Unsere Messungen und Indikatoren zeigen uns, dass wir unsere Reduktionsziele beim Treibhausgas für 2020 nicht erreichen werden. Dies liegt unter anderem daran, dass strukturelle Maßnahmen auf Bundes- und EU-Ebene nur zögerlich angegangen werden. Die notwendigen Schlussfolgerungen wurden dort eben nicht gezogen.

Dabei hat die Klimaerwärmung auch weitreichende ökologische und ökonomische Folgen direkt für Baden-Württemberg: Neun der zehn wärmsten Jahre seit Beginn der Aufzeichnungen traten in Baden-Württemberg nach dem Jahr 2000 auf. Auch 2018 wird wohl dazugehören. Wegen der hohen Wassertemperaturen im diesjährigen

Hitzesommer mussten wir für die Kraftwerke an Rhein und Neckar spezielle Ausnahmen erteilen, damit sie das Flusswasser weiter zur Kühlung nutzen und zumindest einen eingeschränkten Betrieb aufrechterhalten konnten. Die bis in den Herbst anhaltende Trockenheit hat die Pegel der Flüsse im Land so weit sinken lassen, dass der Nachschub an Kohle und Mineralöl ins Stocken geraten ist und die Preise für Benzin, Diesel und Heizöl gestiegen sind.

Dies sind alles unmittelbare Folgen der weltweiten Klimaveränderungen. Die Umweltdaten 2018 machen deutlich, dass wir unser Anstrengungen zum Schutz des Klimas auf allen Ebenen weiter intensivieren müssen.

Schon seit 1979 veröffentlicht das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft zusammen mit der Landesanstalt für Umwelt alle drei Jahre die Umweltdaten für Baden-Württemberg. Sie dienen als Umweltzustandsbericht der Information der Öffentlichkeit über die aktuelle Umweltsituation in Baden-Württemberg. Es werden positive Veränderungen der vorvergangenen Jahre aufgezeigt, aber auch Entwicklungen, bei denen Handlungsbedarf besteht. Die Umweltdaten 2018 zeigen darüber hinaus die Folgen unseres Produktions- und Konsumverhaltens auf und können auf diese Weise zur Sensibilisierung von Wirtschaft und Zivilgesellschaft beitragen.

Nur mit einer gut informierten Öffentlichkeit, die sich den ökologischen Herausforderungen bewusst ist, können auf Dauer Erfolge im Umweltschutz erzielt und die Grundlage für eine nachhaltige Entwicklung Baden-Württembergs gelegt werden.

Allen, die bei der Erstellung der Umweltdaten 2018 mitgewirkt haben, danke ich herzlich und wünsche allen Leserinnen und Lesern eine aufschlussreiche Lektüre.

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

Franz Untersteller MdL

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

Vorwort



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

unsere Umwelt, ein komplexes System von ineinander greifenden und vernetzten Vorgängen und Strukturen, ist Lebensgrundlage für Menschen, Tiere und Pflanzen. Mit unseren Aktivitäten greifen wir tagtäglich in diese Umwelt ein. Vermeintlich kleine Maßnahmen haben in der Summe gravierende Auswirkungen auf die Umwelt. Der Abbau der Ozonschicht durch die zunächst für harmlos gehaltenen FCKW ist hierfür ein Beispiel. Erst durch das weltweite Übereinkommen, die Produktion der schädlichen Substanzen einzustellen, konnte der weitere Abbau der Ozonschicht gestoppt und eine Erholung erreicht werden.

Um Veränderungen zu erkennen und rechtzeitig reagieren zu können, ist ein fundiertes, detailliertes und umfassendes Wissen über den Zustand und die Entwicklung der Umwelt in ihrer Gesamtheit notwendig.

In Baden-Württemberg ist die LUBW Landesanstalt für Umwelt verantwortlich dafür, dass dieses Wissen erhoben wird. Die LUBW misst, dokumentiert und bewertet Daten zur Umwelt in allen ihren Facetten. Die wichtigsten Ergebnisse und Entwicklungen unserer Arbeit werden nun schon seit 39 Jahren im regelmäßigen Turnus in den Umweltdaten zusammengefasst und vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg gemeinsam mit der LUBW herausgegeben. Damit wird auch der gesetzliche Auftrag eines Berichts des Landes über den Zustand der Umwelt im Landesgebiet erfüllt. Das Bild vom Zustand unserer Umwelt wird vervollständigt durch Daten und Beiträge des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg, des Ministeriums für Verkehr Baden-Württemberg, des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg, des Statisti-

schen Landesamts Baden-Württembergs und des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau im Regierungspräsidium Freiburg. Hierfür möchte ich an dieser Stelle meinen herzlichen Dank aussprechen.

In einigen Bereichen können wir von positiven Entwicklungen berichten: der Anteil der ökologisch bewirtschafteten Flächen an der Landwirtschaftsfläche nimmt stetig zu und liegt mit über 10 % deutlich über dem Bundeswert. Auch bei Energie- und Rohstoffproduktivität konnten im letzten Berichtsjahr weitere Steigerungen festgestellt werden. Untersuchungen des Grundwassers zeigen, dass die Funde zu Pflanzenschutzmitteln zurückgehen.

Aber das Bild, das wir Ihnen in diesem Jahr zeichnen, weist auch dunklere Stellen aus. Der Klimawandel führt zu wärmeren Sommern. Die veränderten Bedingungen begünstigen die Verbreitung wärmeliebender, gebietsfremder Arten. So sind Insekten, die tropische Krankheiten übertragen können, ungebetene neue Arten. Auch ist es noch nicht gelungen, die Treibhausgas-Emissionen im erforderlichen Maße zu senken.

Die Konzentrationen von Stickstoffdioxid im Jahr 2017 liegen, bedingt durch den Straßenverkehr, an zu vielen Messstationen in direkter Nähe des Straßenverkehrs noch immer über dem zulässigen Grenzwert, auch wenn sich die Luftqualität insgesamt verbessert hat. Der Straßenverkehr tritt aber nicht nur als Verursacher von Luftverunreinigungen in Erscheinung, auch für gesundheitsschädlichen Lärm ist er die bedeutendste Quelle.

Viele der biologischen Untersuchungsstellen an Fließgewässern in Baden-Württemberg zeigen ökologische Defizite wegen zu hoher Gehalte des Pflanzennährstoffs Phosphat, naturferner Gewässerstrukturen oder Wanderungshindernissen.

All diese Daten zeigen, dass weiterhin große Anstrengungen unternommen werden müssen, um unsere Umwelt in ihrer Vielfalt und ihrem Artenreichtum für zukünftige Generationen zu erhalten und die Lebensbedingungen für die Menschen weiter zu verbessern.

A handwritten signature in black ink that reads "E. Bell".

Eva Bell

Präsidentin der Landesanstalt für Umwelt
Baden-Württemberg

Inhalt

1	NACHHALTIGES BADEN-WÜRTTEMBERG	7
1.1	Umweltindikatoren	8
1.2	Natürliche Ressourcen	18
1.3	Energieerzeugung und -verbrauch	22
1.4	Umweltschutz in Wirtschaft und Kommunen	29
2	KLIMA	33
2.1	Emission von Treibhausgasen	34
2.2	Klimawandel und seine Folgen	39
3	LUFT	45
3.1	Erhebung der Emissionen	46
3.2	Immissionsmessnetze und Depositionsmessnetz	47
3.3	Luftverunreinigungen	49
3.4	Depositionen	63
4	BODEN	65
4.1	Moorkataster – Wasserstandsmessungen	66
4.2	Bodendauerbeobachtung	68
4.3	Per- und polyfluorierte Chemikalien im Boden	69
4.4	Altlastenbearbeitung	71
5	WASSER	74
5.1	Grundwasser	75
5.2	Fließgewässer	82
5.3	Stehende Gewässer	90
5.4	Abwasser	95
5.5	Hydrologie der Oberflächengewässer	99
6	NATUR UND LANDSCHAFT	101
6.1	Flächenschutz	102
6.2	Artenschutz	108
6.3	Europäischer Naturschutz	113
6.4	Naturschutzrechtliche Eingriffsregelung	116
6.5	Medienübergreifende Umweltbeobachtung	117
6.6	Wald	126
7	LÄRM	130
7.1	Belästigung durch Lärm	131
7.2	Lärmkartierung und Lärmaktionsplanung	132
7.3	Straßenverkehrslärm	133
7.4	Schienenverkehrslärm	135

7.5	Fluglärm	136
7.6	Verkehrslärmessungen	138
7.7	Anlagenlärm (Industrie und Gewerbe)	139
7.8	Lärm im Wohnumfeld	139
7.9	Lärm in Kindergärten und Schulen	140
8	ABFALLWIRTSCHAFT	141
8.1	Abfallaufkommen	142
8.2	Entsorgung von Abfällen	144
9	RADIOAKTIVITÄT	147
9.1	Anlagenbezogene Emissionsüberwachung	148
9.2	Anlagenbezogene Immissionsüberwachung	151
9.3	Umweltbezogene Immissionsüberwachung	151
9.4	Strahlenexposition des Menschen	154
10	ÜBERWACHUNG UND WARNDIENSTE	156
10.1	Kernreaktor-Fernüberwachung	157
10.2	Anlagensicherheit	159
10.3	Informationsdienst zu Luftschadstoffen	161
10.4	Hochwasservorhersagezentrale	162
10.5	Warn- und Alarmplan Rhein	163
10.6	Sauerstoffreglement Neckar	164
	INFORMATIONSMÖGLICHKEITEN IM INTERNET	165
	LITERATUR	166



Nachhaltiges Baden- Württemberg

1

Das Wichtigste in Kürze

Zwei der insgesamt 19 dargestellten **Umweltindikatoren** zeigen eine deutlich positive Entwicklung. Die mittlere jährliche Steigerung der Energieproduktivität in Baden-Württemberg lag in den letzten zehn Jahren deutlich über den in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie von 2016 angestrebten 2,1 %. Ebenfalls positiv zu bewerten ist die Entwicklung bei der ökologischen Landwirtschaft. Defizite zeigen sich dagegen unter anderem beim Indikator Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert. Seit der Ersterhebung 2009 sind rund 6,5 % der Landwirtschaftsfläche mit hohem Naturwert verloren gegangen.

Der **Primärenergieverbrauch** erreichte im Jahr 2006 mit über 470 Terawattstunden einen Höhepunkt und ging seitdem deutlich zurück. Im Jahr 2016 lag er bei 400 Terawattstunden. Der Einsatz von Kernkraft und fossilen Energieträgern wie Steinkohle und Erdgas verringert sich. Ihre Anteile am Primärenergieverbrauch zusammen haben sich von 2000 bis 2016 um 20 % reduziert.

Dagegen kamen vermehrt **erneuerbare Energieträger** zum Einsatz. Durch ihre vor allem seit 2003 zunehmende Nutzung stieg ihr Anteil am Primärenergieverbrauch von 2,0 % im Jahr 1990 auf 12,7 % im Jahr 2016. Den größten Anteil, bezogen auf den Primärenergieverbrauch aus erneuerbaren Energien, hat die Biomasse mit etwa 70 %, gefolgt von Solarenergie mit 12,5 % und Wasserkraft mit 9,5 %. Einen Überblick über den Ausbau der Erneuerbaren Energien gibt seit Dezember 2015 der Energieatlas Baden-Württemberg. Über dieses Internet-Portal sind Wind- und Wasserkraftanlagen sowie installierte Photovoltaikanlagen in Karten und Tabellen abrufbar. Daneben sind Nutzungsmöglichkeiten, Potenzialflächen und umfangreiche Hintergrundinformationen hinterlegt.

Die Umsätze, die Betriebe in Baden-Württemberg mit **Waren, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz** erwirtschafteten, beliefen sich im Jahr 2016 auf etwa 11,26 Mrd. Euro und lagen damit etwa 8 % niedriger als im Vorjahr. Noch stärker, um etwa 18 %, ging die Anzahl der Beschäftigten gegenüber dem Vorjahr zurück.

Umweltschutz und Nachhaltigkeit sind auf **kommunaler Ebene** zentrale Themen. 135 Kommunen, die sich mit vielfältigen Aktivitäten für eine nachhaltige Entwicklung engagieren, sind im Nachhaltigkeitsatlas Baden-Württemberg erfasst. 100 Städte und 20 Landkreise nehmen zurzeit an dem vom Land geförderten „European Energy Award – eea“ teil und leisten damit einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz. Rund 100 Kommunen sind mit einem „Fairtrade-Town“-Siegel für herausragende Aktivitäten zur Förderung des Fairen Handels ausgezeichnet.

Die Nachhaltigkeitsstrategie Baden-Württemberg verfolgt Ziele und konkrete Lösungen für eine nachhaltigere Entwicklung im Land. Mit der Neuausrichtung 2011 hat sich die Landesregierung zum Ziel gesetzt, Nachhaltigkeit zum zentralen Entscheidungskriterium der Landespolitik zu machen. Hierfür wurde die Nachhaltigkeitsprüfung mit dem Nachhaltigkeitscheck von Gesetzesvorlagen und Verwaltungsvorschriften auf Landesebene weiterentwickelt. Damit soll eine größere Transparenz des Prozesses erreicht werden. Außerdem wird seit dem Jahr 2014 in einem Turnus von zwei Jahren ein Indikatorenbericht der Landesregierung mit Statusindikatoren einer nachhaltigen Entwicklung publiziert.

Das Prinzip der Nachhaltigkeit ist heute mit vielen Projekten in der Politik, der Wirtschaft und der Bevölkerung Baden-Württembergs verankert. Besondere Initiativen wurden für die Jugend, die Kommunen und mit der WIN-Charta für Unternehmen ins Leben gerufen.

Im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie werden ökonomische, soziale und ökologische Aspekte berücksichtigt. In diesem Bericht zu den Umweltdaten liegt der Fokus bei den ökologischen Aspekten und dem Zustand von Natur und Umwelt.

1.1 Umweltindikatoren

Umweltindikatoren sind Mess- oder Kenngrößen für die Bewertung und Trendbeschreibung der Umweltsituation. Sie fassen komplexe Zusammenhänge in umweltpolitisch relevanten Themenfeldern auf anschauliche Weise zusammen.

Zum Großteil wurden die hier dargestellten Indikatoren von der Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI) entwickelt, einer Arbeitsgemeinschaft von Umweltfachbehörden der Länder und des Bundes (www.liki.nrw.de). Diese Indikatoren werden von der Umweltministerkonferenz zur Anwendung empfohlen.

Die in den Umweltdaten 2018 vorgestellten Indikatoren sind als langjährige Trendlinien dargestellt und gehen auf

die Themenbereiche Klima und Energie, Natur und Landschaft, Umwelt und Verkehr sowie Ressourcen ein.

Wenn es aufgrund der Datenverfügbarkeit möglich ist, werden neben den Trendlinien für Baden-Württemberg die Werte für Deutschland dargestellt. Dazu sind einige der Kenngrößen nicht in absoluten Werten, sondern bezogen auf die Bevölkerung angegeben.

Die Indikatoren werden auf Basis des erkennbaren Trends und – dem Indikatorenbericht 2016 des Landes folgend – anhand des aktuell erreichten Zustandes mit einem Ampelschema bewertet. Bei einigen Indikatoren ist keine Bewertung möglich. Hier sind entweder die Datenreihen zu kurz oder es liegt keine konkrete Zielaussage vor.

Tab. 1.1-1: Übersicht über die Bewertung der Indikatoren.

Klima und Energie		Umwelt und Gesundheit	
Klimawandel und Vegetationsentwicklung	○	Luftqualität - Stickstoffdioxid	●
Treibhausgasemissionen	●	Lärmbelastung	○
Energieverbrauch privater Haushalte	●	Güterverkehrsaufwand	●
Erneuerbare Energien	●	Öffentlicher Personennahverkehr	●
		Nitrat im Grundwasser	●
Natur und Landschaft		Ressourcen und Effizienz	
Artenvielfalt und Landschaftsqualität	●	Ökologische Landwirtschaft	●
Naturschutzflächen	●	Häusliche Abfälle	●
Waldzustand	●	Energieproduktivität	●
Säureeintrag	●	Rohstoffproduktivität	●
Landwirtschaft mit hohem Naturwert	●	Flächenverbrauch ¹⁾	nicht dargestellt
Gewässerstruktur	○		

● Trend ist positiv, deutliche Verbesserung des Zustands oder Erreichen des Zielwerts ist bereits jetzt oder in absehbarer Zeit möglich.

● Trend ist positiv, deutliche Verbesserung des Zustands oder Erreichen des Zielwerts ist in absehbarer Zeit noch nicht möglich.

● Trend ist negativ, deutliche Verbesserung des Zustands oder Erreichen des Zielwerts ist in absehbarer Zeit nicht möglich.

○ keine Bewertung möglich

LU:W

1) Aufgrund einer Umstellung der Erhebungsmethodik und des Koordinatensystems sind die Daten zur Flächeninanspruchnahme für die letzten drei Jahre noch unsicher und als Indikator zz. ungeeignet. Informationen hierzu in Kapitel 1.2.3

1.1.1 Klima und Energie

Klimawandel und Vegetationsentwicklung

Beginn und Ende pflanzlicher Entwicklungsphasen wie Blattaustrieb, Blüte oder Blattfall sind u. a. von Witterung und Klima abhängig. Die Veränderung dieser phänologischen Phasen kann als Folge des Klimawandels gesehen werden. Der Beginn der Apfelblüte dient als Anzeiger des Eintritts des Vollfrühlings. Zusätzlich wird die Dauer der Vegetationsperiode betrachtet, erfasst durch die Zeitspanne zwischen dem Blühbeginn der Sal-Weide und dem Tag der ersten Blattverfärbung der Stiel-Eiche.

Ziel: Die Klima-Anpassungsstrategie Baden-Württembergs soll u. a. 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. Es 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 2015a].

Bewertung: Die dargestellten, jeweils über 30 Jahre gerechneten gleitenden Mittelwerte zeigen eine deutliche Vorver-

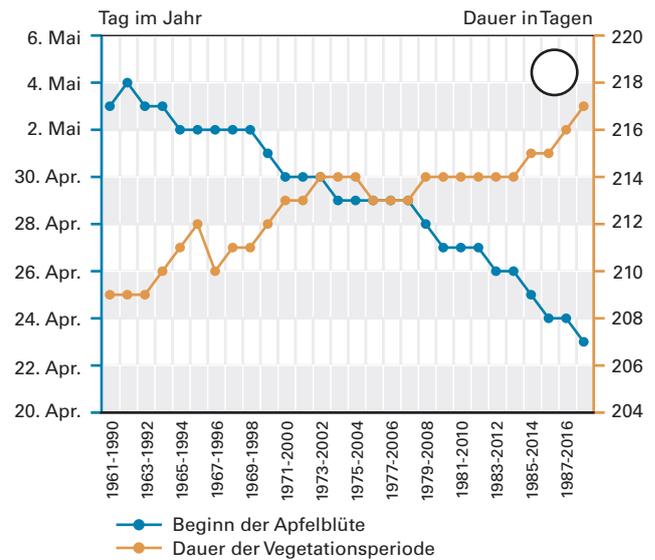


Abb. 1.1-1: Veränderung des Beginns der Apfelblüte und Veränderung der Dauer der Vegetationsperiode. Quelle: LIKI, DWD. Stand: 2018.

legung des Beginns der Apfelblüte sowie eine Verlängerung der Vegetationsperiode um etwa acht Tage.

Weiterführende Informationen in Kapitel 2.1.

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. Die Emissionen von Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) werden in CO₂-Äquivalenten angegeben.

Ziel: Im Jahr 2020 sollen in Baden-Württemberg gegenüber dem Jahr 1990 25 % weniger Treibhausgase emittiert werden. Bis im Jahr 2050 wird eine Minderung um 90 % angestrebt [KSG BW 2013].

Bewertung: Die absoluten Treibhausgasemissionen lagen 2016 etwa 2,4 % über dem Vorjahr. Gegenüber dem Referenzjahr 1990 sanken die Emissionen absolut um rund 12 %. Aufgrund der sich abzeichnenden Klimaschutzlücke von 8 % für das Jahr 2020 auf Bundesebene wird voraussichtlich auch Baden-Württemberg seine Ziele um 2,3 bis 6,7 Prozentpunkte verfehlen. Neben dem Bund, der beim Klimaschutz hinter seinen Möglichkeiten zurück blieb,

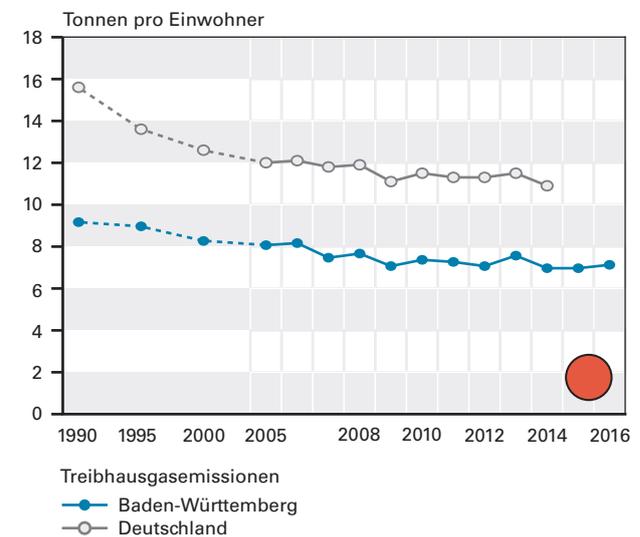


Abb. 1.1-2: Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid, Methan und Lachgas). Quelle: AK UGRdL, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2018.

sind auch die fehlende Entwicklung im europäischen Emissionshandel und der schleppende Netzausbau, der den Transport von erneuerbaren Energien in den Süden hemmt, als Ursache für diese Lücke zu nennen.

Weiterführende Informationen in Kapitel 2.1

Energieverbrauch privater Haushalte

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

Endenergie ist die vom Verbraucher bezogene Energie wie Fernwärme, Strom oder Mineralölprodukte.

Ziel: Der absolute Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg soll bis 2020 im Vergleich zum Jahr 2010 um 16 % gesenkt werden. Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch sollen weiter entkoppelt werden [IEKK 2014].

Bewertung: Der auf Einwohner bezogene Endenergieverbrauch der privaten Haushalte nimmt seit Mitte der 2000er-Jahre tendenziell ab. Unter anderem führten aber in den Jahren 2015 und 2016 kühle Witterungsbedingungen und der dadurch erhöhte Heizbedarf sowie Verbrauchssteigerungen im Verkehrssektor wieder zu einem leichten Anstieg des Energieverbrauchs.

Private Haushalte tragen zum gesamten Endenergieverbrauch zu annähernd 30 % bei.

Weiterführende Informationen in Kapitel 1.3.

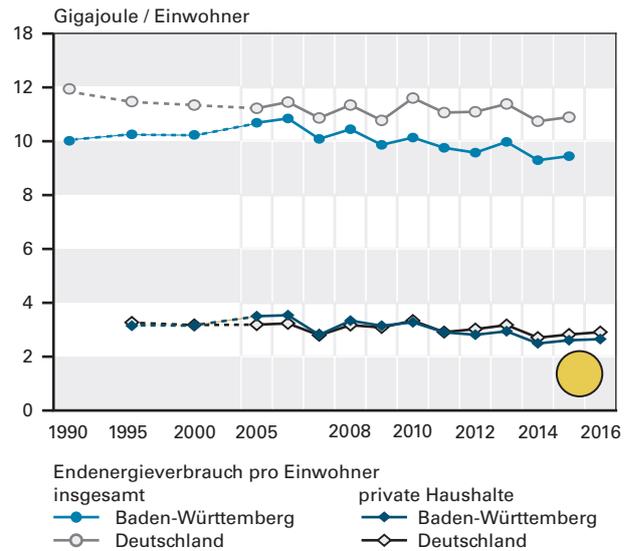


Abb. 1.1-3: Endenergieverbrauch privater Haushalte. Quelle: LIKI, AK UGRdL. Stand: 2018.

Erneuerbare Energien

Durch die Umstellung auf erneuerbare Energieträger kann der Ausstoß von Treibhausgasen reduziert und der Verbrauch fossiler Energieträger gesenkt werden.

Ziel: Im Jahr 2020 soll der Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch in Baden-Württemberg auf 36 %, beim Wärmeverbrauch auf 21 % steigen. Bis im Jahr 2050 sollen 89 % des Stromverbrauchs und 88 % des Wärmeverbrauchs aus erneuerbaren Energien gedeckt werden [IEKK 2014].

Bewertung: Die Bedeutung erneuerbarer Energieträger für die Energieversorgung in Baden-Württemberg ist in den letzten zehn Jahren deutlich gewachsen. Im Jahr 2016 lag der Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch in Baden-Württemberg bei 12,7 %. Wesentlichen Anteil an dieser Entwicklung hat die Energiegewinnung aus Biomasse, aus der etwa 70 % der erneuerbaren Primärenergie gewonnen wird. Der Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch lag 2016 bei 21,4 %.

Weiterführende Informationen in Kapitel 1.3.

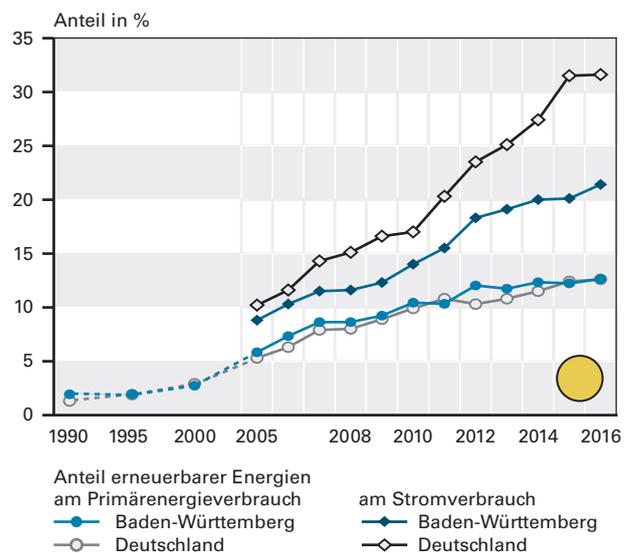


Abb. 1.1-4: Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch und am Stromverbrauch. Quelle: LIKI, AK UGRdL. Stand: 2018.

1.1.2 Natur und Landschaft

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.

Dargestellt wird der Bestandsindex von Feldlerche, Feldsperling und Goldammer, die alle zum Hauptlebensraumtyp „Agrarland“ gehören.

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 2014].

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. Im Zeitraum 2013 bis 2015 zeigen sich auf Landesebene leicht zunehmende Indizes.

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: Die Ausweisung von Naturschutzgebieten wird in Baden-Württemberg gemäß der Naturschutzstrategie 2020 verstärkt, wenn die jeweiligen Schutzziele über einen rein freiwilligen Naturschutz (Vertragsnaturschutz) nicht oder weniger gut erreicht werden [MLR 2014].

Bewertung: Der Anteil der Naturschutzflächen an der Landesfläche hat sich seit 1990 stetig erhöht. Die Ausweisung des Nationalparks Schwarzwald im Jahr 2014 führte zu einer Ausweitung der Naturschutzflächen auf 2,7 % der Landesfläche.

Den Erfolgen des Natur- und Artenschutzes, die sich unter anderem bei der Ausweitung der Naturschutzflächen abbilden, steht eine wachsende Gefährdung ehemals sehr häufiger Arten der Normallandschaften außerhalb geschützter Landschaftsbestandteile gegenüber.

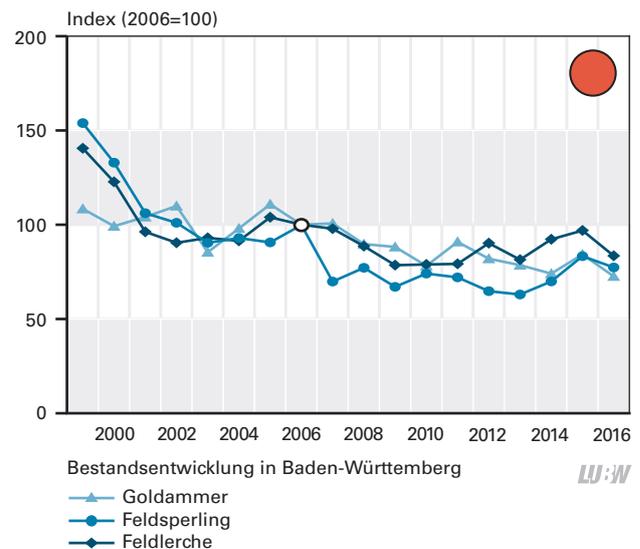


Abb. 1.1-5: Bestandsindex von Feldlerche, Feldsperling und Goldammer für Baden-Württemberg. Stand: 2018.

Aussagen zu Bestandsänderungen lassen sich allerdings erst anhand statistisch signifikanter Zehnjahrestrends treffen.

Weiterführende Informationen in Kapitel 6.2.4.

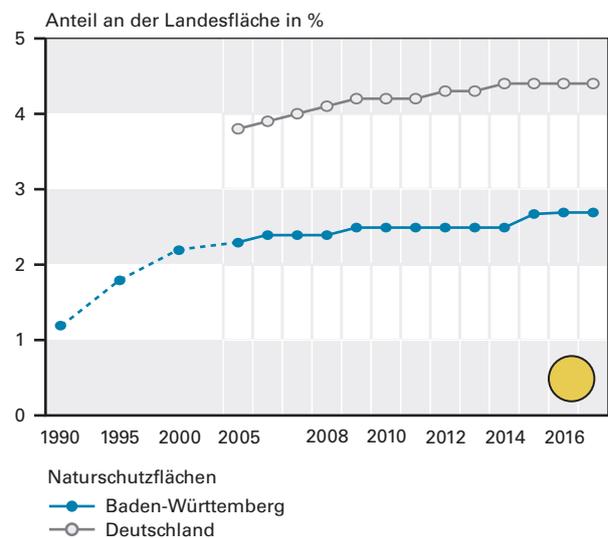


Abb. 1.1-6: Anteil der bundeseinheitlich nach Naturschutzrecht streng geschützten Gebiete (Naturschutzgebiete, Kern- und Pflegezonen der Nationalparke und der Biosphärenreservate) an der Landesfläche. Quelle: LIKI ergänzt durch LUBW. Stand: 2018.

Waldzustand

Ein gesunder Wald ist für den Naturhaushalt und eine nachhaltige Rohstoffversorgung von großer Bedeutung. Als Ursache für die Waldschäden lässt sich nicht ein einzelner Faktor verantwortlich machen. Einerseits wirken z. B. Luftschadstoffe direkt, andererseits führt aber z. B. die Bodenversauerung indirekt zu einer Schädigung. Auch die Witterung, wie im extrem trockenen Sommer 2003, hat Einfluss auf den Vitalitätszustand der Bäume.

Ziel: Der Anteil deutlich geschädigter Waldflächen soll reduziert werden [BMEL 2017]. Ein konkretes Ziel ist für diesen Indikator nicht definiert.

Bewertung: Der Waldzustand in Baden-Württemberg hat sich im Jahr 2017 trotz einer regional sehr angespannten Wasserversorgung der Waldbestände gegenüber dem Vorjahr leicht verbessert. Die deutlichste Verbesserung zeigten ältere Buchenbestände. Verschlechtert hat sich hingegen der Kronenzustand der Baumarten Kiefer, Esche und Eiche. Weiterführende Informationen in Kapitel 6.6 und im Waldzustandsberichtbericht der FVA (www.fva-bw.de).

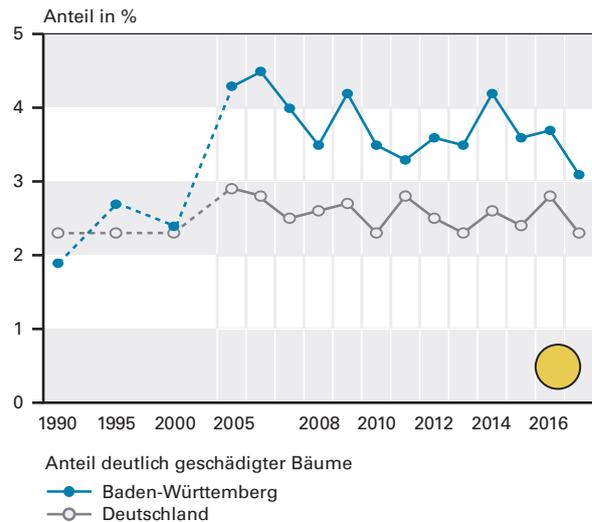


Abb. 1.1-7: Anteil der deutlich geschädigten Bäume der Stufe 2 („mittelstark geschädigt“) und höher. Quelle: LIKI. Stand: 2018.

Säureeintrag

Ein Überangebot an säurebildenden Stoffen verursacht Veränderungen chemischer und biologischer Bodenparameter und beeinflusst so Vegetation und Grundwasser. Der Indikator zeigt die Hintergrundbelastung durch Säureinträge durch nasse Deposition auf Freiflächen im Wald. Der Säureeintrag ergibt sich aus der gewichteten Summe der potenziell versauernd wirkenden Komponenten SO_4^{2-} , NO_3^- und NH_4^+ , die Angabe erfolgt in Kilogramm Säureäquivalente pro Hektar und Jahr (keq/(ha·a)).

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

Bewertung: Neben den Emissionsmengen werden die Säureinträge der nassen Deposition v. a. von der Niederschlagsmenge bestimmt. Im Jahr 2015, aber auch in den Jahren 2011 und 2003 lagen die Niederschlagsmengen und damit die Säureinträge deutlich unter dem langjährigen Mittel. Unabhängig davon ist an 40-50 Freiflächen im Wald in den letzten 22 Jahren ein deutlicher Rückgang der Säureinträge zu beobachten.

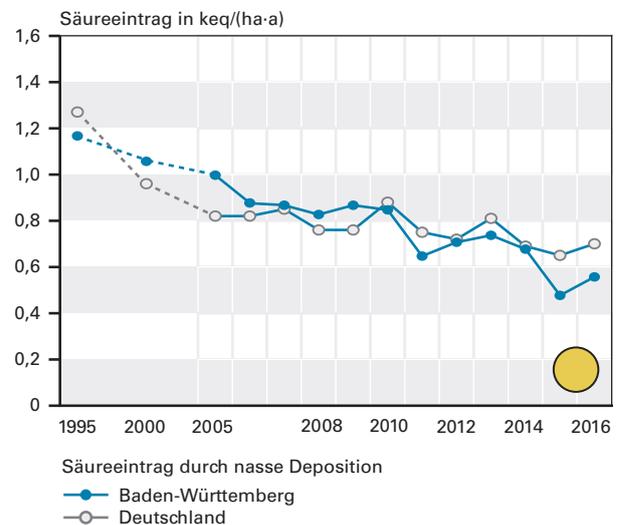


Abb. 1.1-8: Säure- und Stickstoffeintrag auf Freiflächen im Wald durch nasse Deposition. Quelle: Forstliches Umweltmonitoring der Länder, LIKI. Stand: 2018.

Weiterführende Informationen zum Säureeintrag in Kapitel 3.4 und 6.5.

Ausführliche Informationen zur Stickstoffproblematik in Kapitel 6.5.7.

Landwirtschaft 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 (High Nature Value Farmland-Flächen, HNV Farmland-Flächen) können Auswirkungen u. a. der Agrarpolitik in Hinblick auf die Erhaltung und Förderung der biologischen Vielfalt in der Landwirtschaft aufgezeigt werden.

Ziel: Baden-Württemberg will die Landwirtschaft stärker im Sinne der Nachhaltigkeit sowie der Erhaltung der Biodiversität entwickeln [MLR 2014]. Ein Zielwert ist für Baden-Württemberg nicht definiert.

Bewertung: In Baden-Württemberg liegt der Anteil von Agrarflächen mit einem hohen Naturwert aktuell bei 14,6 % der Agrarfläche. Gegenüber 2009 ist damit ein leichter Rückgang zu beobachten. Der Verlust liegt im Rückgang von im Sinne des Naturschutzes wertvollen Ackerflächen und Grünland begründet und weniger im Verlust von Landschaftselementen wie Hecken oder Staudenfluren.

Gewässerstruktur

Eine naturnahe Gewässerstruktur steht für die Erhaltung vielfältiger Landschafts- und Lebensräume und sichert ihren Arten einen nachhaltigen Bestand. Für viele Fischarten ist eine ungestörte Wanderung notwendig, um die für den Lebenszyklus und den Fortbestand wesentlichen Lebensräume innerhalb der Gewässer, der Auen und der marinen Lebensräume zu erreichen.

Zur Bewertung der Gewässerstruktur werden verschiedene Parameter, unter anderem die Ufer- und Sohlenstruktur oder das Gewässerumfeld, zu einer Gesamtbewertung des Fließgewässers in sieben Klassen zusammengefasst.

Ziel: In Baden-Württemberg wurde unter anderem die Herstellung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer und die Schaffung aquatischer Lebensräume durch die Verbesserung der Durchgängigkeit, die Verbesserung der Gewässermorphologie durch Renaturierungsmaßnahmen und ausreichende Mindestwasserregelung bei der Wasserkraft- und Brauchwassernutzung als wichtiges Handlungsfeld identifiziert [UM 2015b].

Bewertung: In Baden-Württemberg ist nur etwa ein Drittel aller Querbauwerke, das sind beispielsweise Talsperren oder Staustufen, so gestaltet, dass der Fischeaufstieg möglich ist.

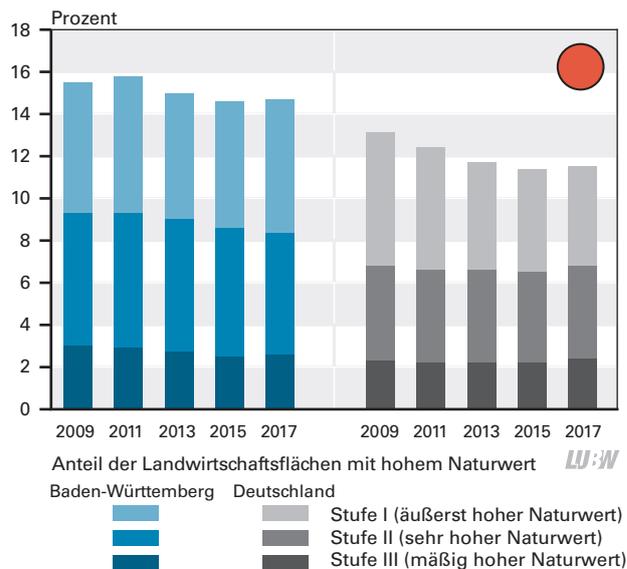


Abb. 1.1-9: Anteil der Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert an der gesamten Landwirtschaftsfläche. Quelle: LIKI. Stand: 2018.

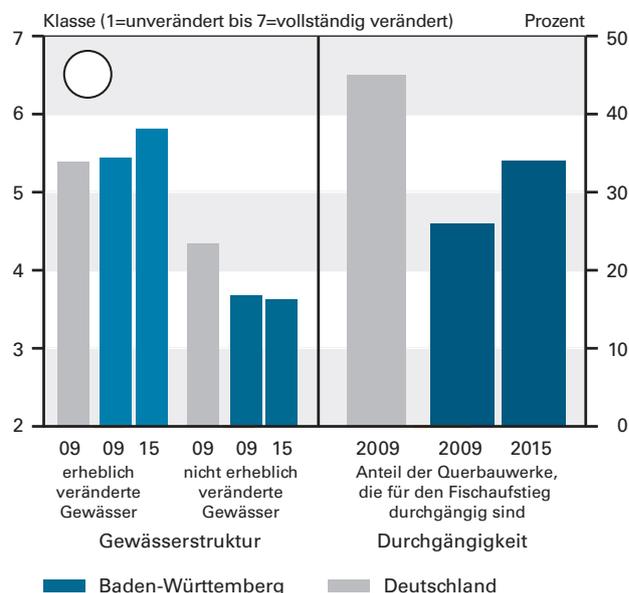


Abb. 1.1-10: Gewässerstruktur als mittlere Klasse pro „erheblich veränderte Gewässer“ und „nicht erheblich veränderte Gewässer“ sowie Durchgängigkeit für den Fischeaufstieg. Quelle: LIKI. Stand: 2018.

1.1.3 Umwelt und Gesundheit

Luftqualität - Stickstoffdioxid

Stickstoffoxide wirken reizend auf die Schleimhäute und Atemwege des Menschen und können Pflanzen schädigen. Auch eine Zunahme von Herz-Kreislauf-Erkrankungen kann beobachtet werden. Stickstoffdioxid ist außerdem eine wichtige Vorläufersubstanz für die sommerliche Ozonbildung in den bodennahen Luftschichten. In Baden-Württemberg hat der Verkehr mit 46 % den größten Anteil an den Stickstoffoxidemissionen, wovon wiederum 89 % auf den Straßenverkehr entfallen.

Ziel: Ziel ist die Einhaltung des Immissionsgrenzwertes für Stickstoffdioxid nach der 39. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) vom 40 µg/m³ im Jahresmittel.

Bewertung: Die höchsten Stickstoffdioxidbelastungen treten an den verkehrsnahen Messstellen auf. An fünf der hier betrachteten acht dauerhaft betriebenen Verkehrsmessstationen im Luftmessnetz Baden-Württemberg liegen die Jahresmittelwerte über dem Immissionsgrenzwert von 40 µg/m³. An Spot- und Sondermessstellen treten weitere Überschreitungen auf. Insgesamt ist in Verkehrsnähe sowie

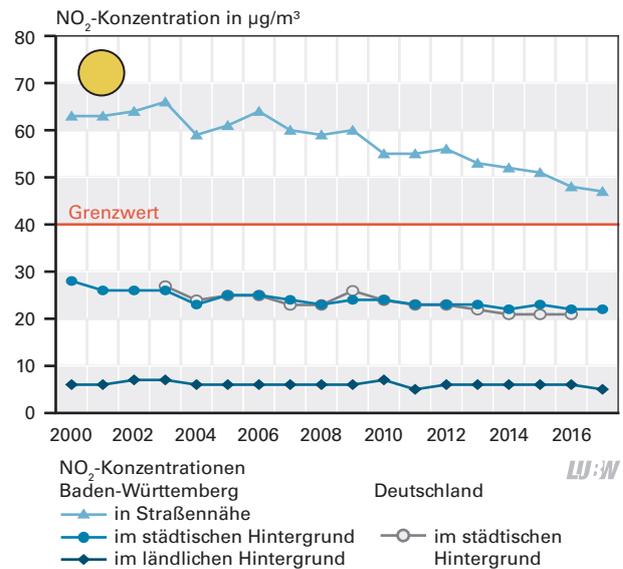


Abb. 1.1-11: Jahresmittelwerte für Stickstoffdioxid (NO₂). Quelle: LUBW, LIKI. Stand: 2018.

im städtischen Hintergrund ein leicht abnehmender Trend der Immissionsbelastung erkennbar.

Weiterführende Informationen in Kapitel 3.3.

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 (L_{DEN}) und 55 dB(A) während der Nacht (L_{Night}) 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 EG-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.

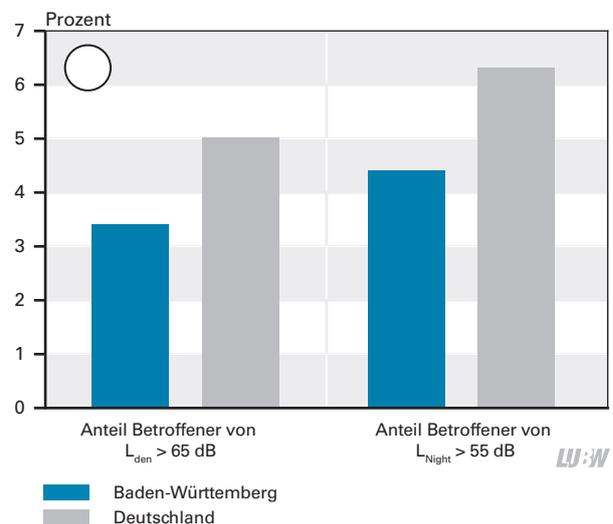


Abb. 1.1-12: Anteil Betroffener von Lärm-Dauerbelastungen am Tag (L_{DEN}) und in der Nacht (L_{Night}) an der Gesamtbevölkerung im Jahr 2014. Quelle: LIKI. Stand: Juli 2018.

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 in Baden-Württemberg ist, den Anteil von Schiene und Binnenschifffahrt am Güterverkehrsaufwand schrittweise um 10 Prozentpunkte zu erhöhen [VM 2015].

Bewertung: Der Anteil des Schienen- und Binnenschiffsverkehrs liegt im Jahr 2016 bei insgesamt steigendem Güterverkehrsaufwand bei 21,8 %. Er konnte sich somit, mit leichten Schwankungen, seit 2003 auf gleichem Niveau stabilisieren, ist jedoch niedriger als noch in den 1990er-Jahren (ca. 26 %).

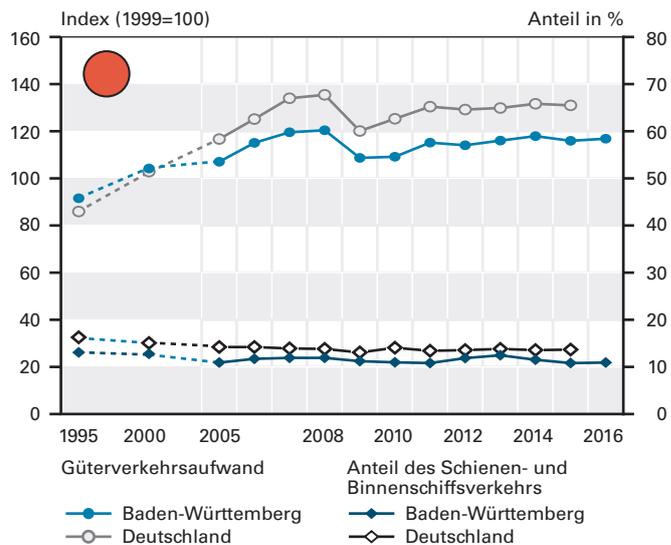


Abb. 1.1-13: Güterverkehrsaufwand und Anteil des Schienen- und Binnenschiffsverkehrs an der Güterverkehrsleistung. Quelle: LIKI. Stand: 2018.

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 zum Jahr 2030 strebt die Landesregierung eine Verdoppelung der Fahrgastzahlen im ÖPNV an [UM 2017a]. Um mehr Bürgerinnen und Bürger für die Nutzung des ÖPNV zu gewinnen, will die Landesregierung Busse und Bahnen im ganzen Land stärken [VM 2014].

Bewertung: Von 2004 bis 2008 war ein deutlicher Anstieg der Personenkilometer im öffentlichen Personennahverkehr zu verzeichnen. Seit 2011 liegt die Nutzung des öffentlichen Nahverkehrs mit nur geringen Schwankungen bei etwa 1250 Personenkilometern pro Jahr.

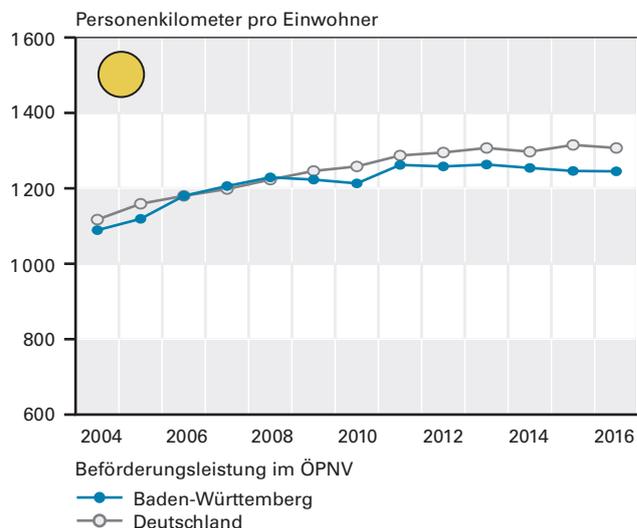


Abb. 1.1-14: Verkehrsleistung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV). Bevölkerung auf Basis Zensus 2011 zurückgerechnet. Quelle: LIKI. Stand: 2018.

Nitrat im Grundwasser

70 % des Trinkwassers in Baden-Württemberg werden aus Grund- oder Quellwasser gewonnen (Datenquelle: Statistisches Landesamt). 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 Wasserrahmenrichtlinie bzw. der Grundwasserverordnung. Dazu darf die Nitratkonzentration 50 mg/l nicht überschreiten.

Bewertung: Der Mittelwert der Nitratbelastung des Grundwassers sowie der Anteil der Messstellen, an denen Nitratgehalte über 50 mg/l bzw. 25 mg/l gemessen wurden, zeigen einen rückläufigen Trend. Im Jahr 2017 wurde der Schwellenwert der Grundwasserverordnung von 50 mg/l an neun Messstellen überschritten.

Weiterführende Informationen in Kapitel 5.1

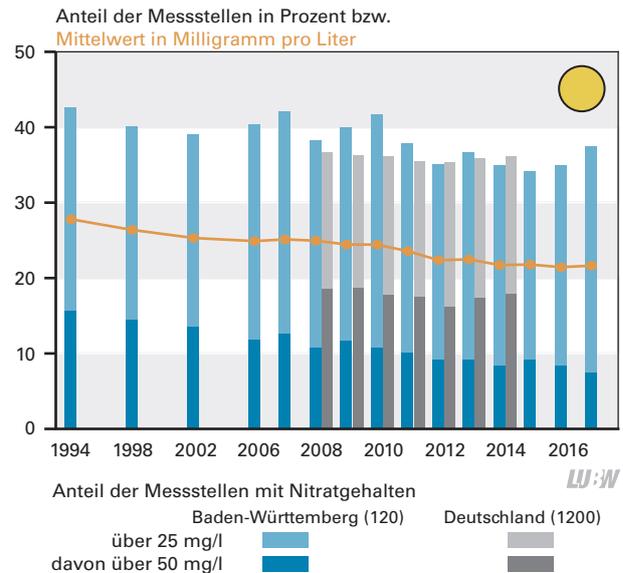


Abb. 1.1-15: Anteil der Messstellen mit einem Nitratgehalt über 25 mg/l bzw. über 50 mg/l sowie Mittelwert über alle betrachteten 120 Messstellen des EUA-Messnetzes in Baden-Württemberg und der 1200 Messstellen in Deutschland. Stand: 2018.

1.1.4 Ressourcen und Effizienz

Ökologische Landwirtschaft

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

Ziel: Das Land Baden-Württemberg fördert den ökologischen Landbau seit 2012 gezielt mit dem Aktionsplan „Bio aus Baden-Württemberg“ [MLR 2018]. 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 10,7 % liegt Baden-Württemberg deutlich über dem Bundesdurchschnitt von 7,5 % ökologisch bewirtschafteter Fläche.

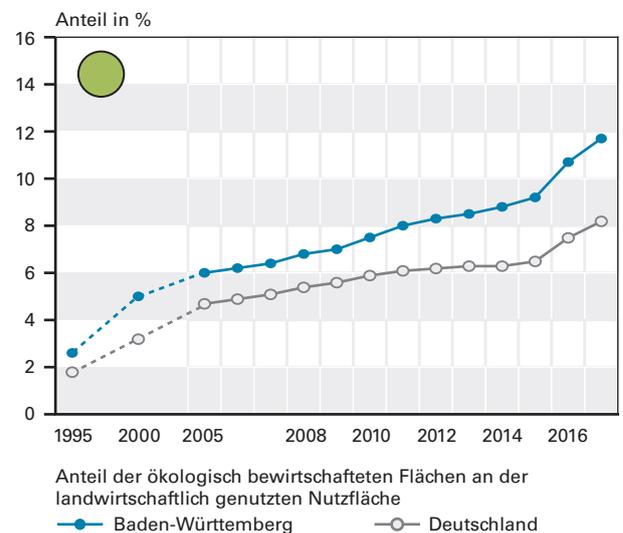


Abb. 1.1-16: Anteil der Flächen mit ökologischer Landwirtschaft nach EG-Öko-Verordnung an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche. Quelle: LIKI. Stand: 2018.

Häusliche Abfälle

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: Ziel ist die weitere Verringerung des durchschnittlichen einwohnerbezogenen Hausmüllaufkommens. Gleichzeitig sollen die Erfassungsmengen von Bioabfall und von Wertstoffen erhöht werden [UM 2015c].

Bewertung: Das gesamte Abfallaufkommen ist seit Jahren nahezu konstant. Durch die flächendeckende Einführung der Biotonne soll eine erhebliche Steigerung des Bioabfallaufkommens auf 60 kg/(E·a) im Jahr 2020 erreicht werden. Im Jahr 2016 hat sich das Aufkommen an häuslichen Bioabfällen im Vergleich zum Vorjahr von 45 kg/(E·a) auf 49 kg/(E·a) erhöht.

Weiterführende Informationen in Kapitel 8.

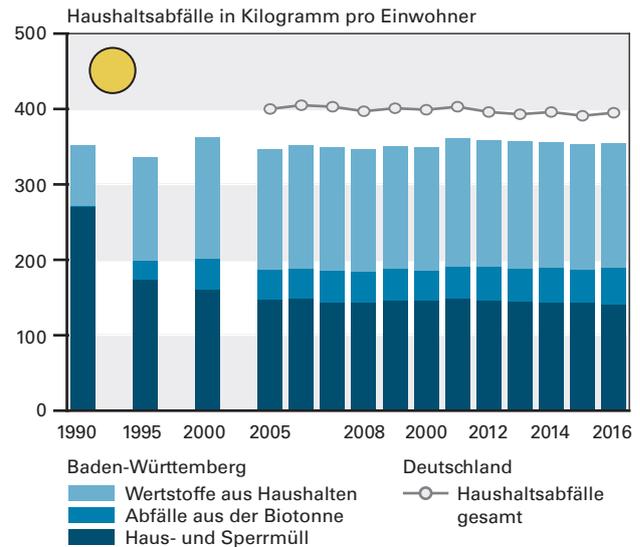


Abb. 1.1-17: Mengenentwicklung von Haus- und Sperrmüll sowie Abfällen aus der Biotonne und Wertstoffen aus Haushalten. Quelle: LIKI, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2018.

Energieproduktivität

Die Energieproduktivität stellt ein Maß für die Effizienz der Energieverwendung dar. Sie zeigt, wie viel Euro wirtschaftlicher Leistung (Bruttoinlandsprodukt) pro Einheit Primärenergie erzeugt wird und gilt damit als Maßstab für die Effizienz einer Volkswirtschaft im Umgang mit den Energieressourcen.

Die Energieproduktivität ergibt sich aus der wirtschaftlichen Leistung, dargestellt durch das Bruttoinlandsprodukt (preisbereinigt, verkettet), bezogen auf den Primärenergieverbrauch.

Ziel: Die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie von 2016 formuliert das Ziel, die Energieproduktivität im Zeitraum von 2008 bis 2050 um jährlich 2,1 % zu steigern.

Bewertung: In Baden-Württemberg hat sich die Energieproduktivität seit 1991 um 48 % erhöht, dies entspricht einem jährlichen Anstieg von im Mittel etwa 2 %, in den letzten zehn Jahren deutlich über 2,1 %. Der Anstieg der Energieproduktivität zeigt, dass das gesamtwirtschaftliche Wachstum in Baden-Württemberg höher lag als die Zunahme des Primärenergieverbrauchs.

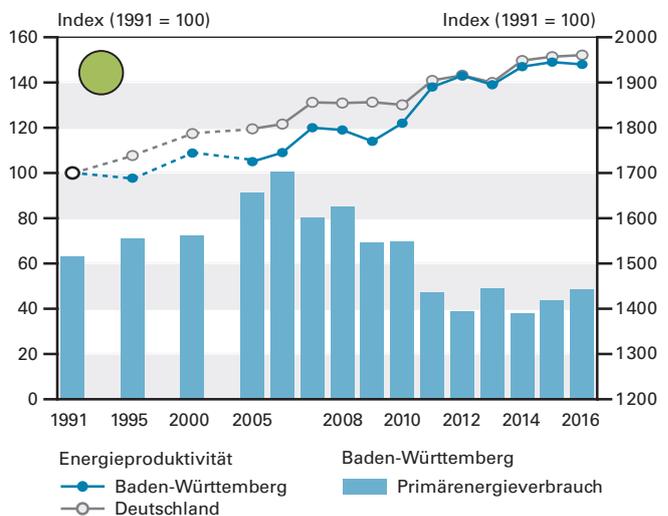


Abb. 1.1-18: Primärenergieverbrauch und Energieproduktivität. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, LIKI. Stand: 2018.

Rohstoffproduktivität

Die Gewinnung oder Nutzung von nicht erneuerbaren Rohstoffen ist endlich und mit Umweltbelastungen und Schadstoffemissionen verbunden. Die Rohstoffproduktivität gibt das Verhältnis des Bruttoinlandsprodukts (BIP) zum Verbrauch von nicht erneuerbaren Rohstoffen an und drückt damit aus, wie viel wirtschaftliche Leistung (dargestellt als BIP) durch den Einsatz einer Einheit Rohstoffe „produziert“ wird.

Die Rohstoffproduktivität ergibt sich aus dem Verhältnis des Bruttoinlandsprodukts (BIP) zur Inanspruchnahme von nicht erneuerbaren Rohstoffen (z. B. Kohle, Erdöl, Erze, Mineralien) in Euro pro Tonne.

Ziel: Baden-Württemberg unterstützt das Ziel des Bundes, die Rohstoffproduktivität bis 2020 gegenüber 1994 zu verdoppeln.

Bewertung: Im Jahr 2015 stieg die Rohstoffproduktivität gegenüber dem Vorjahr deutlich um über 6 Prozentpunkte an, bei einem gleichzeitigen leichten Rückgang des Roh-

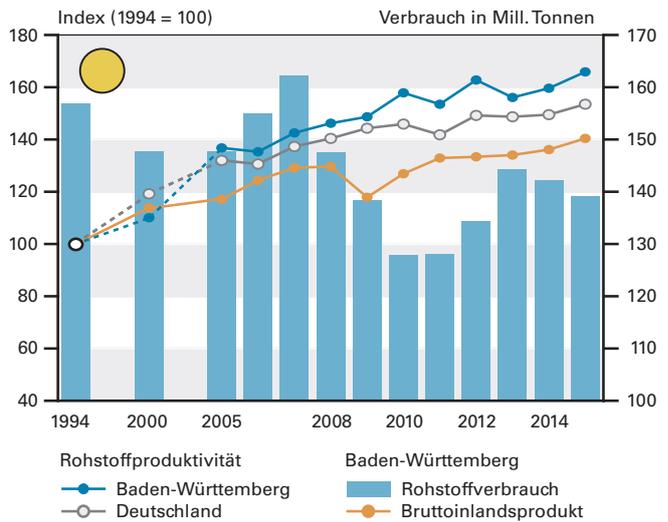


Abb. 1.1-19: Rohstoffproduktivität und Rohstoffverbrauch. Quelle: LIKI, AK UGRdL. Stand: 2018.

stoffverbrauchs. Dies zeigt, dass weiterhin eine Entkoppelung von Rohstoffverbrauch und Wirtschaftswachstum stattfindet.

1.2 Natürliche Ressourcen

1.2.1 Nicht erneuerbare Rohstoffe

Nicht erneuerbare Rohstoffe sind Steine und Erden, Industriemineralien 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 Betonzuschlag, Zement- und Ziegeleirohstoffe sowie 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, erlangt aber auch wieder für die moderne Architektur sowie den Garten- und Landschaftsbau größere Bedeutung. Im Jahr 2016 wurden in Baden-Württemberg 94 Mio. Tonnen mineralische Rohstoffe gefördert, wovon 83 Mio. Tonnen zu vielfältigen Produkten verarbeitet wurden; der nicht verwertbare Anteil, der für Rekultivierungs- und Verfüllungsmaßnahmen genutzt wird, betrug rd. 11 Mio. Tonnen. Haupteinsatzbereiche der mineralischen Produkte sind Hoch- und Tiefbau, Straßenbau, Landwirtschaft und Umweltschutz sowie die chemische Industrie. Nach den

LGRB-Erhebungen bei den aktuell 501 Gewinnungsbetrieben im Land werden zwei Drittel der benötigten Rohstoffmengen aus heimischen Lagerstätten gewonnen. Die Ge-

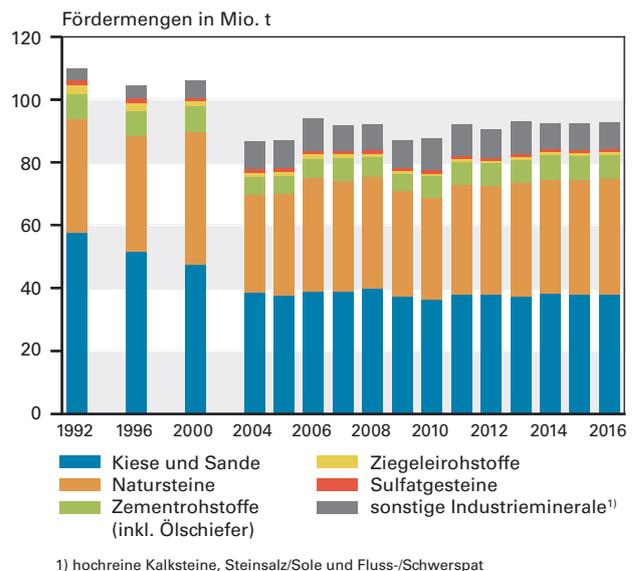


Abb. 1.2-1: Fördermengen von mineralischen Rohstoffen in Baden-Württemberg seit 1992. Unter „sonstige Industriemineralien“ fallen Hochreine Kalksteine, Steinsalz/Sole und Fluss-/Schwerspat. Sulfatgesteine gehören ebenfalls zu den Industriemineralien, sind aber in der Grafik extra ausgewiesen. Quelle: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg 2017, www.lgrb-bw.de. Stand: 2018.

winnungsstellen 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 (m³) Holz. Dieser Zuwachs an Holz war in der Summe stets höher als Nutzung und Verluste, sodass die Holzvorräte steigen.

Der Holzeinschlag in Baden-Württemberg (Gesamtwald) lag im Forstwirtschaftsjahr 2017 bei 8,4 Mio. m³. Davon waren 2,2 Mio. m³ (26,2 %) Energieholz (z. B. Hackschnitzel), Brennholz (stückiges Holz) und nicht verwertbares Stamm- und Astholz (Abb. 1.2-2).

Anbaubiomasse

Unter Anbaubiomasse fallen Energiepflanzen und weitere nachwachsende Rohstoffe aus der Landwirtschaft zur Herstellung von Biokraftstoffen, Biogas oder als biogener Rohstoff für die chemische Industrie, stark untergeordnet auch zur Wärmeengewinnung durch Verfeuerung.

Daten zu Biotreibstoffen liegen für Deutschland vor. Insgesamt werden Biokraftstoffe in Höhe von 113 528 Tera-joule (TJ) hergestellt. Davon stammen knapp 70 % aus Anbaubiomasse. Für 30 % dieser Menge kommen Abfällen und Reststoffen zur Verwendung [BLE 2017]. Bei einem Anteil von 8 % Baden-Württembergs an der Ackerfläche Deutschlands errechnet sich für Biokraftstoffe mit Herkunft aus Baden-Württemberg eine Größenordnung von ca. 9100 TJ. Ausgangsstoffe für Bioethanol sind vor

Tab. 1.2-1: Durchschnittlich geschätzter Flächenbedarf für die Biogaserzeugung in Baden-Württemberg auf Basis der mittleren Biomasseverwendung¹⁾. Quelle: [MESSNER 2017]. Stand: Juli 2018.

Substrat	Anteil	Menge (FM) in t	Flächen- bedarf in ha	Anteil an LF
Mais	66 %	3 540 000	68 000	4,8 %
Grassilage	17 %	910 000	36 000	2,5 %
GPS	8 %	430 000	12 000	0,8 %
Sonstige	9 %	480 000	16 000	1,1 %
gesamt	100 %	5 360 000	132 000	9,3 %

FM: Frischmasse
LF: landwirtschaftlich genutzte Fläche
GPS: Ganzpflanzensilage

1) unter Annahme eines repräsentativen Substratmix und durchschnittlicher Flächenerträge
Weitere energetische Nutzungen von schnell wachsenden Baumarten oder Miscanthus spielen in Baden-Württemberg kaum eine Rolle.

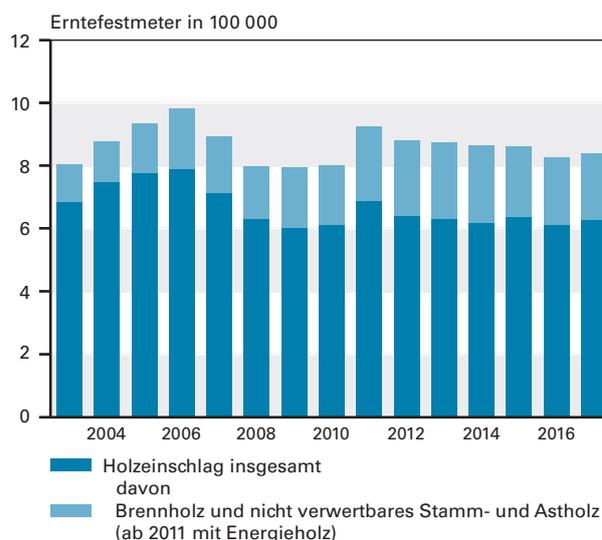


Abb. 1.2-2: Holzeinschlag in Baden-Württemberg. Quelle: ZS-Forst-BW 2018.

allem Zuckerrüben, Weizen und Roggen, für Fettsäuremethylester (FAME) als Biodiesel Raps sowie Abfall und Reststoffe.

Die Anzahl der Biogasanlagen in Baden-Württemberg hat sich von 485 im Jahr 2006 auf 928 Anlagen im Jahr 2016 fast verdoppelt. Allerdings ist der Zubau an Biogasanlagen mit Inkrafttreten des EEG 2012 stark eingebrochen. Die Elektrische Nennleistung beträgt insgesamt knapp 324 Megawatt [MLR 2017]. 14 Anlagen speisen in das Erdgasnetz ein und sind in der Statistik mit ihrer äquivalenten elektrischen Leistung berücksichtigt. Schwerpunkte der Biogaserzeugung sind die Landkreise Ravensburg (108 Anlagen), Biberach (91) und der Alb-Donaukreis (78). In einem großen Teil der Anlagen wird frischmassebezogen 30 % oder mehr Gülle und Mist eingesetzt [MESSNER 2017]. In Tabelle 1.2-1 ist in etwa der geschätzte Flächenbedarf für Biogas in Baden-Württemberg dargestellt. In nicht-landwirtschaftlichen Anlagen werden Inhalte aus der Biotonne, Speisereste und sonstige Bioabfälle als Energieträger verwendet.

1.2.3 Bodennutzung und Flächeninanspruchnahme

Grund und Boden ist ein knappes Gut und nur begrenzt verfügbar. Um die verfügbare Fläche konkurrieren die unterschiedlichen Nutzer: Land- und Forstwirtschaft, Kommunen und deren Bürger für Wohnen, Arbeiten, Freizeit und Mobilität. Außerdem besteht ein Flächenbedarf für den Naturschutz.

Die Daten zur Flächennutzung werden jährlich erhoben. Seit dem 31.12.2016 wird die Flächenerhebung nach Art der

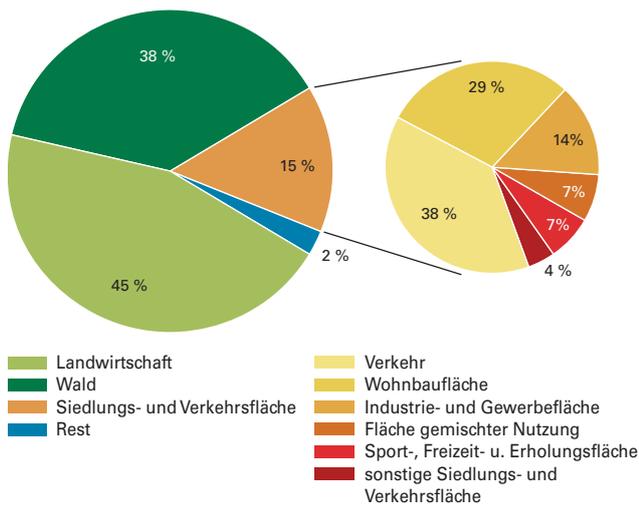


Abb. 1.2-3: Flächennutzung in Prozent der Bodenfläche sowie Anteile der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Baden-Württemberg zum 31.12.2017. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 09/2018.

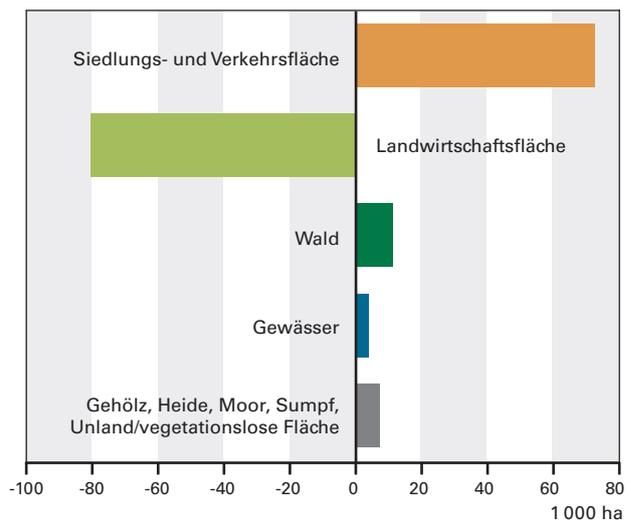


Abb. 1.2-4: Veränderung der Bodennutzung in Baden-Württemberg in Hektar von 1996 bis 2017. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 09/2018.

tatsächlichen Nutzung bundeseinheitlich in der neuen ALKIS-Nomenklatur veröffentlicht.

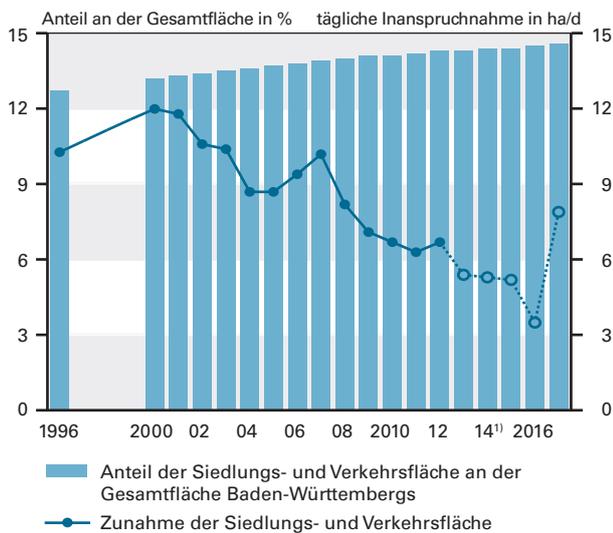
Größter Flächennutzer ist die Landwirtschaft. Von den 1,62 Mio. Hektar Landwirtschaftsfläche (entsprechend 45,3 % der Landesfläche) werden 58 % als Acker- und 39 % als Grünland genutzt. Die restliche Landwirtschaftsfläche umfasst Gartenland (1,3 %), Weingarten (1,8 %) und stark untergeordnet Brachland (0,3 %). 1,35 Mio. ha sind mit Wald bestockt. Innerhalb der 520 301 ha Siedlungs- und Verkehrsfläche belegen der Verkehr und die Wohnbauflächen gefolgt von den Industrie- und Gewerbeflächen die größten Anteile (Abb. 1.2-3).

In Abbildung 1.2-4 sind die Flächenänderungen ausgewählter Nutzungsarten in Baden-Württemberg vom Jahr 1996 bis 2017 dargestellt. Die größten Zuwächse verzeichnete die Siedlungs- und Verkehrsfläche. Deren Flächenanteil ist allein in den letzten zehn Jahren von 14,0 % auf 14,6 % der Bodenfläche angestiegen. Die Zuwächse bei der Siedlungs- und Verkehrsfläche, wie auch die Zuwächse in den Nutzungsarten Wald, Gewässer und weiteren Nutzungen gehen ausschließlich zu Lasten der Fläche des größten Flächennutzers, der Landwirtschaft. Innerhalb der Landwirtschaftsfläche wiederum gehen mit 5,2 % überproportional viele als Ackerland genutzte Flächen verloren. Das Grünland verliert 1,7 %.

Die Siedlungs- und Verkehrsfläche beinhaltet zu einem erheblichen Teil Grünflächen. Nach Schätzungen des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg ist knapp die

Hälfte der Fläche versiegelt. Trotzdem beeinträchtigt der Bestand der Siedlungen und Verkehrswege und deren Ausweitung in erheblichem Maß den Naturhaushalt. Landschaften werden zerschnitten, Böden versiegelt und damit natürliche Lebensräume beeinträchtigt. Ziel ist eine bedarfsgerechte Flächenausweisung bei Vorrang der Innenentwicklung und effizienter Flächennutzung. Dabei gewinnt die flächeneffiziente Siedlungsentwicklung zunehmend an Bedeutung, d. h. vor der Ausweisung neuer Wohn- und Gewerbegebiete im Außenbereich vorrangig den Innenbereich weiter zu entwickeln. In einer längerfristigen Betrachtung zeigt sich eine abnehmende Tendenz bei der Flächeninanspruchnahme in Baden-Württemberg.

Als Datengrundlage für die Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung löste ALKIS die alten Verfahrenslösungen ALK und ALB ab. An die Einführung von ALKIS anschließend erfolgte zum Jahreswechsel 2018 der Wechsel des Bezugssystems für die geografischen Daten in ALKIS von Gauß-Krüger auf das europaweit geltende Europäisch Terrestrische Referenzsystem 1989/universale Transversale Mercatorprojektion (ETRS89/UTM). Dies bedeutet, dass einerseits aufgrund der zeitaufwendigen Arbeiten zur Umstellung auf ALKIS der Flächenverbrauch der Jahre ab 2013 wegen statistisch noch nicht erfasster, aber abgeschlossener Flurbereinigungsmaßnahmen mit Lücken behaftet und die vorbereitenden Arbeiten zur Umstellung auf das neue Koordinatensystem ETRS89/UTM im Jahr 2016 die Aufnahme



1) Ab 2013 wegen unvollständiger Erhebungen im Zuge der Umstellung auf ALKIS und später der Umstellung des Koordinatensystems nicht belastbar.

Abb. 1.2-5: Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr sowie Anteil an der Gesamtfläche ab dem Jahr 1996 in Baden-Württemberg in Hektar pro Tag. Wegen Umstellung auf ALKIS und das neue Koordinatensystem ETRS89/UTM sind die Daten seit 2013 mit Unsicherheiten behaftet.

Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2018.

der Siedlungs- und Verkehrsflächen verzögerten. Es bestehen deshalb für die Jahre 2013 bis 2016 Unsicherheiten bei den Daten zur Flächenerhebung, sodass die tatsächliche Entwicklung in diesem Zeitraum mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht richtig abgebildet wird. Die starke Zunahme im Jahr 2017 basiert zudem auch auf nachträglich eingepflegtem Flächenverbrauch der vorangegangenen Jahre (Abb. 1.2-5).

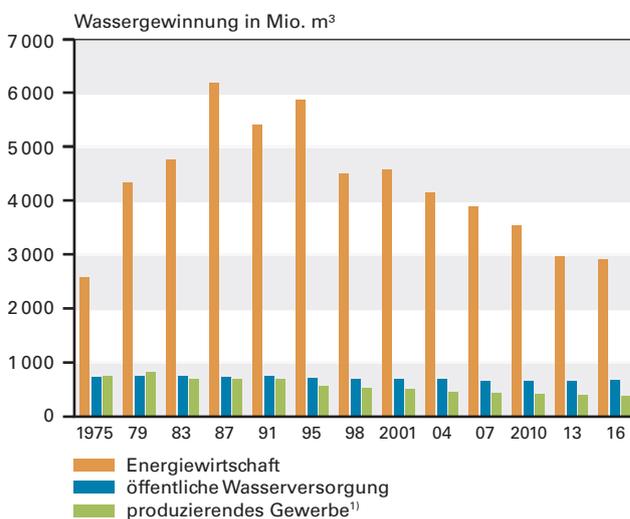
1.2.4 Wassergewinnung und Wassernutzung

Im Jahr 2016 wurden nach vorläufigen Daten in Baden-Württemberg 4,0 Mrd. m³ Wasser aus Grund-, Quell- und Oberflächengewässern entnommen, wovon der mit 84 % größte Teil aus Oberflächengewässern (einschließlich Uferfiltrat und angereichertes Grundwasser) stammt. Die Wassergewinnung ist seit Ende der 1980er-Jahre rückläufig und hat sich seitdem annähernd halbiert (Abb. 1.2-6).

Die Wassergewinnung erfolgt im Wesentlichen durch die Energiewirtschaft, die öffentliche Trinkwasserversorgung und das verarbeitende Gewerbe. Den mit 2,9 Mrd. m³ (72 %) im Jahr 2016 größten Anteil davon förderte die Energiewirtschaft. 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. 1.2-7). Die Energiewirtschaft entnimmt fast ausschließlich Wasser aus Oberflächengewässern.

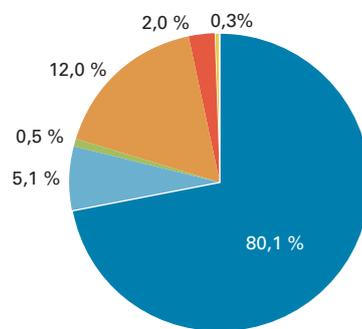


Abb. 1.2-6: Wassergewinnung nach Art des gewonnenen Wassers. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2018.



1) ohne Landwirtschaft und Dienstleistungsbereiche

Abb. 1.2-7: Wassergewinnung nach Sektoren. 2016 vorläufige Daten. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2018.



■ Wirtschaft: als Kühlwasser zur Stromerzeugung
 ■ Wirtschaft: als Produktionswasser
 ■ Landwirtschaft zur Bewässerung
 ■ Haushalte und Kleingewerbe
 ■ Wasserverluste/Verdunstung
 ■ Wasserwerkseigenverbrauch

Abb. 1.2-8: Verwendungszwecke des gewonnenen Wassers 2016. Vorläufige Daten. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2018.

Rund 80 % des Wassers, das sind 3,2 Mrd. m³, werden für Kühlzwecke im Kraftwerksbetrieb der Energiewirtschaft verwendet (Abb. 1.2-8). Mit einem Anteil von knapp 5 % wird von der Wirtschaft als Produktionswasser weniger Wasser in Anspruch genommen als von der Gruppe der Haushalte und Kleingewerbe (12 %). Bei der Verteilung des Wassers durch das Leitungsnetz kommt es zu Verlusten in Höhe von 2 % am gesamten Wasserverbrauch.

Die öffentliche Wasserversorgung gewinnt Wasser zum Großteil für die Nutzung als Trinkwasser durch die Endverbraucher. Für Baden-Württemberg ergibt sich für das Jahr 2016 ein durchschnittlicher Verbrauch von 119 Litern je Einwohner und Tag (Abb. 1.2-9).

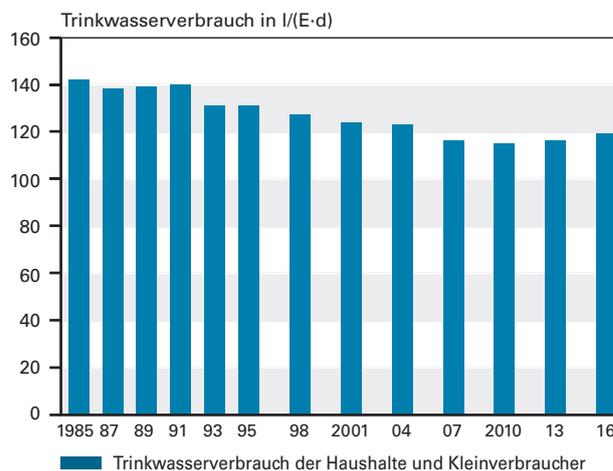


Abb. 1.2-9: Trinkwasserverbrauch der Haushalte und des Kleingewerbes. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2018.

1.3 Energieerzeugung und -verbrauch

1.3.1 Stromerzeugung und -verbrauch

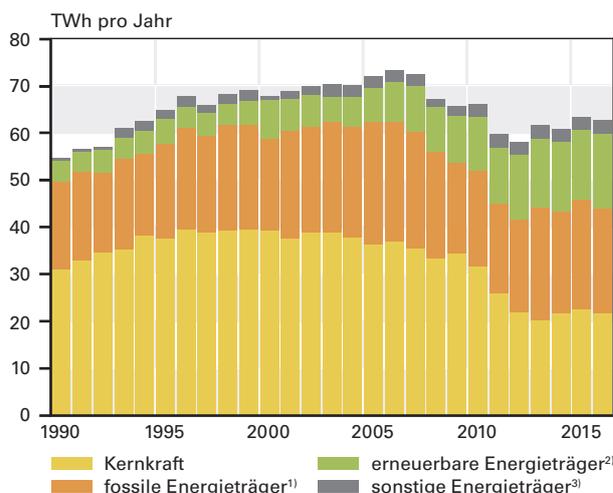
Zur **Stromerzeugung** in Baden-Württemberg werden fossile Energieträger, Kernenergie sowie erneuerbare Energien (EE) genutzt (Abb. 1.3-1). Dabei unterscheiden sich die verschiedenen Energieträger deutlich in den jeweiligen spezifischen CO₂-Emissionen. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern und aus Kernenergie ist als weitgehend klimaneutral zu betrachten. Bei den fossilen Energieträgern hat das Erdgas deutliche Emissionsvorteile gegenüber dem Erdöl und der Kohle.

In Abbildung 1.3-1 sind auch die Effekte der Abschaltung der Kernkraftwerksblöcke Philippsburg (KKP1) und Neckarwestheim (GKN1) zum 16.3.2011 zu erkennen. Die beiden verbleibenden Kernreaktoren Philippsburg (KKP2) und Neckarwestheim (GKN2) werden spätestens Ende 2019 bzw. Ende 2022 vom Netz genommen, sodass die Stromerzeugung über Kernkraftwerke ab diesem Zeitpunkt ganz wegfallen wird.

Im Jahr 2016 wurden in Baden-Württemberg 62,7 Terawattstunden (TWh) Strom erzeugt. Nach Angaben des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg kamen dabei 35,4 % fossile Energieträger (Steinkohle, Erdgas, Heizöl), 34,6 % Kernenergie und 25,3 % erneuerbare Energieträger zum Einsatz. Die Anteile der Kernenergie und der fossilen Energieträger Steinkohle, Erdgas und Heizöl liegen seit 2014 mit etwa 35 % gleichauf. Der Anteil der erneuerbaren Energieträger erhöhte sich von 7,4 % im Jahr 2003 auf

25,3 % im Jahr 2016. Sonstige Energieträger haben nur eine untergeordnete Rolle.

Der als **Bruttostromverbrauch** erfasste Stromverbrauch berücksichtigt die im Land erzeugte Strommenge zuzüglich der Stromimporte und abzüglich der Stromexporte. Der Bruttostromverbrauch im Jahr 2016 betrug in Baden-Württemberg 74,2 TWh. Auch in den Jahren 2014 und 2015 lag der Verbrauch nahe an diesem Wert. In Baden-Württemberg selbst wurden davon 84,4 % dieser Strommenge erzeugt. Die übrigen 15,6 % wurden per Saldo aus anderen Bundesländern und dem Ausland eingeführt.



1) Steinkohle, Heizöl, Erdgas. – 2) Lauf- und Speicherwasserkraftwerke, bis 1992 einschl. Pumpwasserkraftwerke, ab 1993 nur noch einschließlich natürlichem Zufluss aus Pumpspeicherkraftwerken. – 3) Dieselloststoff, Flüssiggas, Raffineriegas, Petrolkoks, Braunkohlen und Sonstige. Ab 1993 auch einschl. Pumpwasserspeicher ohne natürlichen Zufluss.

Abb. 1.3-1: Stromerzeugung in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2018.

1.3.2 Energieverbrauch

Bei der Definition des Energiebegriffs wird unterschieden zwischen:

- **Primärenergie:** Energieträger in ihrer ursprünglichen Form wie Kohle, Uran, Biomasse.
- **Endenergie:** Die durch Umwandlung bzw. Aufbereitung aus der Primärenergie gewonnene Energie, die dem Verbraucher zugeführt wird. Dies sind zum Beispiel Fernwärme, Strom, Mineralölprodukte (z. B. Kraftstoffe).
- **Nutzenergie:** Energietechnisch letzte Stufe der Energieumwandlung, die dem Verbraucher für die Erfüllung einer Energiedienstleistung (z. B. Licht, Kraft, Wärme) zur Verfügung steht.

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

Primärenergieverbrauch

Von 1990 bis 2006 erfolgte eine stetige Zunahme des Primärenergieverbrauchs (PEV) um 19,1 % von 397 TWh auf 473 TWh. In den Folgejahren nahm der PEV wieder ab und lag 2016 mit 401 TWh fast auf dem Niveau von 1990 (Abb. 1.3-2).

Bei den Anteilen der einzelnen Energieträger gab es in der Vergangenheit größere Verschiebungen. Beispielsweise ist der Anteil der Mineralöle am PEV gefallen, von rund 46 % (1990) auf etwa 35 % (2016). Die Kernenergie erreichte im Jahr 1999 mit 27,2 % ihren höchsten Anteil am PEV. Insbesondere ab 2011 ist durch die Abschaltung von Kernkraftwerksblöcken in Neckarwestheim (GKN1) und Philippsburg (KKP1) eine deutliche Abnahme zu verzeichnen. Im Jahr 2016 betrug der Anteil der Kernenergie 16,4 %, was gegenüber 1999 einer Verringerung um 45 % entspricht. Der Einsatz von Erdgas erhöhte sich. Dessen Anteil stieg von knapp 13 % im Jahr 1990 auf 19,1 % im Jahr 2016. Durch die vor allem seit 2003 zunehmende Nutzung der erneuerbaren Energien (EE) stieg ihr Anteil am PEV von 2,0 % im

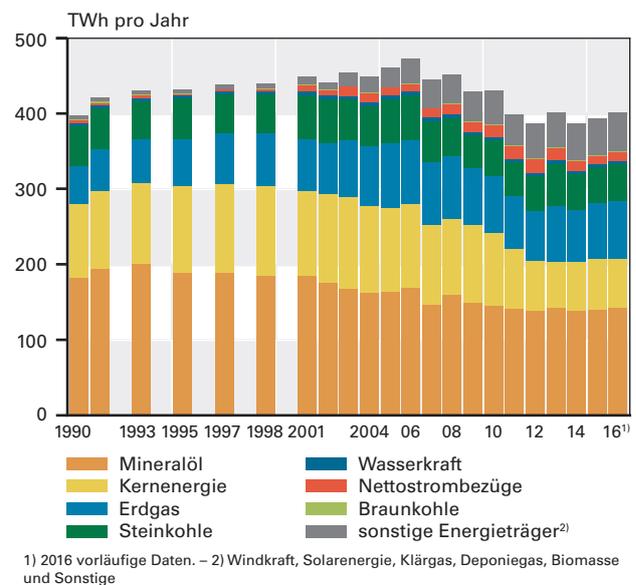


Abb. 1.3-2: Primärenergieverbrauch (PEV) in Baden-Württemberg nach Energieträgern. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2018.

Jahr 1990 auf 12,7 % im Jahr 2016. Der Anteil aller fossilen Energien am PEV sank im gleichen Zeitraum von 72,4 % auf 66,8 %.

Endenergieverbrauch

Der Endenergieverbrauch (EEV) hat bis 2006 tendenziell zugenommen. Im Jahr 2006 erreichte er einen Rekordwert von 317,7 TWh. Gegenüber 1990 ist dies eine Zunahme von nahezu 17 %. Seit 2007 ist der EEV mit Schwankungen leicht rückläufig und lag im Jahr 2016 bei 289,1 TWh. Die jährlichen Schwankungen im EEV ergeben sich hauptsächlich durch Witterungsunterschiede. Bei vergleichsweise kühler Witterung steigen tendenziell der Wärmeverbrauch und somit auch der EEV. Die zeitliche Entwicklung des EEV folgt im Grundsatz dem des PEV. Auffällig ist aber, dass der EEV weniger schnell abnimmt als der PEV, was auf eine steigende Effizienz bei der Umwandlung von Primärenergie in Endenergie hinweist. Markante Verschiebungen ergaben sich während der vergangenen Jahre bei den prozentualen Anteilen der einzelnen Energieträger.

Das deutliche Absinken des Mineralölanteils von 57,8 % (1990) auf 42,2 % (2016) ist neben der Steigerung der Energieeffizienz zu einem großen Teil der Umstellung auf andere Heizungssysteme geschuldet (Abb. 1.3-3). Mit Heizöl betriebene Heizungen wurden zunehmend durch Gasheizungen, Holzfeuerungen und Fernwärme ersetzt. Im Zuge dieser Entwicklung sind der Erdgasanteil im gleichen Zeitraum von 15,5 % auf 22,2 %, der Anteil von Biomasse von

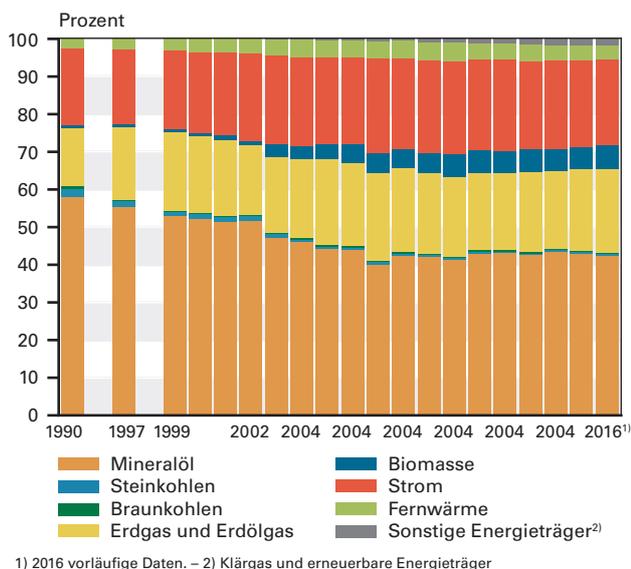


Abb. 1.3-3: Anteile der Energieträger am Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2018.

0,9 % auf 6,1 % und der Anteil von Fernwärme von 2,9 % auf 3,9 % gestiegen. Der Anteil des Stroms am EEV stieg von 20,2 % im Jahr 1990 auf 22,9 % im Jahr 2016.

Die Entwicklung des EEV in den letzten Jahren ist von einer Zunahme des Verkehrs- und einer Abnahme des Industrieanteils gekennzeichnet (Abb. 1.3-4). Der EEV des Verkehrssektors stieg in den Jahren 1990 bis 1999 von 80 TWh auf 95 TWh an und sank in den Jahren 2000 bis 2009 wieder bis auf 83 TWh. Seit 2009 ist allerdings wieder ein leichter Anstieg festzustellen. Im Jahr 2016 lag er bei 92 TWh. Hier dürften zwei gegenläufige Effekte zum Tragen kommen. Die Verbesserungen beim spezifischen Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge werden einerseits durch die Zunahme bei den Jahresfahrleistungen der Flotte und gleichzeitig durch die Tendenz zu immer größeren, leistungsstärkeren und damit mehr Kraftstoff verbrauchenden Fahrzeugen überkompensiert.

Der EEV der Industrie ist in den Jahren 1990 bis 1999 von 67 TWh auf 58 TWh gefallen. Seit 2000 bewegt er sich in einer Bandbreite zwischen 60 TWh und 71 TWh. Im Jahr 2016 lag er bei 61 TWh. Der EEV in der Industrie wird im Wesentlichen von der Wirtschaftslage beeinflusst. Zunehmende Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen verringern den EEV.

Der Anteil der Haushalte und Kleinverbraucher am EEV unterliegt vor allem witterungsbedingten Schwankungen und bewegte sich im Betrachtungszeitraum (1990 bis 2016) in einer Spanne zwischen 46 % und 51 %. Im Jahr 2016 lag

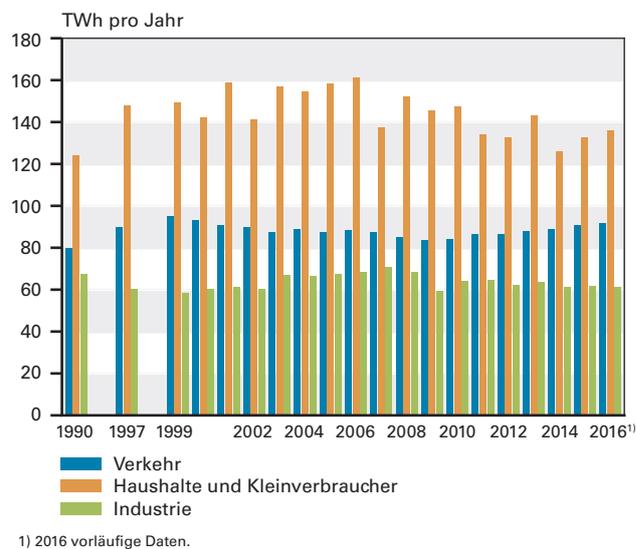


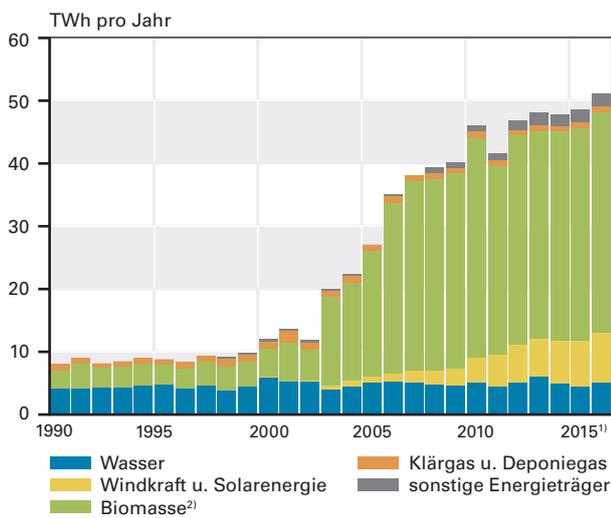
Abb. 1.3-4: Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg nach Verbrauchergruppen. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2018.

der EEV dieses Sektors mit 136 TWh bei einem Anteil von 47 %. Die Zahlen des Sektors Haushalte und Kleinverbraucher lassen noch ein erhebliches Einsparpotenzial erkennen.

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 Energieverbrauch in Baden-Württemberg im Jahr 2050 mit einem Anteil von 80 % aus erneuerbaren Energien gegenüber 1990 zu decken [UM 2013].

Im Jahr 2016 wurden in Baden-Württemberg 35,4 TWh Biomasse als Primärenergie genutzt (Abb. 1.3-5). Dies entspricht 69,5 % des PEV aus erneuerbaren Energien und 8,8 % am gesamten PEV. Den größten Anteil hat hierbei die Nutzung von Holz als Brennstoff. Die Wasserkraft mit 4,9 TWh hatte in 2016 einen Anteil von 1,2 % am gesamten PEV und 9,5 % am PEV aus erneuerbaren Energieträgern. Der PEV aus Solarenergie (Solarthermie und Photovoltaik) lag in 2016 bei 6,4 TWh, was einem Anteil am gesamten PEV von 1,6 % und 12,5 % des PEV aus erneuerbaren Energien entspricht. Der Energieträger Wind trug in der Vergangenheit nur mit einem sehr geringen Anteil am PEV bei und lag im Jahr 2016 noch weit unter 1 %. Die Nutzung von Wind- und Solarenergie nahm allerdings in den letzten Jahren stetig zu. Die Energieträger Wind und Sonne zusammen hatten im Jahr 2016 mit 7,6 TWh einen Anteil am



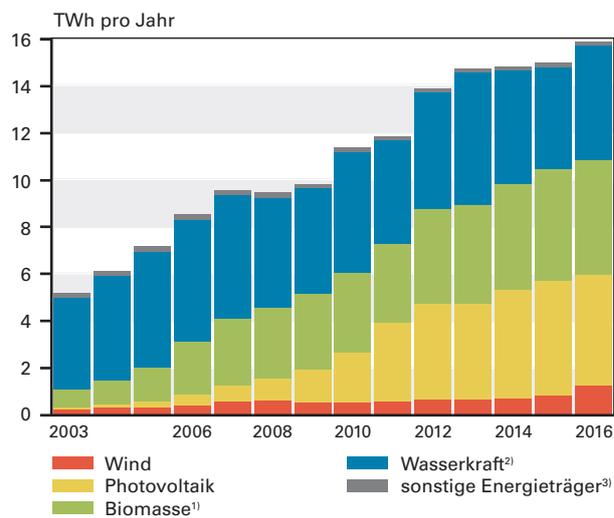
1) 2016 vorläufige Daten. – 2) einschl. biogener Abfälle (bis 2009 werden 60 % und ab 2010 noch 50 % von Hausmüll und Siedlungsabfällen als biogen bewertet)

Abb. 1.3-5: Primärenergieverbrauch aus erneuerbaren Energieträgern in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2018.

PEV aus erneuerbaren Energien von 15 % beziehungsweise 1,9 % am PEV. Geothermie und Sonstige spielen in Baden-Württemberg bislang nur eine untergeordnete Rolle. Insgesamt ist die als Primärenergie genutzte erneuerbare Energiemenge in den Jahren 2003 bis 2016 von 19,9 TWh auf 50,9 TWh angestiegen, was mehr als einer Verdoppelung entspricht.

Im Jahr 2016 stammte die in Baden-Württemberg insgesamt erzeugte Strommenge zu etwa gleichen Teilen (7,5 bis 7,8 %) aus Photovoltaik, Wasserkraft und Biomasse sowie zu 2,0 % aus Windkraft. In den Jahren 2010 bis 2016 stieg die aus diesen Quellen gewonnene Strommenge um 4,5 TWh auf 15,7 TWh, was einen Zuwachs von 40,3 % entspricht. Unter den erneuerbaren Energieträgern hat die Stromerzeugung aus Photovoltaik, Wasserkraft und Biomasse mit jeweils um die 30 % den größten Anteil an der Stromerzeugung durch erneuerbare Energieträger, gefolgt von Windkraft mit 7,8 % (Abb. 1.3-6). Zuwächse zeigten sich zwischen 2010 und 2016 vor allem bei der Stromerzeugung aus Windkraft (+128 %) und Photovoltaik (+126 %). Zu beachten ist, dass die Prozentzahl zur Photovoltaik nur den in ein Netz eingespeisten Strom berücksichtigt. Bei Berücksichtigung des über Photovoltaikanlagen selbst verbrauchten Stroms liegt dieser Zuwachs bei etwa 138 % [UM2017b].

Die Stromerzeugung aus Biomasse (z. B. in Biogasanlagen) verzeichnet einen Zuwachs gegenüber 2010 von 43 %. Wasserkraftwerke produzierten etwa 5,5 % weniger



1) Biogas, feste und flüssige biogene Stoffe, biogener Abfall, Klärschlamm. Einschl. Bruttostromerzeugung aus Klärgas in Industriekraftwerken. – 2) einschl. natürlichem Zufluss aus Pumpwasserspeicherkraftwerken – 3) einschl. Deponiegas und Geothermie

Abb. 1.3-6: Anteile erneuerbarer Energieträger an der Stromerzeugung in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2018.

Strom als 2010. Für große Wasserkraftwerke in Baden-Württemberg ist das Ausbaupotenzial nahezu erschöpft. Auch die Ausbaumöglichkeiten für kleinere Wasserkraftwerke, die in der Summe nur einen kleinen Beitrag zur Stromerzeugung liefern können, sind sehr begrenzt. In den Jahren 2010 bis 2016 schwankte die aus Wasserkraft erzeugte Strommenge zwischen 4,3 und 5,6 TWh. Die Ursache der Schwankungen liegt überwiegend an witterungsbedingt unterschiedlich zur Verfügung stehenden Wasserabflussmengen. In Jahren mit weniger Stromerzeugung aus Wasserkraft waren mehr Zeiten mit Niedrigwasser zu verzeichnen.

Vergleichsweise gering ist bislang der Beitrag der Windenergie. Zwar beträgt der Zuwachs an der Stromerzeugung in den Jahren 2010 bis 2016 etwa 128 %, der Anteil an der Stromerzeugung in Baden-Württemberg lag in 2016 jedoch bei nur 2,0 %, ist aber seither deutlich gestiegen. Die Anzahl der in Betrieb gegangenen Anlagen und deren installierte Leistung haben in den letzten Jahren erheblich zugenommen (Abb. 1.3-7). Während 2014 nur sieben Anlagen mit 16,3 Megawatt (MW) installierter Leistung neu ihren Betrieb aufgenommen haben, waren es in 2015 bereits 53 Anlagen mit 146,1 MW und 120 Anlagen mit 335,5 MW in 2016. Im Jahr 2017 kamen 123 Anlagen mit einer installierten Leistung von 387,7 MW und bis Juni 2018 nochmals 28 Anlagen mit 93,3 MW hinzu. Mitte 2018 waren in Baden-Württemberg 712 Windenergieanlagen mit einer installierten Leistung von insgesamt 1510 MW in Betrieb.

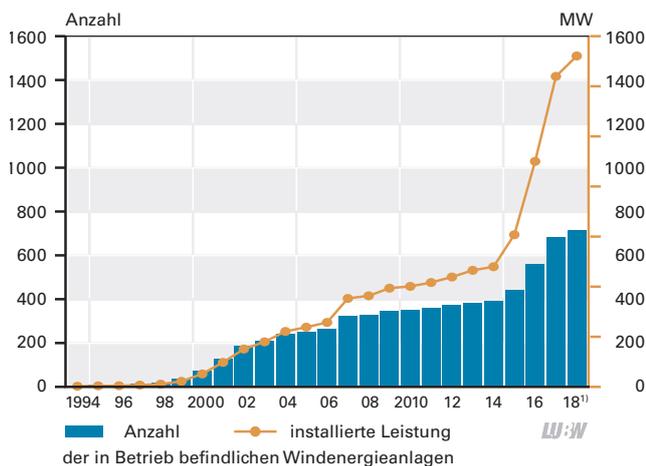


Abb. 1.3-7: Anzahl der Windenergieanlagen und installierte Leistung in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW. Stand: Juni 2018.



Abb. 1.3-8: Aktuelle Einspeiseleistung auf der Startseite des Energieatlas.

Dieser starke Zubau an Windenergieanlagen wird im Wesentlichen von Projekten bestimmt, die unter die Übergangsregelung des EEG 2017 fallen, wonach Anlagen, die noch in 2016 genehmigt wurden und bis Ende 2018 in Betrieb gehen, von der Teilnahmepflicht an den neu eingeführten Ausschreibungen ausgenommen sind. Die frühere Vergütung richtete sich nach den im EEG verankerten Sätzen in Verbindung mit einer zubauabhängigen Degression. Mit der neuen Regelung im EEG 2017 müssen sich Projektierer an einem Ausschreibungsverfahren beteiligen, das für Projekte in Baden-Württemberg, aufgrund der tendenziell schlechteren Windverhältnisse und auch bei vergleichbaren Windverhältnissen meist höheren Infrastrukturkosten im Vergleich zu den nördlicheren Bundesländern, zu Benachteiligungen führt. Sofern sich an den derzeitigen Rahmenbedingungen nichts ändert, ist für die nächsten Jahre ein deutlicher Rückgang des Ausbaus der Windenergie zu erwarten. Das Ziel der Landesregierung, bis 2020 den Anteil der Windenergie an der Stromversorgung auf 10 % zu erhöhen, wird mit den aktuellen Rahmenbedingungen nicht zu halten sein.

1.3.4 Energieatlas Baden-Württemberg

Der Energieatlas Baden-Württemberg ist ein gemeinsames Internet-Portal des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg und der LUBW. Seit Dezember 2015 sind unter www.energieatlas-bw.de digitale Kartenübersichten, Daten und Hintergrundinformationen zu Erneuerbaren Energien und der Energiewende zu finden. Zusätzliche Informationen, Auswerte- und

Downloadmöglichkeiten der Daten stehen im erweiterten Daten- und Kartenangebot des Energieatlas zur Verfügung. Mit dem Energieatlas hat die LUBW gemeinsam mit dem Umweltministerium eine Plattform geschaffen, die den Stand der Energiewende in Baden-Württemberg aufzeigt und einen Überblick über die grundsätzlichen Nutzungsmöglichkeiten und -potenziale von erneuerbaren Energien gibt. Durch die Darstellung von Möglichkeiten effizienter Energieverwendung anhand von Praxisbeispielen mit Vorbildfunktion sollen außerdem Anregungen zum Mitmachen geschaffen werden. Der Energieatlas möchte alle Akteure im Energiebereich, zum Beispiel die öffentliche Hand, private Haushalte, Unternehmen, Handwerksbetriebe oder auch Forschungseinrichtungen im Land ansprechen und bietet Hintergrundinformationen und Handreichungen. Lokale, kommunale und regionale Planungen können dadurch aber nicht ersetzt werden.

Der Energieatlas wird permanent weiter entwickelt und die Inhalte an geänderte Bedingungen angepasst. Derzeit stehen zu nachfolgenden Themen und Inhalten Daten- und Kartenmaterialien zur Verfügung. Neben den einzelnen Themen werden auch stundenaktuelle Daten zu Einspeiseleistung von Windenergie- und Photovoltaikanlagen auf der Startseite angezeigt.

Sonnenenergie

In Baden-Württemberg hat der Anteil der Stromerzeugung mittels Photovoltaik Ende 2016 bereits einen Anteil von 8 % an der Bruttostromerzeugung erreicht [UM 2017b]. Es wurden mit 5,3 GW installierter Leistung im Jahr 2016 fast

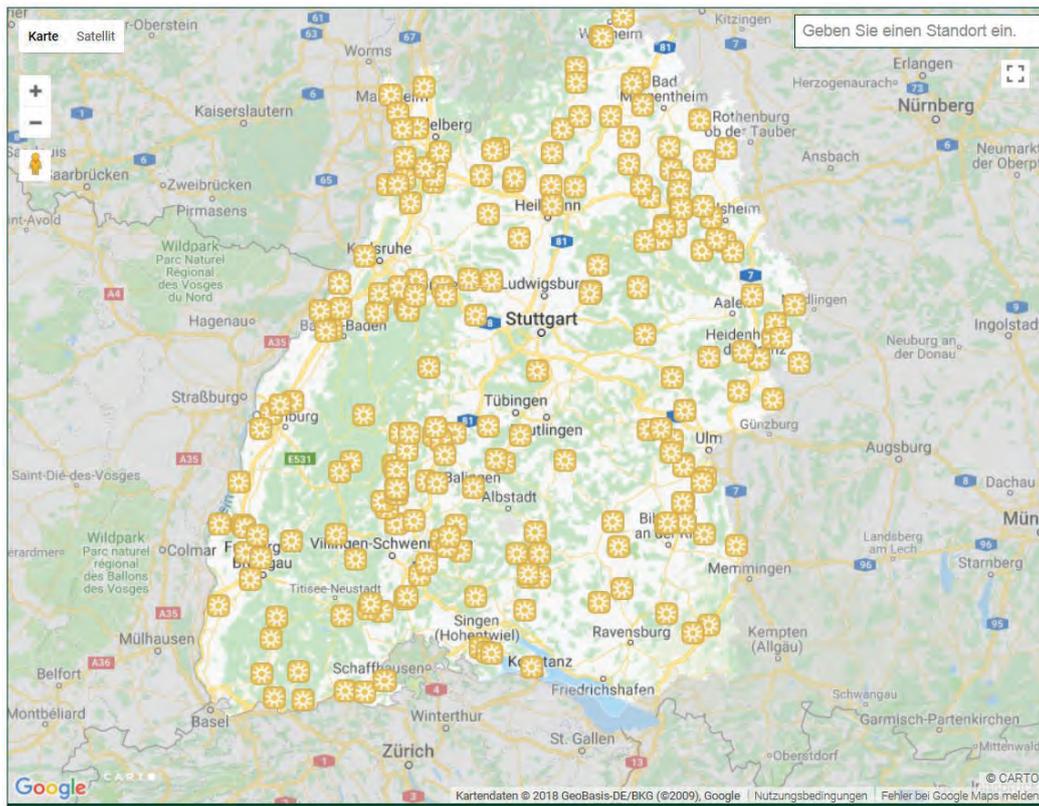


Abb. 1.3-9: Bestehende Solaranlagen auf Freiflächen im Kartendienst des Energieatlas.

5 TWh Strom erzeugt. Von der insgesamt in Baden-Württemberg installierten Photovoltaikleistung sind etwa 92,5 % auf Dachflächen und 7,5 % auf Freiflächen installiert.

Im Themenbereich Sonne sind im Energieatlas Daten und Karten zu bestehenden Photovoltaikanlagen auf Dachflächen, aggregiert auf Gemeindeebene, zu finden (Datenstand: 2013). Auch die möglichen Ausbaupotenziale der Photovoltaik wurden für über drei Millionen Hausdächer im Land mit landesweit vorliegenden Gebäudedaten aus einer Laserscan-Befliegung berechnet und sind gebäudescharf dargestellt. Jede Dachfläche ist im Energieatlas nach der Eignung für eine Photovoltaikanlage farblich gekennzeichnet. Die Eignung der Flächen gliedert sich in sehr gut, gut und bedingt geeignet. Insgesamt wurden mehr als 261 km² Dachflächen identifiziert, auf denen Photovoltaikanlagen mit ca. 39 GW installiert werden könnten. Bei einem Wirkungsgrad von 15 % könnten damit etwa 35 TWh Strom pro Jahr erzeugt werden. 94 km² Dachflächen im Land sind für Photovoltaik sehr gut geeignet. Hierauf könnten ca. 14 GW PV installiert werden, womit etwa 14 TWh Strom pro Jahr erzeugt werden könnten. Zusätzlich zu den Photovoltaikanlagen auf Dachflächen werden Daten zu 218 bestehenden PV-Anlagen auf Freiflächen im Energieatlas vorgestellt. Diese haben eine instal-

lierte Leistung von 225 MW und erreichen einen Stromertrag von ca. 180 GWh pro Jahr (Datenstand 2013). In einer weiteren Karte werden Gebiete dargestellt auf denen neue Freiflächenanlagen in Betrieb genommen werden könnten. Wegen der im Einzelfall zu berücksichtigenden rechtlichen, ökologischen, wirtschaftlichen, technischen und infrastrukturbedingten Belange ist eine vollständige Ausschöpfung des Potenzials allerdings nicht zu erwarten.

Windenergie

Die Windenergie ist für die Energiewende in Baden-Württemberg von großer Bedeutung und leistet hierzu einen steigenden Beitrag. Im Jahr 2011 wurde lediglich etwa ein Prozent des Stroms durch 360 heimische Windenergieanlagen geliefert. Im Juni 2018 waren in Baden-Württemberg 712 Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von mehr als 1500 MW in Betrieb.

Im Energieatlas werden die Anlagenstandorte von bestehenden Windenergieanlagen landesweit dargestellt. Zu den einzelnen Anlagen können bautechnische Angaben und Leistungsdaten abgerufen werden. Zusätzlich werden mögliche Ausbauflächen für Windenergieanlagen als „Ermittelte Windpotenzialflächen“ angezeigt. Der Datenbestand wird laufend aktualisiert.

Wasserkraft

Im Energieatlas mit Stand 2017 werden 2097 bestehende Wasserkraftanlagen mit einer installierten Leistung von 1,27 GW der baden-württembergischen Flusseinzugsgebiete Neckar, Donau, Main, Bodensee/Alpenrhein, Hochrhein und Oberrhein vorgestellt. Außerdem wurde das mögliche Aus- und Neubaupotenzial an bereits genutzten Wasserkraftstandorten sowie das Wasserkraftpotenzial an bislang noch nicht für die Erzeugung von Strom aus Wasserkraft genutzten Querverbauungen (Regelungs- und Sohlenbauwerke) ermittelt und kann im Energieatlas abgerufen werden. Insgesamt könnten etwa 1770 weitere Anlagen mit ca. 290 MW Leistung und potenziellen 960 GWh Stromertrag gebaut werden.

Wärme

In Baden-Württemberg entfallen nahezu 28 % des Endenergieverbrauchs auf private Haushalte. In diesen wird durchschnittlich 78 % der Energie für Raumwärme und Warmwasserbereitung aufgewandt. Eine Energiewende ist demnach ohne Wärmewende nicht möglich. Eine wichtige Schlüsselrolle kommt dabei der Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden zu. Mögliche Strategien reichen von der Sanierung einzelner Gebäude und/oder ganzer Quartiere, dem Auf- und Ausbau von Wärmenetzen bis hin zur effizienteren dezentralen Bereitstellung und Nutzung von Ressourcen für die Wärmeerzeugung. Die Ermittlung des Wärmebedarfs vor Ort ist hierbei ein notwendiger Schritt zur Entwicklung von Energieeinsparungskonzepten. Unter der Rubrik Wärme sind im Energieatlas Karten zum Wärmebedarf und der Wärmebedarfsdichte von insgesamt 2,4 Millionen Wohngebäuden im Land abzurufen. Diese können auf verschiedenen Gebietseinheitsebenen angezeigt werden. Hierdurch besteht die Möglichkeit, Wohnquartiere mit hohem Wärmebedarf zu identifizieren, die im Falle einer Sanierung lohnende Energieeinspar- und Effizienzpotenziale erbringen könnten.

Biomasse

Im Themenbereich Biomasse werden immissionsschutzrechtlich genehmigungspflichtige Biomassefeuerungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von mehr als 1 MW dargestellt. Wenn vorhanden, können für die 103 Anlagen Daten zur jeweils installierten Leistung, zur erbrachten Wärmeenergie, verbrauchten Holzmenge und vermiedene

CO₂-Emissionen abgerufen werden. Insgesamt haben die 103 mit Stand Juli 2015 erfassten Anlagen fast 970 MW installierte Leistung und erzeugen 6000 GWh Wärme im Jahr. Außerdem können Informationen über die 16 Biomethaneinspeiseanlagen in Baden-Württemberg in der Rubrik Biomasse abgerufen werden.

Praxisbeispiele – Einzelprojekte – Smart Grids – Bioenergie-dörfer

Die Praxisbeispiele im Energieatlas zeigen die unterschiedlichen Einsatzgebiete für eine energieeffiziente und/oder integrierte Nutzung erneuerbarer Energien auf, geben Anregungen und Ideen zur Nachahmung und ermöglichen Vergleiche mit eigenen Projektideen. Sie bieten einen Querschnitt, sowohl über private und unternehmerische Initiativen, als auch Projekte staatlicher und kommunaler Einrichtungen. Unter den Praxisbeispielen sind Bioenergie-dörfer, Smart-Grids-Projekte und interessante Einzelprojekte zu finden. Die im Energieatlas mit Stand 2017 vorgestellten 131 Einzelprojekte umspannen die Themen Biomasse, Geothermie, Photovoltaik, Solarthermie, Wärme, KWK, Contracting und „sonstige“ wie Energieeffizienz oder Lastmanagement.

Im Energieatlas sind auch Informationen und Projektsteckbriefe von 29 Smart Grids-Projekten in Baden-Württemberg zu finden. An Hand der Praxisbeispiele werden die unterschiedlichen Einsatzgebiete und Technologiemerkmale dargestellt und ein erster Überblick über die verschiedenen Akteure, die sich mit Smart Grids beschäftigen, gegeben.

In einem Bioenergie-dorf wird das Ziel verfolgt, den überwiegenden Anteil der Wärme- und Stromversorgung auf die Nutzung des erneuerbaren Energieträgers Biomasse umzustellen. Viele Dörfer oder Gemeinden Baden-Württembergs haben bereits den Status eines Bioenergie-dorfes. In den Praxisbeispielen werden 67 Bioenergie-dorf-Projekte beispielhaft vorgestellt, um weiteren Gemeinden zu ermöglichen, von den dort gewonnenen Erfahrungen zu profitieren.

Netze

Das Kartenangebot des Energieatlas beinhaltet auch die Versorgungsgebiete der Verteilnetzbetreiber für Strom- und Gasnetze in Baden-Württemberg. Aus den Karten ergeben sich die geografischen Abgrenzungen der Versor-

gungsgebiete und aus den Objektinformationen die Kontaktdaten der jeweiligen Netzbetreiber.

Des Weiteren sind die geplanten Netzausbauvorhaben des Netzentwicklungsplans 2030 (Version 2019) sowie die Maßnahmen der Netze BW GmbH, die in Baden-Württemberg umgesetzt werden sollen, dargestellt.

Aktualisierung und Erweiterung

Der Energieatlas wird, in Abhängigkeit der Datenlage, ständig aktualisiert und weiterentwickelt. Derzeit werden

Möglichkeiten zur Zusammenfassung von Daten und zur Erstellung von Statistiken für Regionen, Gemeinden o. ä., auch mit der Möglichkeit des Downloads dieser, geschaffen.

Es ist vorgesehen, den Energieatlas um nachfolgende Themen zu erweitern: Energiespeicher, Wärmenetze, KWK-Anlagen, Abwärmepotenziale aus Unternehmen und der Industrie sowie Biogasanlagen.

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).

2015 lagen die Umweltschutzinvestitionen des verarbeitenden Gewerbes in Baden-Württemberg bei insgesamt rund 400 Mio. €. Dies entspricht 3,3 % der Gesamtinvestitionen dieses Wirtschaftsbereichs. Vor allem der Klimaschutz verzeichnet eine deutliche Steigerung der

Investitionen gegenüber dem Vorjahr um 28 %. Auf ihn entfallen mehr als die Hälfte (51,7 %) der Umweltschutzinvestitionen.

1.4.2 Wirtschaftsfaktor Umweltschutz

Die Umsätze, die Betriebe in Baden-Württemberg mit Waren, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz erwirtschaften, beliefen sich im Jahr 2016 auf etwa 11,26 Mrd. € und lagen damit etwa 8 % niedriger als im Vorjahr (Abb. 1.4-2). Nicht enthalten sind Entsorgungsdienstleistungen und Energieerzeugnisse wie Umsatz aus Windenergie oder Solarstrom. Seit 2006 werden auch Umsätze aus dem Bereich des Klimaschutzes erfasst. Dort wurden im Jahr 2016 allein 58,2 % aller im Umweltschutz getätigten Umsätze erwirtschaftet.

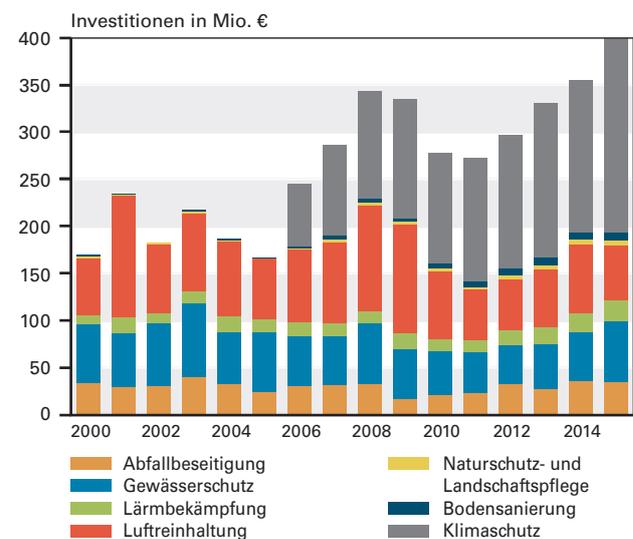
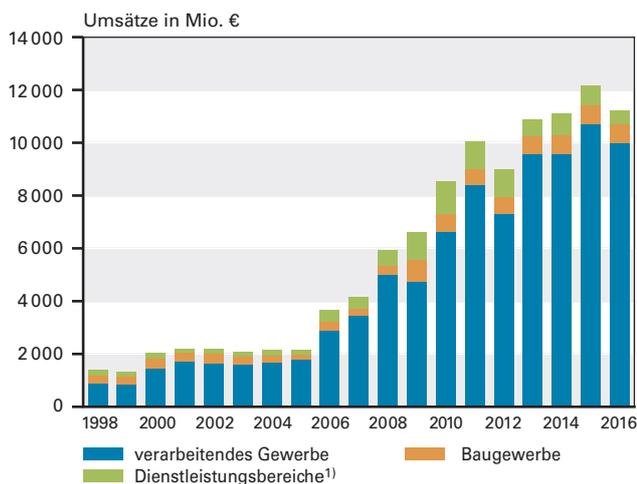
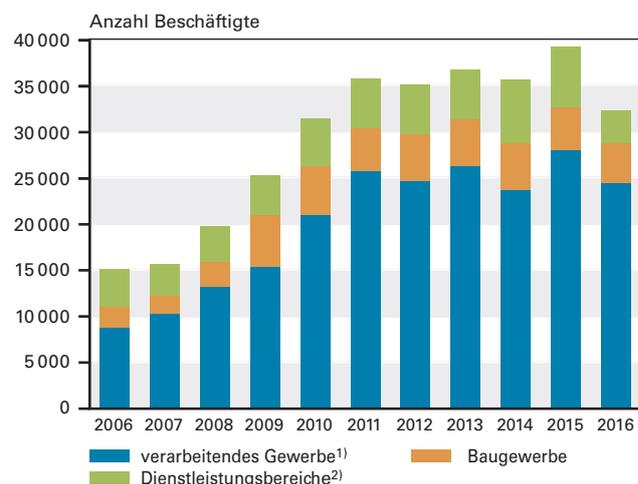


Abb. 1.4-1: Umweltschutzinvestitionen im verarbeitenden Gewerbe nach Bereichen. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 04/2018.



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 Betriebe mit Waren-, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2018.



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 mit Waren-, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2018.

Knapp 90 % der im Umweltbereich erwirtschafteten Umsätze sind dem verarbeitenden Gewerbe inklusive Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden zuzurechnen. Gegenüber dem Vorjahr ist allerdings ein Rückgang von 6,6 % auf 9,9 Mrd. € im Jahr 2016 zu verzeichnen. Einen Rückgang um etwa 27 % verzeichneten die Dienstleistungen im Bereich des Umweltschutzes. Im Jahr 2016 lagen die Umsätze in diesem Wirtschaftsbereich bei 547 Mio. €. Im Baugewerbe liegen die Umsätze im Umweltschutzbereich in den letzten vier Jahren relativ stabil bei rund 700 Mio. Euro pro Jahr.

1.4.3 Beschäftigte in der Umweltbranche

Beschäftigte, die mit der Erwirtschaftung von Umsätzen für den Umweltschutz tätig sind, werden von den Betrieben in Vollzeitäquivalenten angegeben. Wie die Umweltschutzumsätze erstrecken sich die Beschäftigten über alle Wirtschaftsbereiche. Im verarbeitenden Gewerbe können dies beispielsweise Beschäftigte bei der Herstellung von Wärmepumpen sein. Im Dienstleistungsbereich handelt es sich zu großen Teilen z. B. um Beschäftigte, die Umweltschutzumsätze in Architektur- und Ingenieurbüros sowie bei technischen, physikalischen und chemischen Untersuchungen erzielen.

Die Anzahl der Beschäftigten für den Umweltschutz zeigt im Jahr 2016 einen deutlichen Rückgang (-18 %) und liegt jetzt bei rund 32 407 Beschäftigten. Über drei Viertel

(76 %) der Beschäftigten sind dem verarbeitenden Gewerbe zuzuordnen (Abb. 1.4-3).

1.4.4 Betriebliches Umweltmanagement

Zur Verankerung des Umweltschutzes in Unternehmen hat sich die Einführung von Umweltmanagementsystemen bewährt. Mit dem EMAS-System (Eco Management and Audit Scheme) steht den Unternehmen seit über 20 Jahren ein anerkannter Standard auf europäischer Ebene zur Verfügung. Zu Beginn des Jahres 2018 sind 402 Betriebe und Organisationen mit insgesamt 740 Standorten in Baden-Württemberg registriert. Bundesweit betrachtet stellt Baden-Württemberg rund 33 % aller Teilnehmer (Quelle: EMAS-Register). Nicht zuletzt dank der Förderung durch das Land haben sich die Teilnehmerzahlen über mehrere Jahre stabilisiert. Der Anteil kleiner und mittelständischer Organisationen (bis 250 Beschäftigte) liegt mit rund 83 % höher als im Bundesdurchschnitt mit 72 % [UGA 2017].

Die EMAS-Teilnehmerzahlen bei den Kirchen und schulischen Einrichtungen sind innerhalb der letzten drei Jahre rückläufig. Zunahmen gibt es im produzierenden Gewerbe (u. a. Herstellung von Kraftwagen, Maschinenbau), der öffentlichen Verwaltungen und der Energieversorgung. Nach wie vor ist die Hotel- und Gastronomiebranche stark vertreten (Abb. 1.4-4).

Die weltweit gültige ISO 14001 gilt als weiterer zertifizierbarer Umweltmanagementstandard und ist privatrechtlicher Natur. In Deutschland ist von rund 9400 Zertifizierungen auszugehen [ISO 2017]. Seit 2013 ist deutschlandweit ein Anstieg der ISO 14001 Zertifizierungen um rund 17,5 % zu verzeichnen. Belastbare Daten für die einzelnen Bundesländer liegen nicht vor, da es für die ISO-Zertifikate keine gemeinsame Registrierung gibt.

Als Einstieg in den betrieblichen Umweltschutz eignen sich sogenannte „niederschwellige Systeme“. Dazu gehört das vom Land geförderte Programm ECOfit, das seit 2005 vor allem kleine und mittlere Unternehmen auf die Einführung eines Umweltmanagementsystems vorbereitet. Insgesamt haben rund 450 Betriebe an ECOfit in Baden-Württemberg teilgenommen [LUBW 2016].

Ergänzend zu den Umweltmanagementsystemen und niederschweligen Ansätzen gibt es mit der WIN-Charta ein Nachhaltigkeitsmanagementsystem speziell für kleine und mittlere Unternehmen. Diese freiwillige Selbstverpflichtung zielt darauf ab, den Nachhaltigkeitsgedanken in allen Branchen der baden-württembergischen Wirtschaft zu verbreiten und zu verankern. Zu Beginn des Jahres 2018 haben 134 Unternehmen die WIN-Charta unterzeichnet.

Auch die Landesverwaltung stellt sich den Anforderungen des betrieblichen Umweltschutzes. Innerhalb der Zielsetzung, die Landesverwaltung bis zum Jahr 2040 weitgehend klimaneutral zu organisieren, ist die Öko-Auditierung ein zentraler Baustein. Die Zwischenbilanz zeigt, dass mit rund 82 % ein wesentlicher Anteil an den CO₂-Gesamtemissionen der Landesverwaltung auf die Landesliegenschaften

(Strom, Wärme, Wasser/Abwasser) entfällt. 2010 wurden etwa 646 000 Tonnen CO₂ ausgestoßen, 2015 waren es noch rund 425 000 Tonnen, das entspricht einem Minus von etwa einem Drittel [UM 2017c]. In mehreren Konvois wurde in allen Ministerien sowie einigen nachgeordneten Behörden ein Energiemanagement eingeführt und nach ISO 50001 zertifiziert. Angestrebt ist, diesen Prozess auf weitere Liegenschaften sowie auf das Umweltmanagement nach ISO 14001 auszudehnen.

1.4.5 Nachhaltige Kommunalentwicklung

Kommunen engagieren sich in Baden-Württemberg 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 wurden mit der Gründung des Agenda-Büros bei der damaligen LfU unterstützt, das in den letzten 20 Jahren u. a. ca. 340 Veranstaltungen mit 10 800 Multiplikatoren durchführte.

Im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie des Landes Baden-Württemberg wurde das Agenda-Büro zum Nachhaltigkeitsbüro der LUBW weiterentwickelt und unterstützt die landesweite „Kommunale Initiative Nachhaltigkeit“. Zielsetzung ist, Bausteine und Prozesse für eine nachhaltige Kommunalentwicklung vor Ort voranzubringen.

Diese örtlichen Aktivitäten sind im „Nachhaltigkeitsatlas“ auf der Homepage der LUBW abrufbar. Aktuell sind 149 meist größere Kommunen mit ihren Nachhaltigkeitsbausteinen wie Klimaschutzkonzepte, Nachhaltigkeitsberichte, nachhaltige Beschaffung oder Verfahren zur Bürgerbeteiligung erfasst (Abb. 1.4-6). Diese werden auch durch Beratungsangebote unterstützt. Die häufigsten Verfahren für eine vielfältige Bürgerbeteiligung bilden Werkstattveranstaltungen, bei denen Bürger an der Zukunftsgestaltung der Kommune beteiligt werden. Sie werden als Nachhaltigkeitswerkstätten finanziell vom Land gefördert.

Klimaschutz ist ein zentrales Thema der nachhaltigen Kommunalentwicklung. Die Landesregierung und die kommunalen Landesverbände haben Ende 2015 den „Klimaschutzpakt Baden-Württemberg“ für die Jahre 2016 und 2017 geschlossen. Die Parteien haben mittlerweile die Fortschreibung des Klimaschutzpaktes bis Ende 2019 vereinbart. Im Klimaschutzpakt bekennen sich die Parteien zur Vorbildwirkung der öffentlichen Hand beim Klimaschutz



Abb. 1.4-4: Branchenbezogene EMAS-Beteiligung in Baden-Württemberg, TOP 10. Quelle: DIHK. Stand: Januar 2018.

und zu den Zielen des Klimaschutzgesetzes. Bislang sind 233 Kommunen dem Klimaschutzpakt als Unterstützer beigetreten (Stand: 04.09.2018).

Klimaschutzkonzepte können nach dem vom Land geförderten „European Energy Award – eea“ zertifiziert werden. Zurzeit nehmen 100 Städte und Gemeinden und 20 Landkreise am European Energy Award teil (Abb. 1.4-6). Im Bereich der Stadt- und Landkreise bietet der Wettbewerb Leitstern Energieeffizienz Vergleich und Plattform zu allen Aktivitäten der Kreise im Bereich Energieeffizienz. Bereits laufende Anstrengungen werden erfasst und gegenüber anderen Kreisen in einem Ranking eingeordnet. 32 der 44 Stadt- und Landkreise haben sich am Wettbewerb beteiligt.

Bürgerschaftlicher und kooperativer Klimaschutz vor Ort zeigt sich u. a. in vielen Bürger- und Gemeinschaftssolaranlagen. Dabei betreiben Bürgerinnen und Bürger mit finanziellen Anteilen gemeinsam Solaranlagen, die häufig auf den Dächern kommunaler Liegenschaften angebracht sind. Seit 2009 geschieht dies zunehmend in Form von Energiegenossenschaften. Diese sind in Baden-Württemberg von 7 Energiegenossenschaften im Jahr 2008 auf insgesamt 149 Genossenschaften im Jahr 2015 angewachsen (Abb. 1.4-5). Bedingt durch gesetzliche Änderungen auf Bundesebene stagniert diese Zahl seit 2015. Allerdings erschließen sich

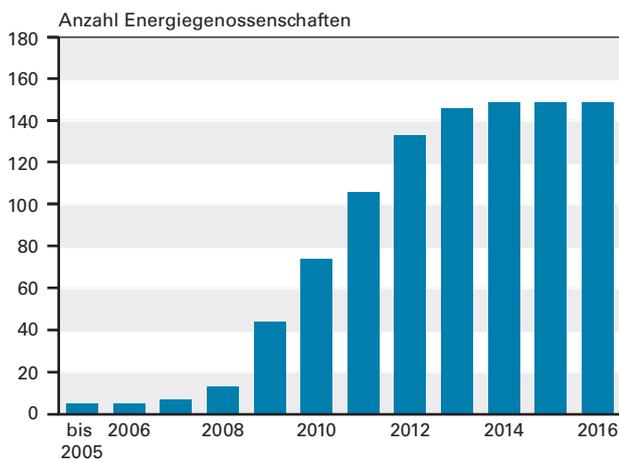


Abb. 1.4-5: Anzahl der Energiegenossenschaften. Quelle: Baden-Württembergischer Genossenschaftsverband e. V. Stand: 2018.

die Genossenschaften zunehmend weitere Themenfelder z. B. im Bereich der Nahwärme und der Energieeffizienz, um die Energiewende in Baden-Württemberg aktiv voranzutreiben.

Für Aktivitäten zur Förderung des fairen Handels erhalten sogenannte „Fairtrade-Towns“ ein Siegel. Bis August 2018 waren in Baden-Württemberg 90 Kommunen zertifiziert (Abb. 1.4-6). In Stuttgart kommen außerdem noch 19 zertifizierte Stadtteile hinzu. Einen Beitrag und ein Signal zum fairen Handel leisten auch 104 Agenda-, Partnerschafts- und Städtekafees, bei denen Kommunen meist gemeinsam mit Weltläden den Verkauf fairen Kaffees mit einem eigenen Namen und Logo unterstützen.

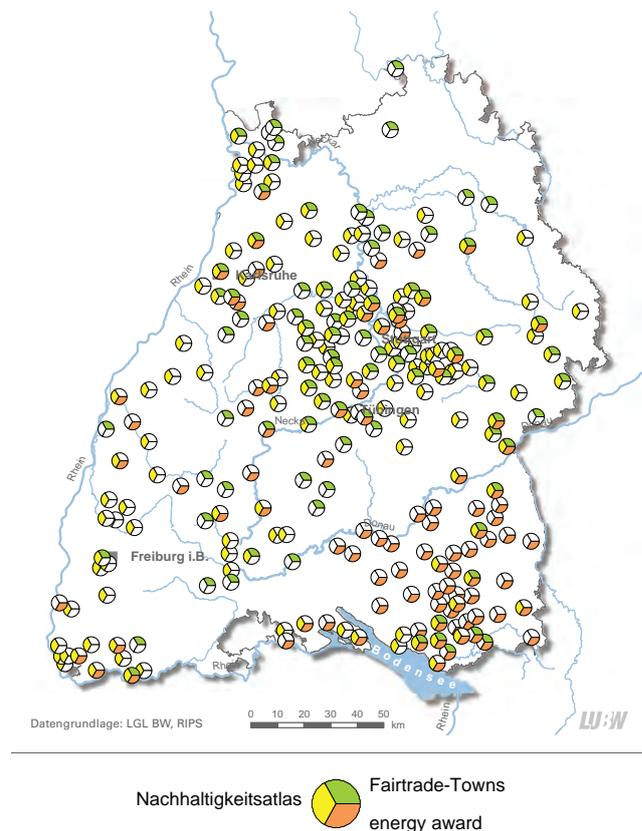


Abb. 1.4-6: Nachhaltigkeitsaktivitäten in Gemeinden Baden-Württembergs. Quelle: LUBW, www.fairtrade-towns.de, www.european-energy-award.de. Stand: 01.09.2018.

Klima 2

Das Wichtigste in Kürze

In den Jahren 2006 bis 2009 war ein deutlicher Rückgang der **Treibhausgasemissionen** festzustellen, seither liegen die vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg erhobenen Treibhausgasemissionen bei meist witterungsbedingten jährlichen Schwankungen auf eher gleichbleibendem Niveau.

Der mit etwa 87 % in Baden-Württemberg größte Anteil an den Treibhausgasemissionen entfällt auf **energiebedingtes Kohlendioxid**, also auf Kohlendioxidemissionen verursacht beispielsweise durch Verkehr, Wärmekraftwerke, Haushalte oder industrielle Feuerungen.

Die **Veränderung des Klimas** setzt sich in Baden-Württemberg weiter fort. Die Jahresmitteltemperatur ist, gemittelt über das ganze Land, im Zeitraum 1881 bis 2017 um 1,4 °C gestiegen. Insbesondere in den letzten 30 Jahren ist die Zunahme beachtlich. Sie beträgt in allen Regionen Baden-Württembergs mehr als 1 °C. Neun der zehn wärmsten Jahre seit 1881 in Baden-Württemberg traten nach 2000 auf.

Dies hat bereits heute **Folgen für die Natur, Landschaft und Gesellschaft** in Baden-Württemberg: Beispielsweise werden wärmeliebende Tier- und Pflanzenarten begünstigt, die Hitzebelastung vor allem in den Städten steigt. Extremereignisse wie Hochwasser- oder Starkregenereignisse treten häufiger auf und mit ihnen Schadensereignisse großen Umfangs.

Nach dem International Panel of Climate Change ist es äußerst wahrscheinlich, dass die anthropogenen Treibhausgasemissionen hauptsächlich für die beobachteten Klimaänderungen verantwortlich sind [IPCC 2014].

Die Emissionen des wichtigsten Treibhausgases Kohlendioxid sind nach drei Jahren fast ohne Wachstum im Jahr 2017 wieder um etwa 2 % auf einen Rekord von 36,8 Gt CO₂ angestiegen. Erstmals ist dadurch 2016 eine Konzentration von 400 ppm (parts per million) in der Atmosphäre überschritten worden, 2017 wurden ca. 407 ppm erreicht [GCP 2017]. Die bisherigen internationalen Anstrengungen des Klimaschutzes haben damit also zu keinem nachhaltigen Rückgang der globalen Treibhausgasemissionen geführt.

Die Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen in Deutschland der letzten fast 30 Jahre passt zu dem Bild eines Klimawandels mit langfristiger Temperaturerhöhung: Die 20 wärmsten Jahre seit Beginn der Aufzeichnungen in den 1880er-Jahren liegen alle in der Periode seit 1990 [DWD 2017]. 2016 ist global gesehen das wärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. .

Der Klimawandel und seine Folgen sind auch in Baden-Württemberg offensichtlich, wie die nachfolgenden Darstellungen zeigen. Ausführlich werden die Klimawandelfolgen im 2017 veröffentlichten Monitoring-Bericht zum Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg Teil I Klimafolgen und Anpassung beschrieben [UM/LUBW 2017].

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 im Durchschnitt um 5,2 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Im Protokoll werden seit der Ergänzung von Stickstofftrifluorid im Jahr 2012 sieben 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, Erdgasverteilung,
- Lachgas (Distickstoffmonoxid), z. B. aus der Stickstoffdüngung,
- perfluorierte Kohlenwasserstoffe, z. B. aus der Aluminiumproduktion,
- teilfluorierte Kohlenwasserstoffe, z. B. aus Kühlmitteln und der chemischen Industrie,
- Stickstofftrifluorid, z. B. aus der Halbleiterindustrie, Solarzellenfertigung,
- 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.

Auf der Vertragsstaatenkonferenz in Doha (Katar) 2012 einigten sich die Partner auf eine zweite Verpflichtungsperiode von 2012 bis 2020. Die Annex-B-Länder verpflichten sich, ihre Emissionen bis 2020 im Durchschnitt um 18 % gegenüber 1990 zu senken, die EU hat sich für den gleichen Zeitraum um eine Minderung der Treibhausgasemissionen um 20 % bekannt. Nationale Ratifizierungsprozesse stehen aber noch aus.

Baden-Württemberg hat sich 2013 im „Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes in Baden-Württemberg“ das Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen bis 2020 um 25 % und bis 2050 um rund 90 % gegenüber dem Niveau von 1990 zu reduzieren. Darüber hinaus wurde ein „Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg“ (IEKK) entwickelt, das 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 der von Kohlendioxid verglichen und als sogenanntes „Kohlendioxidäquivalent“ ausgewiesen (Tab. 2.1-1).

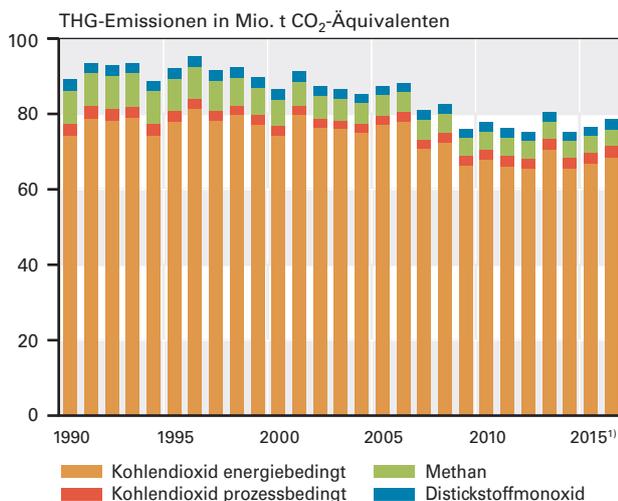
Tab. 2.1-1: Kohlendioxidäquivalente der im Kyoto-Protokoll regulierten Treibhausgase bezogen auf 100 Jahre Zeithorizont [UNFCCC 2013].

Treibhausgas	Treibhausgaspotenzial
Kohlendioxid (CO ₂)	1
Methan (CH ₄)	25
Distickstoffmonoxid (N ₂ O)	298
PFC perfluorierte Kohlenwasserstoffe (z. B. Tetrafluormethan CF ₄)	7 390
HFC teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (z. B. Trifluormethan CHF ₃)	14 800
Stickstofftrifluorid (NF ₃)	17 200
Schwefelhexafluorid (SF ₆)	22 800

Die Treibhausgasemissionen sind in den Jahren 2006 bis 2009 deutlich zurückgegangen, liegen seither aber bei meist witterungsbedingten jährlichen Schwankungen auf eher gleichbleibendem Niveau (Abb. 2.1-1).

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 fossilen kohlenstoffhaltigen Brennstoffen zum Zweck der Energiegewinnung (Strom, Wärme, Antrieb) entstehen und
- prozessbezogenen Emissionen, die durch Umwandlungsvorgänge in der Industrie anfallen.



1) 2015 vorläufige Daten, 2016 geschätzte Werte

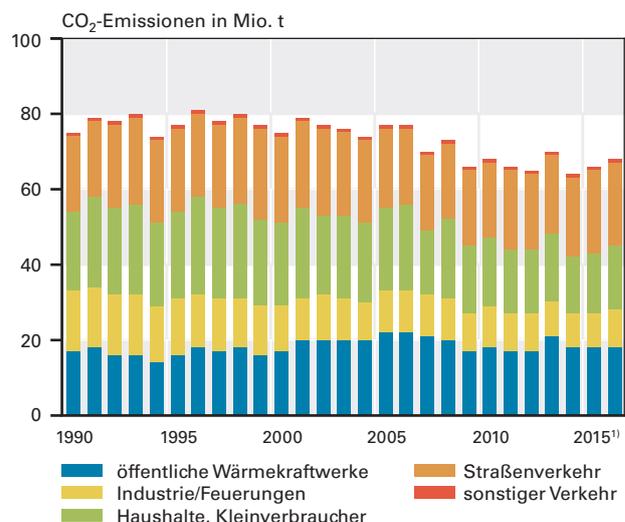
Abb. 2.1-1: Klimarelevante Emissionen in Kohlendioxidäquivalenten in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2018.

Während Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz oder die Umstellung auf kohlenstoffärmere oder nicht fossile 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 gebundene Kohlendioxid freigesetzt, sodass vorrangig durch die Verringerung der Produktionsmenge Einsparungen beim prozessbezogenen Kohlendioxidausstoß 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 2016 dann um 12,2 % zurückgegangen (Abb. 2.1-2). Im Jahr 2016 lagen sie bei 68,5 Millionen Tonnen (Mio. t) unter den höheren Kohlendioxidemissionen von 2013 von 70,5 Mio. t. 2013 wurden die höheren Kohlendioxidemissionen durch den hohen Einsatz von Steinkohle, bedingt u. a. durch niedrige Weltmarktpreise, verursacht.

2.1.2 Berechnung von Treibhausgasemissionen

Die Berechnung der Kohlendioxidemissionen erfolgt nach einer zwischen den Bundesländern abgestimmten einheitlichen Methodik und wird vom Länderarbeitskreis Energiebilanzen (www.lak-energiebilanzen.de) koordiniert. Bei den Methan- und Lachgas-Emissionen handelt es sich um



1) 2015 vorläufige Daten, 2016 geschätzte Werte

Abb. 2.1-2: Anteile der Emittentengruppen an den energiebedingten Kohlendioxidemissionen in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2018.

Ergebnisse von Modellrechnungen, die im Rahmen der Umweltökonomischen Gesamtrechnung (UGR) der Länder in Anlehnung an die Nationale Berichterstattung zum deutschen Treibhausgasinventar des Umweltbundesamtes (National Inventory Report, NIR) ermittelt werden (siehe auch: Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder www.ugrdl.de). Die einheitlichen Methoden zur Berechnung der Treibhausgasemissionen ermöglichen die Vergleichbarkeit zwischen Bund und Ländern und liefern eine sehr gute Übereinstimmung der Länderergebnisse mit dem deutschen Treibhausgasinventar.

Die CO₂-Bilanzen werden in Form einer Quellenbilanz erstellt. Dabei bleiben die mit Importstrom zusammenhängenden Kohlendioxidemissionen unberücksichtigt. 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 Mineralöle sowie deren kohlenstoffhaltige Produkte. Neben den energiebedingten Emissionen werden auch die prozessbedingten CO₂-Emissionen erfasst. Generell nicht einbezogen sind die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung biogener Materialien, die definitionsgemäß nicht treibhausgaswirksam sind. Die sonstigen Kyoto-Treibhausgase werden nicht betrachtet, da sie einen unbedeutenden Anteil an den Treibhausgasen zeigen.

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 Monitoring-Bericht zum Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg – Teil II Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept herangezogen [UM 2014].

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. Hierzu steht das Emissionskataster bei der LUBW zur Verfügung.

2.1.3 Kohlendioxidemissionen nach Emittentengruppen

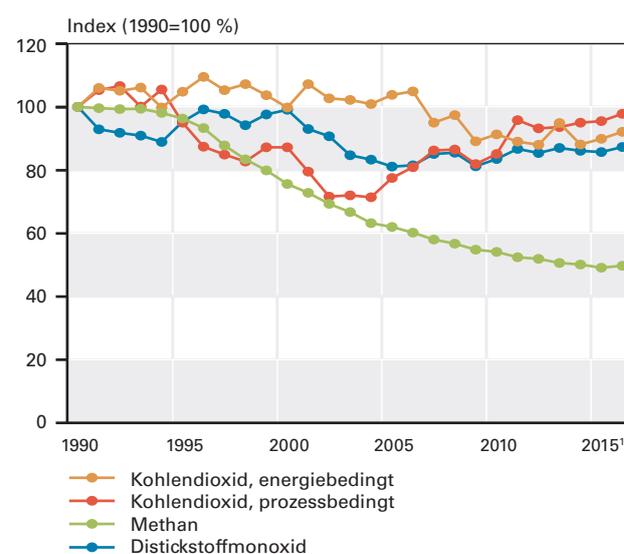
Der Straßenverkehr hat im Jahr 2016 mit einem Emissionsanteil von 32 % eine ähnliche Bedeutung für die Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre wie die anderen Emittentengruppen (Abb. 2.1-2). Zwischen 1990 und 2016 stiegen die Kohlendioxidemissionen des Straßenverkehrs um 11,9 % an, demgegenüber reduzierten sich die Kohlendioxidemissionen der Haushalte und Kleinverbraucher um 19,2 %, die von Industrie und Feuerungen um 36,8 %.

Der Anteil der Kohlendioxidemissionen an den gesamten anthropogenen Treibhausgasemissionen betrug in Baden-Württemberg, bezogen auf die Treibhauswirksamkeit, im Jahr 2015 rund 91 %. Davon wurden 96 % bzw. 87 % der gesamten Treibhausgasemissionen durch die Erzeugung von Energie verursacht. Hierzu zählen neben den Emissionen durch die Erzeugung von Wärme und Strom auch die vom Verkehr verursachten Kohlendioxidemissionen.

2.1.4 Sonstige Treibhausgasemissionen

Bei den Emissionen der anderen Treibhausgase machten die Methanemissionen im Jahr 2016, bezogen auf ihre Treibhauswirksamkeit, etwa 5,6 % der gesamten Treibhausgasemissionen aus (Abb. 2.1-1). Sie sind zwischen 1990 und 2016 um 50 % zurückgegangen (Abb. 2.1-3).

Hauptverursacher für die Methanemissionen waren im Jahr 2016 die Landwirtschaft mit 57,2 % sowie die Abfallwirtschaft (Hausmülldeponien, Kompostierungsanlagen



1) 2015 vorläufige Daten, 2016 geschätzte Werte

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. Stand: 2018.

und Sickergruben) mit 22,1 %. Mehr als 18,9 % des Methan- ausstoßes sind energieverbrauchsbedingten Emissionen zuzurechnen, insbesondere durch Gasverluste und Feuerungen. Methanemissionen aus Deponien sind stark rückläufig, da seit 2005 nur noch inerte Abfälle – also Abfälle ohne biologisch abbaubaren Kohlenstoff – auf Deponien abgelagert werden dürfen. Die Restemissionen basieren auf biologisch abbaubaren Abfällen, die vor 2005 zur Ablagerung kamen. Das biologisch abbaubare Material im Deponiekörper nimmt somit kontinuierlich ab und damit auch die Methanemissionen.

Die Reduzierung der Methanemissionen aus der Landwirtschaft wird durch abnehmende Rinderbestände verursacht bzw. auch durch Fortschritte bei der landwirtschaftlichen Produktion.

Der Anteil von Distickstoffmonoxid (Lachgas) an den Treibhausgasemissionen summierte sich in Baden-Württemberg, berechnet als Kohlendioxidäquivalente, im Jahr 2016 auf etwa 3,4 % (vgl. Abb. 2.1-1). Die absolut emittierte Menge ist im Zeitraum von 1990 bis 2016 um rund 13 % zurückgegangen. 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, aber auch in Form von Stickstoffdioxid durch Industrie und Verkehr, beruhen.

Die weiteren Treibhausgase perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC), teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFC) und Schwefelhexafluorid (SF₆), die vor allem aus industriellen Prozessen und Anwendungen stammen, hatten im Jahr 2016 in der Summe, bezogen auf ihr Treibhausgaspotenzial, nur einen geringen Anteil an den Treibhausgasemissionen in Baden-Württemberg. Stickstofftrifluorid (NF₃)-Emissionen sind in Baden-Württemberg ebenfalls von untergeordneter Bedeutung.

2.1.5 Emissionshandel zur Reduktion von Treibhausgasemissionen

Mit dem Ziel, die von der Industrie verursachten Treibhausgasemissionen effektiv zu reduzieren, wurde zum 01.01.2005 der Europäische Emissionshandel durch eine EU-Richtlinie (2003/87/EG) eingeführt. Der Emissionshandel dient zugleich der Umsetzung des internationalen Klimaschutzabkommens von Kyoto und ist das zentrale europäische Klimaschutzinstrument. Die Richtlinie wurde mit

dem Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TEHG) in deutsches Recht umgesetzt. Der Emissionsrechtehandel ist in mehrjährige Handelsperioden unterteilt. Bisher sind die Handelsperiode I von 2005 bis 2007 (Pilotphase) und die Handelsperiode II von 2008 bis 2012 abgeschlossen. Zusätzlich wurde in 2012 der innereuropäische Flugverkehr in den Emissionshandel mit eingebunden. In Baden-Württemberg nehmen seit dem Beginn der dritten Handelsperiode (2013 bis 2020) 153 Anlagen am Emissionshandel teil. Im Vergleich zu den vorangegangenen Handelsperioden 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 Strom- und Prozesswärmeerzeugung. Vonseiten der Europäischen Union sind die weiter entwickelten Vorgaben zum Start der bevorstehenden vierten Handelsperiode im Jahr 2021 abgeschlossen.

Der Europäische Emissionshandel funktioniert nach dem Prinzip des „Cap & Trade“. Eine Obergrenze (Cap) legt fest, wie viele Treibhausgasemissionen von den emissionshandelspflichtigen Anlagen insgesamt ausgestoßen werden dürfen. Die Anlagen erhalten – teilweise kostenlos, teilweise über Versteigerung – eine entsprechende Menge an Emissionsberechtigungen (Befugnis zur Emission von einer Tonne Kohlendioxid bzw. Kohlendioxidäquivalenten). Die Emissionsberechtigungen können auf dem Markt freigehandelt werden (Trade). Durch den Handel bildet sich, in Abhängigkeit von Angebot und Nachfrage, ein Preis für den Ausstoß von einer Tonne an Treibhausgasen (CO₂-Äquivalent). Bei den beteiligten Unternehmen soll dieser Preis einen Anreiz erzeugen, ihre Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Die pro Jahr dem Emissionshandel zur Verfügung gestellten Emissionsberechtigungen werden jährlich reduziert.

Infolge wenig ambitionierter Caps, krisenbedingter Produktions- und Emissionsrückgänge sowie der umfangreichen Nutzung von internationalen Projektgutschriften hat sich seit 2008 eine große Menge überschüssiger Emissionsberechtigungen im EU-ETS angesammelt. Diese Überschüsse haben wesentlich zu dem seit Mitte 2011 beobachtbaren Preisverfall für Emissionsberechtigungen beigetragen. Ab 2019 werden die Überschüsse schrittweise durch die sogenannte Marktstabilitätsreserve (MSR) abgebaut. Wei-

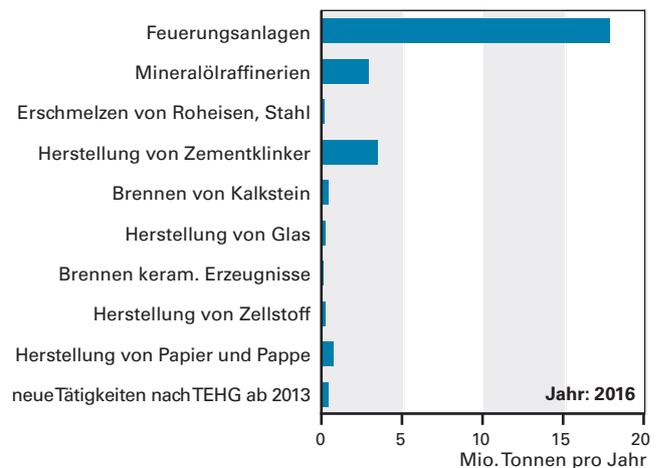
tere Informationen zum EU-ETS sind auf der Internetseite der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt abrufbar [UBA 2018] (www.umweltbundesamt.de > Daten > Klima > Der Europäische Emissionshandel).

Mit Beginn der vierten Handelsperiode wird die jährliche Quote zur Reduzierung verfügbarer Emissionsberechtigungen von 1,74 % auf 2,2 % erhöht.

Die dem europäischen Emissionsrechtehandel unterliegenden Anlagen in Baden-Württemberg emittierten im Jahr 2016 zusammen 26,1 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 26,1 Mio. t im Jahr 2016 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.

Der überwiegende Teil der Treibhausgasemissionen wird von Feuerungsanlagen, Anlagen zur Herstellung von Zementklinker und Mineralölraffinerien verursacht, die dem Emissionshandel unterliegen (Abb. 2.1-5). Bei genauer Analyse der Einzelemittenten zeigt sich, dass 2016 ca. zwölf Anlagen zusammen 83 % der dem Emissionshandel unterliegenden Treibhausgase emittieren. Dies sind fünf Groß-

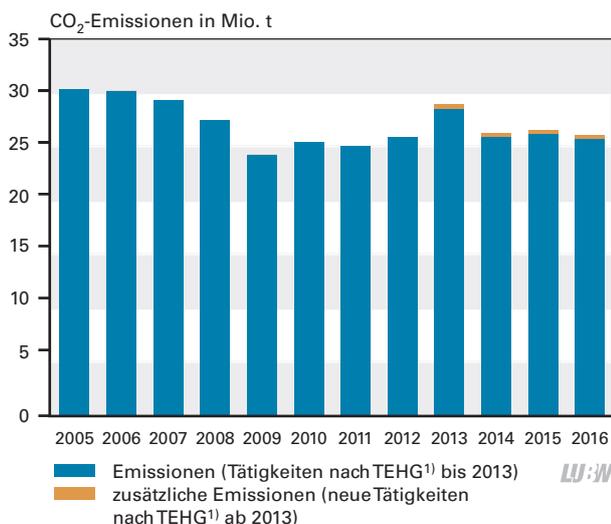
feuerungsanlagen mit jährlichen CO₂-Emissionen von zusammen 15,4 Mio. t, eine Mineralölraffinerie mit 2,8 Mio. t und sechs Zementwerke mit zusammen ca. 3,4 Mio. t. Annähernd die gesamte Reduktion der Treibhausgasemissionen von 2005 bis 2012 und der Anstieg im Jahr 2013 werden von Feuerungsanlagen, und hier fast ausschließlich durch vier Großfeuerungsanlagen zur Stromerzeugung, verursacht (Abb. 2.1-6).



1) Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz

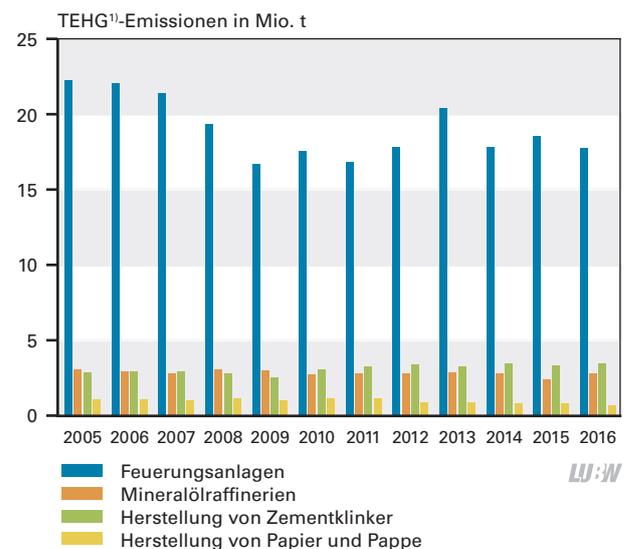


Abb. 2.1-5: Treibhausgasemissionen in Kohlendioxidäquivalenten aller dem Emissionsrechtehandel unterliegenden Anlagen in Baden-Württemberg im Jahr 2016, aufgegliedert nach Tätigkeiten. Stand: 2018.



1) Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz

Abb. 2.1-4: Entwicklung der jährlichen Treibhausgasemissionen in Kohlendioxidäquivalenten der dem Emissionsrechtehandel unterliegenden relevanten Tätigkeiten in Baden-Württemberg. Stand: 2018.



1) Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz

Abb. 2.1-6: Jährliche Treibhausgasemissionen in Kohlendioxidäquivalenten von dem Emissionsrechtehandel unterliegenden Anlagen in Baden-Württemberg, ausgewählte Tätigkeiten mit den höchsten Emissionen. Stand: 2018.

2.2 Klimawandel und seine Folgen

2.2.1 Klima der letzten Jahrzehnte

In allen Regionen Baden-Württembergs ist die Jahresmitteltemperatur deutlich angestiegen. Gemittelt über das ganze Land beträgt die Zunahme 1,4 °C im Zeitraum 1881 bis 2017. Insbesondere seit Mitte der 1980er-Jahre ist die Temperatur mit einer Zunahme von mehr als 1 °C rapide und stark angestiegen. Neun der zehn wärmsten Jahre Baden-Württembergs seit Beginn der Aufzeichnungen traten nach 2000 auf. Die Datenauswertung des Sommers lag für Baden-Württemberg zum Redaktionsschluss noch nicht vor. Deutschlandweit war der Sommer 2018 aber der zweitheißeste seit Beginn der Aufzeichnungen [DWD 2018].

Regional ergeben sich Unterschiede: Absolut gesehen sind die ohnehin als wärmer bekannten Regionen Baden-Württembergs, wie der Oberrheingraben und der Rhein-Neckar-Raum, stark von der Temperaturzunahme betroffen. Beispielsweise beträgt der Temperaturanstieg an der Station Stuttgart-Echterdingen seit 1950 etwa 1,8 °C. Ab 2000 stieg die mittlere Temperatur dort bereits auf über 10 °C, im internationalen Vergleichszeitraum 1961-1990 waren es hingegen noch 8,8 °C.

Relativ gesehen verzeichnen die höher gelegenen, kühleren Gebiete des Landes den größten Temperaturanstieg. Beispielsweise ist der Anstieg von 1,6 °C seit 1950 auf dem Feldberg bezogen auf die Durchschnittstemperatur von 3,3 °C im Zeitraum 1961-1990 beachtlich.

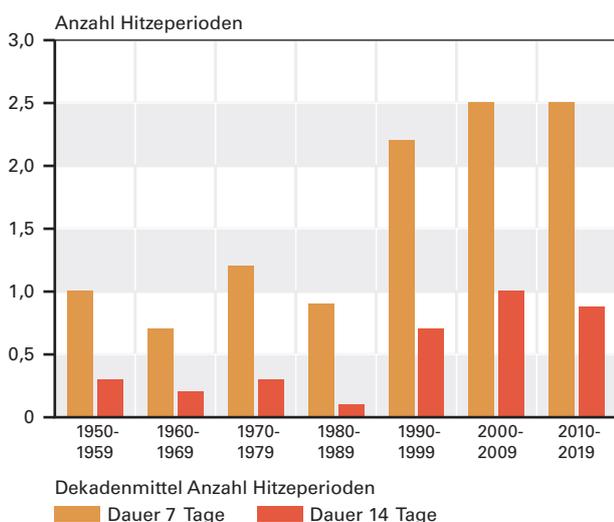


Abb. 2.2-1: Dekadenmittel der Anzahl von Hitzeperioden für die Station Mannheim, Berechnung: LUBW, Quelle: DWD.

Es ist nicht nur wärmer, sondern vor allem heißer geworden. Die mittlere Anzahl Heißer Tage mit Temperaturen über 30 °C hat sich nahezu verdoppelt. Demzufolge sind längere gesundheitlich belastende Hitzeperioden, in denen Temperaturen von 30 °C und mehr über 7 oder gar 14 Tage erreicht werden, häufiger. Besonders in den Städten, in denen es durch den Wärme- oder Hitzeinseleffekt im Sommer bis zu 6 °C wärmer sein kann als im Umland, ist die Hitzebelastung groß. Beispielsweise hat sich in Mannheim seit den 1950er-Jahren die durchschnittliche jährliche Anzahl sowohl von starken Hitzeperioden mit einer Dauer von 7 Tagen als auch extremen Hitzewellen, in denen 14 Tage lang über 30 °C erreicht werden, mehr als verdoppelt (Abb. 2.2-1).

Seit 1881 haben die jährlichen Niederschlagssummen in Baden-Württemberg um 93 mm bzw. um rund 10 % zugenommen. Bei Betrachtung der Jahreszeiten zeigt sich eine deutliche Zunahme der Winter- und eine leichte Abnahme der Sommerniederschläge.

2.2.2 Abschätzung der zukünftigen Klimaentwicklung

Aktuelle Klimamodelle zeigen, dass sich die Temperaturzunahme in Zukunft weiter fortsetzen wird. So wird, basierend auf dem sogenannten SRES-Emissionsszenario A1B, für Baden-Württemberg für die nahe Zukunft (2021-2050), eine mittlere Temperaturzunahme von +1,1 °C mit einer Bandbreite zwischen +0,8 °C und +1,7°C im Vergleich zum Zeitraum 1971-2000 projiziert (Abb. 2.2-2). Für die ferne

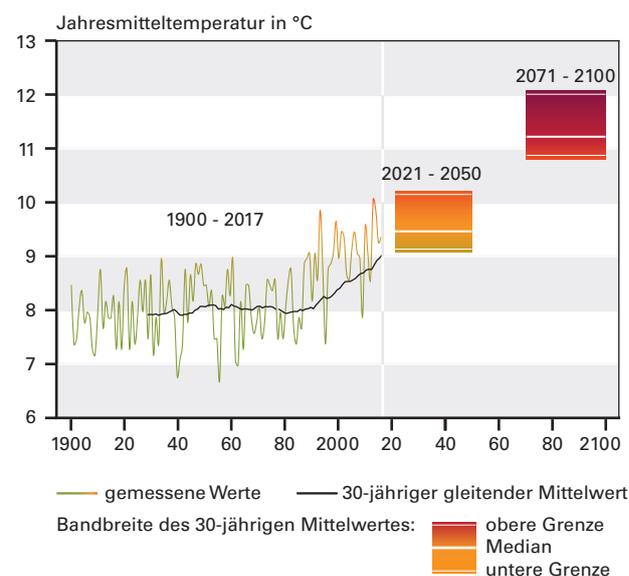


Abb. 2.2-2: Beobachtete Temperaturentwicklung und zukünftige Entwicklung der Temperatur in Baden-Württemberg für das Szenario A1B.

Zukunft, also den Zeitraum von 2071 bis 2100, wird sogar von einer Erhöhung von +2,5 °C bis 3,6 °C ausgegangen [LUBW 2013].

Rechnungen mit neuen Modellen auf Basis der Entwicklung der Treibhausgaskonzentrationen, den sogenannten RCPs (Representative Concentration Pathways), zeigen ein ähnliches Bild. Für die ferne Zukunft liegen die Ergebnisse des Weiter-wie-bisher-Szenarios (RCP8.5) sogar noch um ca. +1 °C außerhalb der oberen Bandbreite der A1B-Berechnungen. Es könnte somit noch wärmer werden, als die pessimistischsten Modelle für Baden-Württemberg auf Basis des A1B-Szenarios zeigen.

Die Anzahl Heißer Tage wird laut der Modelle weiter ansteigen. In Karlsruhe muss zum Beispiel statt mit durchschnittlich rund 16 Tagen pro Jahr im Zeitraum 1971-2000 in der nahen Zukunft mit rund 35 und in der fernen Zukunft mit über 50 Heißen Tagen gerechnet werden.

Bei den Niederschlagsparametern streuen die Modellergebnisse stärker. Die durchschnittliche Jahresniederschlagssumme des Landes wird sich auch in Zukunft mit ca. 950 mm auf einem ähnlichen Niveau bewegen. Allerdings werden wahrscheinlich die Sommerniederschläge ab- und die Winterniederschläge sowie die Tage mit Starkniederschlägen zunehmen. Dies entspricht der Fortführung der Entwicklung, die in den letzten Dekaden beobachtet wurde. Ausführliche Informationen zur zukünftigen Klimaentwicklung in Baden-Württemberg finden sich auf den Internetseiten der LUBW: www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Klimawandel und Anpassung.

2.2.3 Auswirkungen des Klimawandels auf Abflusskennwerte

Für die Wasserwirtschaft sind insbesondere die Auswirkungen des Klimawandels auf hydrologische Extreme, wie Hoch- und Niedrigwasser, von Bedeutung. Die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz sowie der Deutsche Wetterdienst haben gemeinsam im Jahr 1999 das Kooperationsvorhaben „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ (KLIWA) vereinbart, um Aussagen über die zukünftige Entwicklung verschiedener wasserwirtschaftlicher Kenngrößen treffen zu können.

Für die Projektion der künftigen Klimaentwicklung wird für ein Emissionsszenario ein Ensemble, bestehend aus verschiedenen Kombinationen aus

- globalen Klimamodellen,
- regionalen Klimamodellen und
- Wasserhaushaltsmodellen

herangezogen. Ein Ensemble besteht also aus verschiedenen Modellketten und deckt dadurch eine Bandbreite an zukünftig möglichen klimatischen und hydrologischen Zuständen ab.

Für die Modellrechnungen wurden bisher hauptsächlich zwei Emissionsszenarien verwendet:

- SRES-Emissionsszenario A1B, hier wird eine ausgewogene Nutzung aller Energiequellen angenommen
- Emissionsszenario RCP8.5, hier wird davon ausgegangen, dass keinerlei Maßnahmen zum Klimaschutz unternommen werden und das Wirtschaftswachstum weiterhin auf der Verbrennung fossiler Energieträger beruht.

Da jede verwendete Modellkette Unsicherheiten birgt, werden die projizierten Änderungen als Wertebereiche (Bandbreite) angegeben (vgl. Kapitel 2.2.2).

In Baden-Württemberg ist eine Unterscheidung in nivale, durch Schnee geprägte, und pluviale, durch Regen geprägte Einzugsgebiete, sinnvoll. Nivale Gebiete im Einzugsgebiet des Rheins sind durch maximale Abflüsse im Sommerhalbjahr und minimale Abflüsse im Winterhalbjahr gekennzeichnet, wohingegen pluviale Einzugsgebiete durch minimale Abflüsse im Sommerhalbjahr und maximale Abflüsse im Winterhalbjahr gekennzeichnet sind.

Niedrigwasserabflüsse in Gebieten mit nivalem, also durch Schnee geprägtem Abflussregime werden im Winterhalbjahr, der Jahreszeit mit den niedrigsten Abflüssen, in der nahen Zukunft höher sein als heute (Tab. 2.2-1). Das heißt, der Teil des Niederschlags, der früher als Schnee im Einzugsgebiet gespeichert wurde, wird, wenn auch in geringem Maße, vermehrt als Regen direkt abflusswirksam und erhöht den mittleren winterlichen Niedrigwasserabfluss. Im Sommerhalbjahr, also in der Jahreszeit, in welcher in der Vergangenheit Schneeschmelze zu höheren Niedrigwasserabflüssen führte, nehmen die Werte hingegen ab. Dies folgt aus der Überlagerung von weniger und zugleich früher abfließendem Schneeschmelzwasser und weniger Niederschlag im Sommer. In Gebieten mit pluvial ge-

Tab. 2.2-1: Bandbreite der für die nahe Zukunft (2021 bis 2050) projizierten Änderung der Abflusskennwerte an ausgewählten Pegeln im Vergleich zum Ist-Zustand (1971 bis 2000), getrennt nach Sommer (Mai bis Oktober) und Winter (November bis April). Stand: 2017.

Pegel	Sommerhalbjahr monatliche mittlere						Winterhalbjahr monatliche mittlere						
	Niedrigwasser- abflüsse		Abflüsse		Hochwasser- abflüsse		Niedrigwasser- abflüsse		Abflüsse		Hochwasser- abflüsse		
	-20 %	0 %	20 %	-20 %	0 %	20 %	-20 %	0 %	20 %	-20 %	0 %	20 %	
nival (schneegeprägt)	Konstanz (Rhein)	-9 %	bis -4 %	-9 %	bis -4 %	-8 %	bis -3 %	0 %	bis +9 %	0 %	bis +10 %	0 %	bis +13 %
	Basel (Rhein)	-12 %	bis -6 %	-10 %	bis -6 %	-9 %	bis -2 %	+2 %	bis +11 %	+4 %	bis +13 %	+4 %	bis +14 %
pluvial (regengeprägt)	Berg (Donau)	-3 %	bis +2 %	-4 %	bis +6 %	-9 %	bis +17 %	-1 %	bis +17 %	0 %	bis +18 %	-1 %	bis +18 %
	Horb (Neckar)	-5 %	bis +6 %	-4 %	bis +8 %	-7 %	bis +20 %	-1 %	bis +17 %	1 %	bis +16 %	7 %	bis +16 %
	Schwaibach (Kinzig)	-10 %	bis +12 %	-10 %	bis +9 %	-9 %	bis +19 %	-2 %	bis +14 %	1 %	bis +17 %	3 %	bis +21 %

prägem Abflussregime zeigen sich keine eindeutigen Veränderungen des Sommerniedrigwasserregimes. Im Winter wird sich die mittlere Niedrigwassersituation vermutlich entschärfen.

Für die Änderung der monatlichen mittleren Hochwasser zeigt sich in den Ensemble-Ergebnissen zwar eine große Bandbreite, jedoch eine eindeutige Tendenz: In Gebieten mit nivalem Abflussregime werden die mittleren monatlichen Hochwasserabflüsse im Sommerhalbjahr geringer ausfallen und im Winter zunehmen. In Einzugsgebieten mit pluvialen Abflussregime nehmen die mittleren monatlichen Hochwasserabflüsse im Winterhalbjahr stärker zu und führen damit zu einer Verschärfung der Abflusssituation. Im Sommerhalbjahr sind in den pluvialen Gebieten die Modellergebnisse bezüglich einer Zu- oder Abnahme der zukünftigen Hochwasserabflüsse nicht eindeutig.

Hochwasser haben auch Einfluss auf Infrastrukturen, z. B. Straßen. Durch das Hochwasser von Braunsbach wurden Millionenschäden verursacht. Anhaltendes Niedrigwasser von Flüssen beeinflusst ihre Beschiffbarkeit und beeinträchtigt damit den Güterverkehr und dessen Verlässlichkeit.

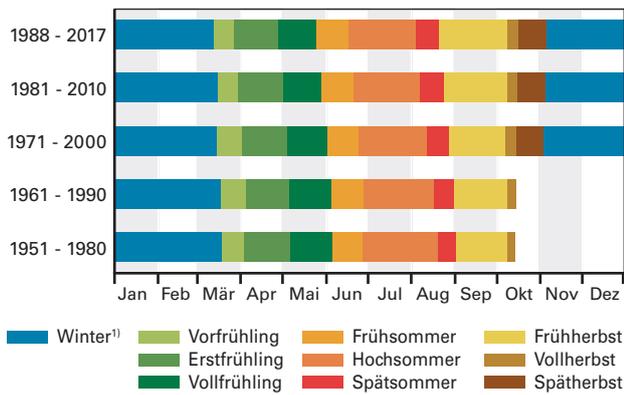
2.2.4 Auswirkungen des Klimawandels auf die belebte Umwelt

Pflanzen blühen früher

Beginn und Ende pflanzlicher Wachstums- und Entwicklungsphasen im Jahresverlauf – sogenannte phänologische Phasen – wie Blattaustrieb, Blüte oder Blattfall werden u. a. von der Tageslänge, der Lufttemperatur und dem Hormonstatus der Pflanzen bestimmt. Klimatische Veränderungen lassen sich deutlich in den Eintrittsterminen phänologischer Phasen bei Wild- und Nutzpflanzen nachweisen. Dazu wird das Jahr mithilfe pflanzlicher Indikatoren in zehn phänologische Jahreszeiten unterteilt:

Winter (Jahresanfang)	01.01.
Vorfrühling	Blüte Huflattich
Erstfrühling	Blüte Buschwindröschen
Vollfrühling	Blattentfaltung Stieleiche
Frühsommer	Blüte Schwarzer Holunder
Hochsommer	Blüte Sommerlinde
Spätsommer	Fruchtreife Eberesche
Frühherbst	Fruchtreife Schwarzer Holunder
Vollherbst	Blattverfärbung der Hänge-Birke
Spätherbst	Blattverfärbung der Stieleiche
Winter (Jahresende)	Blattfall Stieleiche bis 31.12

Die Winterphase verkürzt sich bei einem Vergleich der Zeiträume 1951-1980 und 1988-2017 um rund fünf Tage (Abb. 2.2-3). Dadurch ergibt sich ein früherer Eintritt des



1) Bei den seit 1951 vom Deutschen Wetterdienst erfassten phänologischen Daten fehlen für Baden-Württemberg die Phasen Spätherbst und Winter (Jahresende) in den Zeiträumen 1951-1980 und 1961-1990, da erst ab den 70er-Jahren Daten zum Blattfall der Stieleiche vorliegen.

Abb. 2.2-3: Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten in Baden-Württemberg. Quelle: DWD. Stand: 2018.

Vorfrühlings, des Erstfrühlings und des Vollfrühlings. Beispielsweise setzt die Huflattichblüte heute durchschnittlich um rund fünf Tage früher ein als zu Beobachtungsbeginn. Dies steht mit dem Temperaturanstieg im Winter in Zusammenhang. Dadurch blühen die Frühjahrsgeophyten, das sind mehrjährige, krautige Pflanzen (z. B. Stauden), sowie Bäume und Sträucher früher und die Dauer des Frühlings verringert sich um mehr als fünf Tage. Entsprechend früher setzt der Fröhsommer ein.

Der Fröhsommer setzt im Zeitraum 1988-2017 um 11 Tage früher ein als 1951-1980. Es ist vor allem die inzwischen recht frühe und stärkere Erwärmung von April bis August, die die Entwicklung der Pflanzen vorantreibt. An der Dauer des Sommers (Fröhsommer, Hochsommer, Spätsommer) hat sich mit rund einem halben Tag Verkürzung gegenüber dem Erstbeobachtungszeitraum kaum etwas verändert, da der Sommer auch rund 11 Tage früher endet.

Der Frühherbst setzt ebenfalls rund 11 Tage früher ein, da vor allem sommerlicher Hitzestress und Trockenheit den Fruchtreifeprozess und die herbstliche Blattverfärbung beschleunigen. Der Herbst mit den Phasen Frühherbst und Vollherbst erfährt außerdem eine deutliche Ausdehnung zum Jahresende hin. Allein schon diese phänologischen Phasen verlängern die Vegetationsperiode 1988-2017 gegenüber dem Vergleichszeitraum um 14 Tage.

Die beschriebenen Veränderungen in den Entwicklungszyklen der Arten beeinflussen viele Wechselbeziehungen zwischen den Arten, was u. a. zu Störungen in den Nahrungsnetzen führen kann. Auch Bestäubungsdefizite und neue Konkurrenzverhältnisse mit anderen Insektenarten

sind zu erwarten, wenn sich beispielsweise ein klimabedingter zeitlicher Versatz zwischen dem Öffnen der Blüten und dem Erwachen der Honigbiene aus der Winterruhe ergibt.

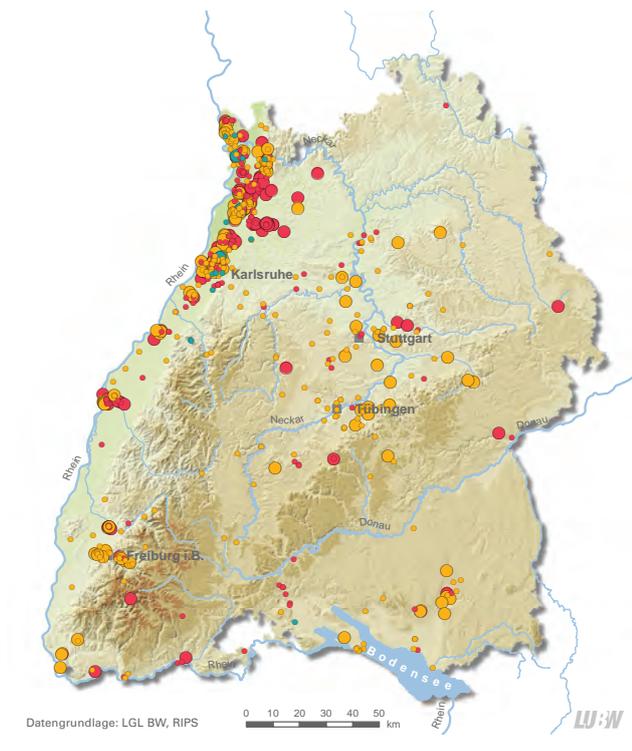
Klimawandel fördert gebietsfremde Arten

Zugewanderte oder eingeschleppte, wärmeliebende Tier- und Pflanzenarten profitieren von steigenden Temperaturen und einer verlängerten Vegetationsperiode. Darunter befinden sich auch Arten, die ökologische, ökonomische und gesundheitliche Auswirkungen mit sich bringen können.

So verursachen die Pollen der um 1860 von Nordamerika nach Deutschland eingeführten Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) starke allergische Symptome beim Menschen. Bereits sehr geringe Pollenkonzentrationen können Heuschnupfen, Bindehautentzündung oder Asthma auslösen. Für Allergiker verlängert sich die Leidenszeit während des Jahres wegen des späten Pollenfluges erheblich. Bei Frostfreiheit kann die Blüte bis in den November anhalten. Als Konkurrenzpflanze auf Agrarflächen kann die Beifuß-Ambrosie auch zu hohen Ertragsverlusten führen. Besonders betroffen sind Frühjahrskulturen wie Mais, Sonnenblumen, Erbsen, Ackerbohnen, Soja, Gemüse, Zuckerrüben und Hafer.

In den letzten Jahrzehnten erfolgte eine massive Ausbreitung der Beifuß-Ambrosie in Baden-Württemberg, vor allem durch mit Samen verunreinigtem Vogelfutter (Abb. 2.2-4). Die Fundnachweise (Erstfunde) beliefen sich für den Zeitraum vor 2000 auf drei Großbestände auf Freiflächen mit hundert und mehr Pflanzen. An Kleinbeständen mit weniger als hundert Pflanzen wurden 13 Fundorte festgestellt. Für den Zeitraum 2001-2010 konnte mit 128 Großbeständen und 235 Kleinvorkommen eine deutliche Zunahme verzeichnet werden. Im Zeitraum 2011-2017 stiegen die Fundnachweise bei den Großbeständen auf 223 und bei den Kleinvorkommen auf 420 an. Dazu kommen die in der Grafik nicht dargestellten Gartenvorkommen, deren Zahl sich im Jahr 2017 auf 613 belief.

Die Verbreitungsschwerpunkte der Beifuß-Ambrosie liegen in Baden-Württemberg in tieferen Lagen, nicht über 500 m NHN (Normalhöhennull). Zu nennen ist die Oberrhein-Ebene mit den Räumen Freiburg und Kehl sowie die Region zwischen Karlsruhe und Mannheim. Stärker betroffen ist auch das Umland von Stuttgart, Tübingen und Reutlingen. Nachweise nahmen in den letzten Jahren für die



Kleinvorkommen	Großvorkommen
• bis 2000	• bis 2000
• 2001 - 2010	• 2001 - 2010
• 2011 - 2017	• 2011 - 2017

Kleinvorkommen: Bestände bis 100 Pflanzen
 Großvorkommen: Bestände mit mehr als 100 Pflanzen

Abb. 2.2-4: Erstfunde der Beifuß-Ambrosie. Stand: 2018.

Kreise Konstanz, Ravensburg und den Hohenlohekreis zu. Zu den häufigsten Wuchsorten im Land zählen Vogelfutterstellen, Gärten, landwirtschaftliche Flächen, Wildäcker, Ruderalflächen und Straßenränder. Eindämmungserfolge sind u. a. für den Stuttgarter, Karlsruher, Freiburger und Rastatter Raum belegt. Die bisher landesweit getroffenen Maßnahmen reichten jedoch nicht aus, um die weitere Ausbreitung der Beifuß-Ambrosie in Baden-Württemberg zu verhindern.

Das Auftreten **neuer Infektionskrankheiten** gehört zu den negativen Auswirkungen, die mit dem Klimawandel verknüpft sind. Es wird befürchtet, dass in den Tropen und Subtropen grassierende Krankheiten wie Malaria, Leishmaniose, Dengue-, Gelb- und Chikungunya-Fieber nun auch in unseren Breiten auftreten könnten.

Eine grundlegende Voraussetzung hierfür ist die Etablierung von Krankheitserregern und Überträgern (Vektoren). Insbesondere exotische Stechmücken, die mithilfe der globalen Warenströme nach Deutschland

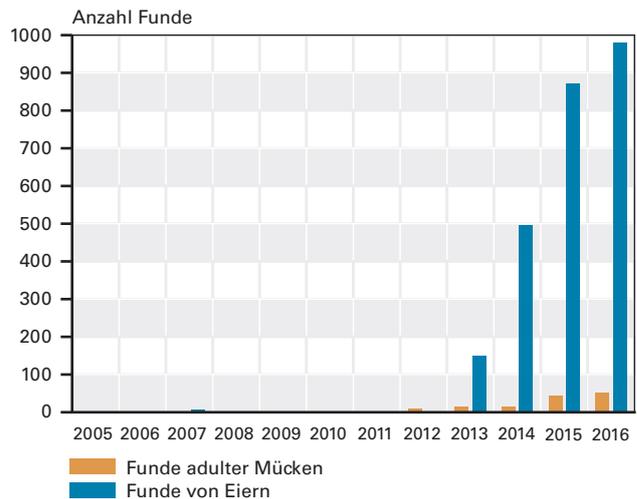


Abb. 2.2-5: Funde der Asiatischen Tigermücke (*Aedes albopictus*) in Baden-Württemberg. Quelle: KABS Kommunale Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Schnakenplage/IFD Institut für Dipterologie.

verfrachtet werden, können als Überträger fungieren. Vor allem der aus Südeuropa kommende Personen- und Güterverkehr trägt zur Einschleppung von exotischen Stechmückenarten bei. Auf diese Weise ist auch die Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*), ein potenter Vektor für Krankheiten wie Dengue-, Gelb- und Chikungunya-Fieber, nach Deutschland vorgedrungen. Im Jahr 2007 erstmals an der A5 bei Weil am Rhein entdeckt, konnte die Mücke in den letzten Jahren in Form größerer Populationen in Freiburg (2014), Heidelberg-Wieblingen (2015), Sinsheim (2016), Lörrach (2017) und Karlsruhe (2017) nachgewiesen werden.

Es ist davon auszugehen, dass die Mücke nach und nach auch andere Landesteile besiedeln wird. Zudem mehr ein weiterer Anstieg der Luftmitteltemperaturen das Risiko für ein zukünftiges Auftreten von Tropenkrankheiten in Baden-Württemberg.

Regenwürmer reagieren auf Klimaänderungen

Die Fruchtbarkeit unserer Böden wird maßgeblich durch seine Bodenlebewesen bestimmt. Die Vielzahl an unterschiedlichen Bodentieren beeinflusst Umsatz und Qualität des Humus, erhöht die Infiltration und Speicherfähigkeit von Wasser und ist für die Erhaltung eines lockeren Gefüges verantwortlich. Störungen der Lebensgemeinschaften können erheblichen Einfluss auf Bodenfruchtbarkeit und landwirtschaftlichen Ertrag haben. Regenwürmer sind in Mitteleuropa die wichtigste Gruppe der Bodentiere.

Das Vorkommen der Regenwürmer wird seit 2011 an 13 Walddauerbeobachtungsflächen der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung erfasst.

Das Jahr 2015 war in Baden-Württemberg außergewöhnlich trocken. In weiten Bereichen Baden-Württembergs fielen von Februar bis Oktober durchgängig 20 % bis 50 % weniger Niederschläge als im langjährigen Mittel. Dadurch war eine deutliche Beeinträchtigung der für die Bodenstruktur und Nährstoffkreisläufe in Wäldern wichtigen Regenwürmer zu befürchten.

An allen 13 untersuchten Standorten wurden im Frühjahr 2016 Regenwürmer nachgewiesen. An keinem Waldstandort gab es einen vollständigen Zusammenbruch der Regenwurmpopulation. Dies wurde auch nicht erwartet, da alle Regenwurmartensarten als Population prinzipiell eine Trockenperiode wie 2015 oder 2003 überstehen können. Kritisch wären allerdings zwei aufeinander folgende Trockenjahre. Dennoch hatte die ausgedehnte Trockenheit im Jahr 2015 Auswirkungen auf die Regenwurmpopulationen. Die Artenzahl nahm im Mittel von durchschnittlich 4,1 Arten auf 3,5 Arten je Standort ab. Die Biomasse verzeichnete mit über 35 % im Mittel über alle Standorte einen deutlichen Rückgang gegenüber dem Vorjahr (Abb. 2.2-6).

Die verschiedenen Arten und Lebensformen reagierten sehr unterschiedlich. Ständig im Boden lebende (endogäische) Regenwürmer zeigten keinen Rückgang. Bei den nahe der Bodenoberfläche lebenden (epigäischen) Regenwürmern wiesen die größeren Arten deutliche, kleinere

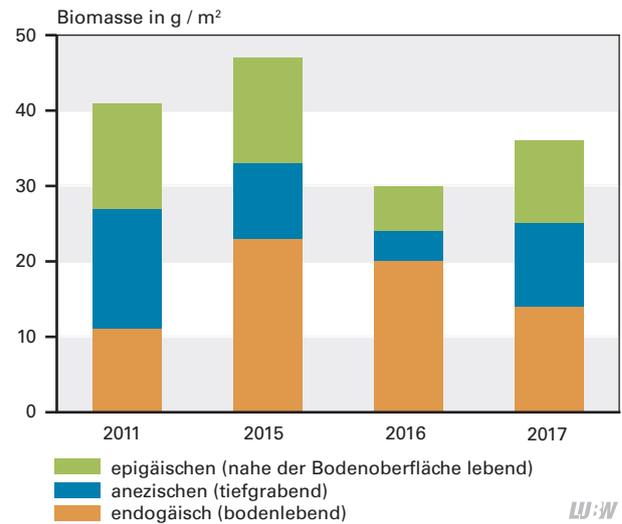


Abb. 2.2-6: Mittelwerte der Biomassen von Regenwürmern verschiedener ökologischer Gruppen an den 13 Walddauerbeobachtungsflächen der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung. Stand: 2018.

Arten sogar dramatische Individuenverluste auf. Die tiefgrabenden (anezischen) Arten, die regelmäßig zur Nahrungsaufnahme an die Bodenoberfläche kommen, wurden ebenso stark beeinträchtigt.

Das Jahr 2016 verlief ohne extreme Trocken- und Frostperioden, sodass für die Regenwürmer keine weiteren witterungsbedingten Belastungen auftraten. Dies führte bei den von der Trockenheit im Jahr 2015 betroffenen Regenwurmartensarten zu einer Erholung (Abb. 2.2-5). Die endogäischen Arten verzeichneten dagegen Verluste der Biomasse.



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 **Feinstaub** (Partikel PM_{10}) wurden die Immissionsgrenzwerte im Jahr 2017 außer an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor flächendeckend eingehalten. Demgegenüber lagen die gemessenen Konzentrationen von **Stickstoffdioxid** im Jahr 2017 an vielen verkehrsnahen Messstationen zum Teil erheblich über dem Immissionsgrenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Auch beim **Ozon** konnten im Jahr 2017 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 2017 an einigen Messstationen zwischen Ende Mai und Mitte Juli überschritten. Die Alarmschwelle für Ozon von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-Stundenmittelwert) wurde im Luftmessnetz im Jahr 2017 an keiner Messstation erreicht.

Bei den **Emissionen von Luftschadstoffen** in Baden-Württemberg konnten von 2002 bis 2014 mit Ausnahme des Luftschadstoffes Ammoniak Rückgänge, zum Teil um bis zu 72 %, verzeichnet werden. Die Ammoniakemissionen nahmen in diesem Zeitraum um 2 % zu.

Aufgabe einer vorsorgenden Luftreinhaltepolitik ist es, Art und Wirkung von Luftverunreinigungen auf den Menschen und die Umwelt zu erkennen, zu erfassen und die Ursachen so weit wie möglich zu beseitigen oder die Expositionszeit zumindest zeitlich 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, sonstige technische Einrichtungen 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 2014 erfolgen kann [LUBW 2017a]. Im Rahmen der Emissionserhebungen werden folgende Stoffe erfasst:

- Stickstoffoxide (NO_x) mit den Komponenten NO und NO_2 (berechnet als NO_2),
- Staub (Gesamtstaub und Partikel PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$),
- flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC),
- Benzol (C_6H_6),
- Kohlenmonoxid (CO),
- Ammoniak (NH_3),
- Schwefeloxide als Schwefeldioxid (SO_2),
- klimarelevante Gase (Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O)) und
- ausgewählte Staubinhaltsstoffe (Blei (Pb), Arsen (As), Cadmium (Cd), Nickel (Ni), Benzo[a]pyren (BaP), polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und polychlorierte 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 lassen sich beispielsweise gezielt die Effekte von Maßnahmen zur Minderung von Luftschadstoffbelastungen beurteilen oder Immissionsmodellierungen über Ausbreitungsrechnungen durchführen, um die Schadstoffbelastung auch unter Zugrundelegung unterschiedlicher Maßnahmenzenarien für ganze Gebiete berechnen zu können. Daneben sind die Erkenntnisse aus Emissionserhebungen ein Instrument für die Aufstellung von kommunalen Klimaschutz- und Luftreinhalteprogrammen und können auch Fragestellungen im Zusammenhang mit langfristig angelegten, landesweiten Minderungsmaßnahmen beantworten.

Die Emissionserhebungen umfassen fünf nachfolgend näher beschriebene Quellengruppen

- Verkehr,
- Industrie und Gewerbe,
- Kleine und mittlere Feuerungsanlagen,
- Biogene Systeme und
- sonstige technische Einrichtungen

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 2014]. 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 1000 m über Grund einbezogen. Es werden außerdem die Emissionen organischer Stoffe beim Flughafenbetrieb erfasst (z. B. bei der Enteisierung oder beim Betanken bis hin zum Lackieren der Flugzeuge). Auch die Emissionen der Vorfeldfahrzeuge werden berücksichtigt.

Industrie und Gewerbe

Die Quellengruppe Industrie und Gewerbe umfasst:

- Betriebe mit nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen außer kleinen und mittleren Feuerungsanlagen nach der 1. 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 Schadstofffreisetzungs- und Verbringungsregisters (European Pollutant Release and Transfer Register E-PRTR) Informationen über ihre Schadstofffreisetzungen 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 und sonstige relevanten Tätigkeiten, 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, Hobby).

3.2 Immissionsmessnetze und Depositionsmessnetz

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

- Luftmessnetz,
- Spotmessnetz,
- Depositionsmessnetz.

Luftmessnetz

Das Luftmessnetz bestand im Jahr 2017 aus 36 Messstationen (Abb. 3.2-1), von denen zwei im Auftrag der Städte Konstanz und Reutlingen betrieben wurden. Das Luftmessnetz 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 2017 wurden an

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

die relevanten Luftverunreinigungen gemessen. 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 Immissionssituation folgende Luftverunreinigungen gemessen:

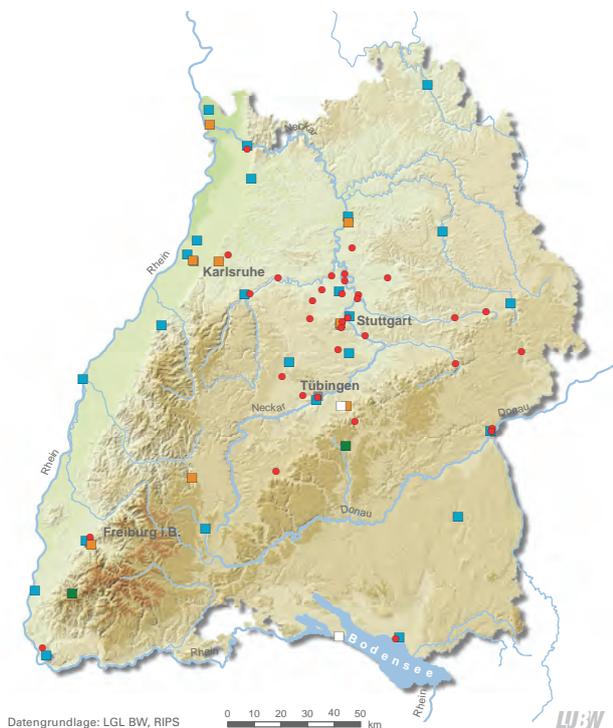
- Stickstoffdioxid (NO₂) und Stickstoffoxide (NO_x),
- Partikel PM₁₀ und PM_{2,5},
- Ozon (O₃),
- Schwefeldioxid (SO₂),

- Kohlenmonoxid (CO),
- Benzol (C₆H₆),
- Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Nickel (Ni), Benzo[a]pyren (BaP) und Ruß als Gesamtgehalt in der Partikel PM₁₀-Fraktion und
- Ammoniak (NH₃).

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

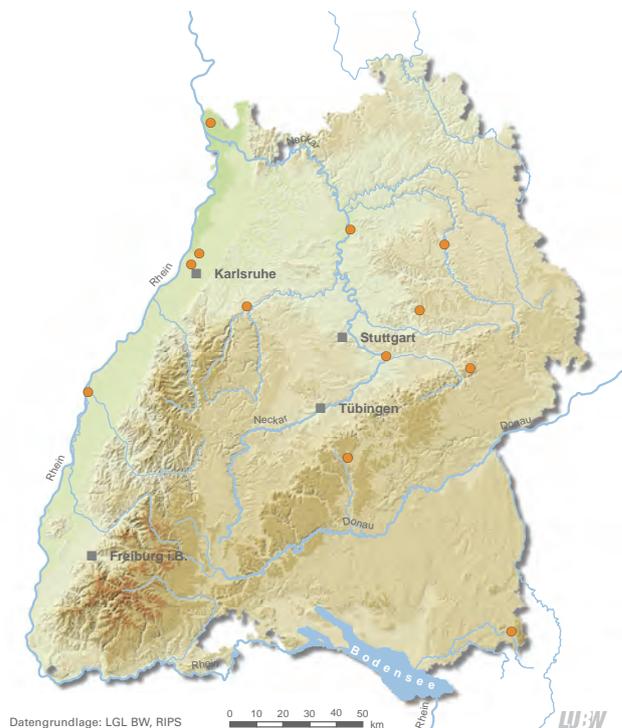
Spotmessungen

Die Spotmessungen erweitern das Luftmessnetz um zeitlich befristete Messstellen an innerörtlichen Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen (Abb. 3.2-1). Im Jahr 2017 wurden in Baden-Württemberg an 32 Messstellen Stickstoffdioxid (NO₂) und an 8 Messstellen Partikel PM₁₀ gemessen. An einigen ausgewählten Messstellen wurden auch Messungen von Benzol, Ruß und Benzo[a]pyren durchgeführt.



- 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 Spotmessstelle. Stand: 2017.



- Standorte Depositionsmessnetz

Abb. 3.2-2: Standorte der Messstellen des Depositionsmessnetzes. Stand: 2017.

Depositionsmessnetz

Seit 1992 werden die Ablagerungen (Depositionen) von Luftverunreinigungen in städtisch und industriell geprägten Gebieten sowie in ländlichen bzw. landwirtschaftlich strukturierten Räumen messtechnisch erfasst. Seither wurde das Depositionsmessnetz (Abb. 3.2-2) laufend geänderten Messmethoden bzw. Fragestellungen angepasst.

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 die relevanten Luftverunreinigungen. Ebenfalls enthält die 39. BImSchV die Emissionshöchstmengen für ausgewählte Luftschadstoffe.

3.3.1 Stickstoffoxide

Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂) werden unter der Bezeichnung Stickstoffoxide (NO_x) 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-Kreislaufkrankungen kann beobachtet werden. Stickstoffdioxid ist zusammen mit den flüchtigen organischen Verbindungen eine der Vorläufersubstanzen für die Bildung von bodennahem Ozon. Stickstoffoxide tragen durch die langfristige Umwandlung in Nitrat bzw. Salpetersäure und nachfolgender Deposition zur Überdüngung der Böden in empfindlichen Ökosystemen und Gewässern sowie zur Versauerung bei.

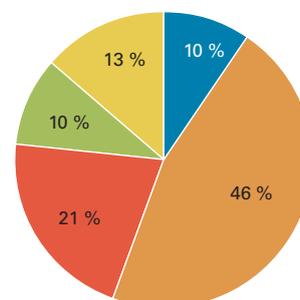
Im Jahr 2017 werden über das Depositionsmessnetz an 12 Messstandorten folgende Parameter bestimmt:

- Staubbiederschlag und die darin enthaltenen Schwermetalle Antimon (Sb), Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Nickel (Ni) über Bergerhoff-Gefäße,
- Regeninhaltsstoffe wie Ammonium-, Nitrat- und Sulfationen über Wet-only-Sammler.

Emissionen

Das Luftschadstoffemissionskataster [LUBW 2017a] weist für das Jahr 2014 eine Freisetzung an Stickstoffdioxid (Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid, berechnet als Stickstoffdioxid) von 113 796 Tonnen (t) für Baden-Württemberg aus. Die Quellengruppe Verkehr hatte daran einen Anteil von 46 %, gefolgt von der Quellengruppe Industrie und Gewerbe mit 21 % (Abb. 3.3-1).

Innerhalb der Quellengruppe Verkehr ist der Straßenverkehr mit einem Anteil von 89 % hauptsächlich für die Stickstoffoxidemissionen verantwortlich. Dabei sind es insbesondere die Personenkraftwagen (Pkw) und die schweren Nutzfahrzeuge, die mit 50 % und 32 % an den verkehrsbedingten Stickstoffoxidemissionen beteiligt sind (Abb. 3.3-2). 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



- kleine und mittlere Feuerungsanlagen
- Verkehr
- Industrie und Gewerbe
- biogene Systeme¹⁾
- sonstige technische Einrichtungen

1) berechnet aus NO

LU:W

Abb. 3.3-1: Verteilung der Stickstoffoxidemissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg im Jahr 2014. Stand: 2017.

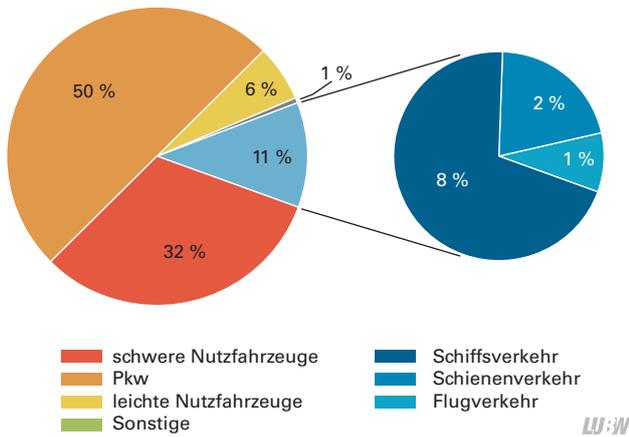


Abb. 3.3-2: Verteilung der Stickstoffoxidemissionen auf die Verkehrsträger in Baden-Württemberg im Jahr 2014. Stand: 2017.

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 Hauptmittelpunkt.

Von 2000 bis 2014 gingen in Baden-Württemberg die Stickstoffoxidemissionen um 42 % 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 (52 %). Die Quellengruppe kleine und mittlere Feuerungsanlagen weist in diesem Zeitraum einen Rückgang bei den Stickstoffoxidemissionen von 25 % auf. Die Emissionen dieser Gruppe sind abhängig vom Energieverbrauch und damit von den jeweiligen Temperaturen in der Heizperiode.

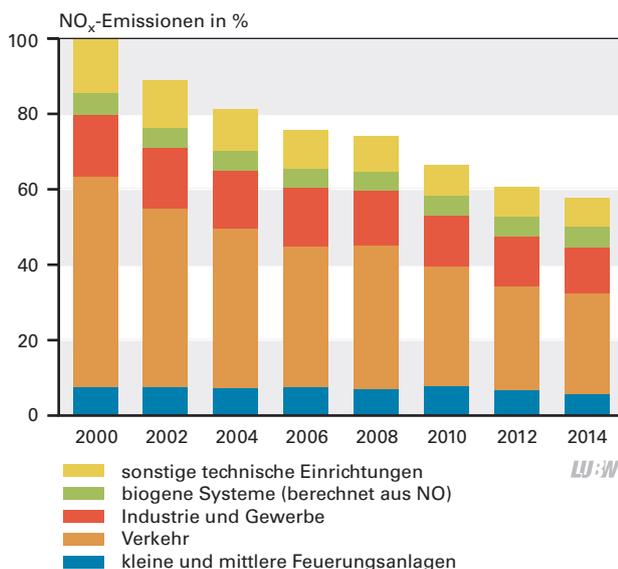


Abb. 3.3-3: Entwicklung der Stickstoffoxidemissionen in Baden-Württemberg im Vergleich zu 2000 (2000=100 %) [LUBW 2017a]. Stand: 2017.

Immissionen

Die höchsten Stickstoffdioxidbelastungen treten an verkehrsnahen Messstellen auf (Abb. 3.3-4). Im Jahr 2017 lag rund die Hälfte der an den verkehrsnahen Messstellen gemessenen Jahresmittelwerte 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 2017 keine Überschreitungen festgestellt. Der Immissionsgrenzwert von 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für eine Stunde wurde im Jahr 2017 an allen Messstellen in Baden-Württemberg eingehalten.

Seit 2006 ist bei den verkehrsnahen und den städtischen Messstationen ein abnehmender Trend der Immissionsbelastung erkennbar (Abb. 3.3-5 und Abb. 3.3-6). Erwartungs-

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

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Immissionswert	zulässige Anzahl Überschreitungen
Stickstoffdioxid (NO₂)			
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	1 Stunde	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	18 im Kalenderjahr
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	Kalenderjahr	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	—
menschliche Gesundheit (Alarmschwelle)	1 Stunde ¹⁾	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	—
Stickstoffoxide (NO_x)			
Vegetation (kritischer Wert)	Kalenderjahr	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	—

1) gemessen an drei aufeinander folgenden Stunden

LUBW

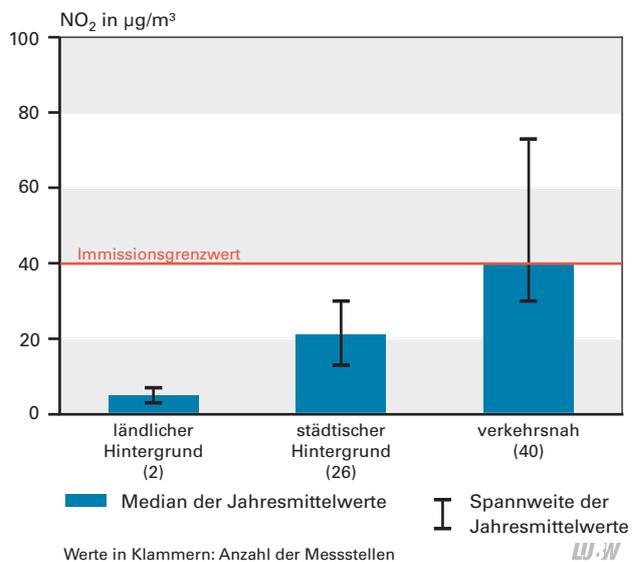


Abb. 3.3-4: Spannweiten der Jahresmittelwerte der Stickstoffdioxidkonzentrationen an den Messstationen des Luftmessnetzes (ländlich, städtisch, verkehrsnah) und des Spotmessnetzes in Baden-Württemberg im Jahr 2017.

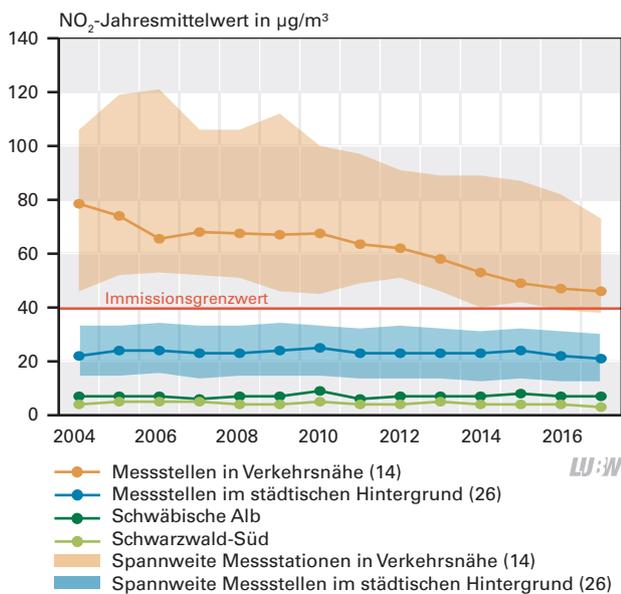


Abb. 3.3-5: Entwicklung der Jahresmittelwerte von Stickstoffdioxid in µg/m³ an den Messstellen in Baden-Württemberg seit 2004. Wert in Klammern: Anzahl der Messstationen.

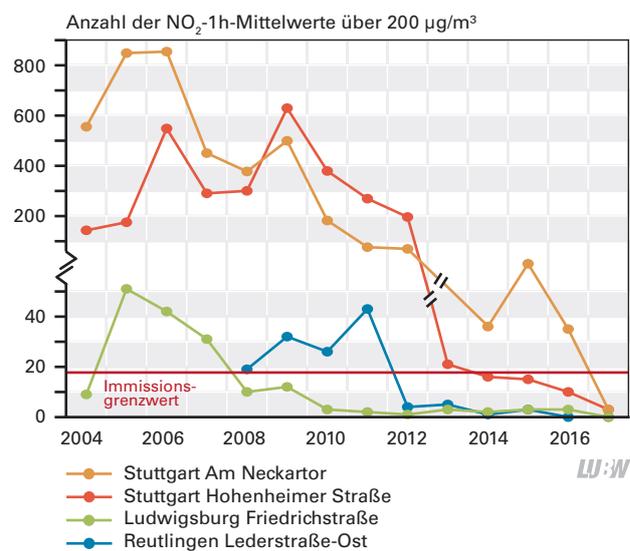


Abb. 3.3-6: Entwicklung der Anzahl der Überschreitungen des Immissionsgrenzwertes von 200 µg/m³ Stickstoffdioxid (1-Stundenmittelwert) von Stickstoffdioxid an ausgewählten verkehrsnahen Messstellen in Baden-Württemberg seit 2004.

gemäß liegt die Immissionsbelastung des primär verkehrsbedingten Stickstoffdioxids an den ländlichen Messstationen 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 2016 zwischen 53 % und 78 %. Die kleinen und mittleren Feuerungsanlagen verursachten zwischen 7 % und 25 % der Stickstoffdioxid-Immissionsbelastung. Die Industrie, der Offroadverkehr (Schiene-, Schiffs- und Flugverkehr) und die sonstigen technischen Einrichtungen (Land- und Forstwirtschaft, Geräte, Maschinen und sonstige Fahrzeuge) trugen insgesamt zwischen 3 % und 16 % zur Luftbelastung durch Stickstoffdioxid bei. Abbildung 3.3-7 zeigt beispielhaft die Verursacheranteile für die 2016 gemessene Stickstoffdioxidbelastung am Messpunkt Reutlingen Lederstraße-Ost.

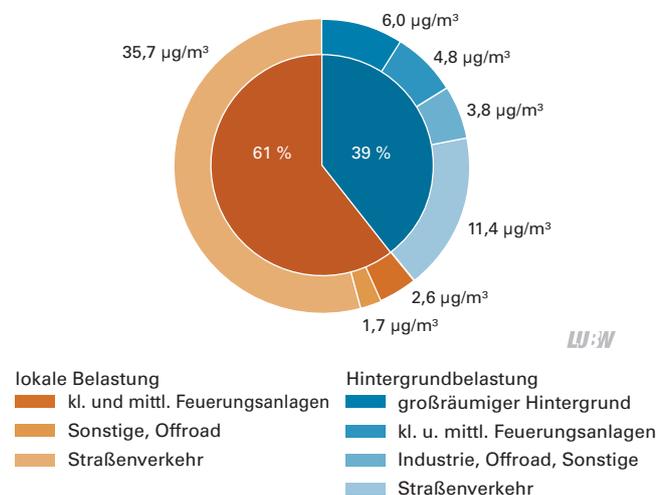


Abb. 3.3-7: Verursacher der Stickstoffdioxid-Immissionsbelastung am Messpunkt Reutlingen Lederstraße-Ost im Jahr 2016.

3.3.2 Partikel

Partikel sind luftgetragene, feste Teilchen oder auch Aerosole, 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 Eigenschaften insbesondere ihre Größe von Bedeutung. Es werden Fraktionen hinsicht-

Tab. 3.3-2: Einteilung der Staubfraktionen.

Staubfraktion	Partikelgröße
Gesamtstaub	> 10 µm
inhalierbare Partikel PM ₁₀	< 10 µm ¹⁾
lungengängige Partikel PM _{2,5}	< 2,5 µm
ultrafeine Partikel PM _{0,1}	< 0,1 µm

1) Partikel, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 Mikrometern (µm) eine Abscheidewirksamkeit von 50 % hat.

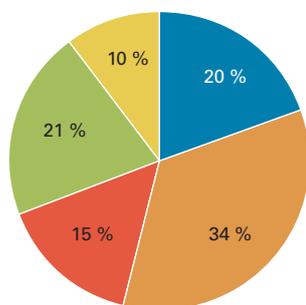
LUBW

lich des Durchmessers der Staubpartikel unterschieden, wobei die größeren Staubfraktionen immer auch die kleineren Partikel beinhalten (Tab. 3.3-2). 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 weit in den Organismus eindringen und Beschwerden des Atemtrakts und des Herz-Kreislaufsystems verursachen.

Als primäre Aerosole werden Partikel bezeichnet, die als solche 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.

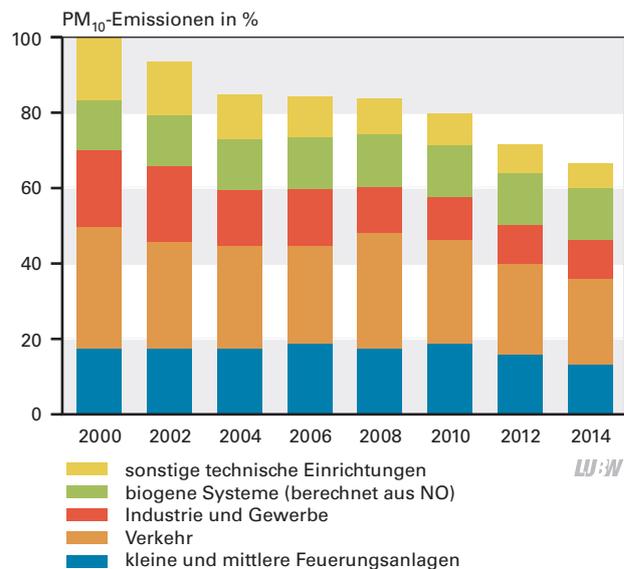
Emissionen

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 sekundärer Aerosole (Partikel) aus Vorläufersubstanzen wird nicht berücksichtigt. Staubemissionen wie z. B. Abwe-



LUBW

Abb. 3.3-8: Verteilung der Partikel PM₁₀-Emissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg im Jahr 2014 [LUBW 2017a]. Stand: 2017.



LUBW

Abb. 3.3-9: Entwicklung der Partikel PM₁₀-Emissionen in Baden-Württemberg im Vergleich zu 2000 (2000=100 %) [LUBW 2017a]. Stand: 2017.

hungen von Bodenpartikeln durch Bodenbearbeitung in der Landwirtschaft werden im Emissionskataster in der Gruppe biogene Systeme erfasst.

Die Partikel PM₁₀- und die Partikel PM_{2,5}-Emissionen wurden jeweils getrennt aus den Gesamtstaubemissionen jeder Quelle berechnet. Die Partikel PM₁₀-Emissionen stammen zu 34 % aus der Quellengruppe Verkehr, die biogenen Systeme bzw. kleine und mittlere Feuerungsanlagen tragen 21 % bzw. 20 % zu den PM₁₀-Emissionen bei (Abb. 3.3-8). Zwischen 2000 und 2014 nahmen die Partikel PM₁₀-Emissionen um 33 % ab (Abb. 3.3-9), die PM_{2,5}-Emissionen gingen sogar um 49 % zurück. Dabei konnte nicht zuletzt aufgrund der zunehmenden Ausrüstung der Dieselmotoren mit Partikelfiltern beim Verkehr ein Rückgang der Partikel PM₁₀-Emissionen um 29 % erreicht werden. Bei den sonstigen technischen Einrichtungen und der Industrie und Gewerbe nahmen die Partikel PM₁₀-Emissionen in diesem Zeitraum sogar um 60 % bzw. 50 % ab.

Immissionen

Die höchsten Partikel PM₁₀-Konzentrationen treten an den verkehrsnahen Messstellen auf (Abb. 3.3-10). Der Immissionsgrenzwert von 50 µg/m³ (Tagesmittelwert) wurde mit 45 Überschreitungen nur an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor in 2017 nicht eingehalten (Tab. 3.3-3) (Abb. 3.3-12). In den letzten Jahren ist bei den verkehrsnahen und den städtischen Messstationen ein abnehmender

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

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Immissionswert	zulässige Anzahl Überschreitungen
Partikel PM₁₀			
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	Tag	50 µg/m ³	35 im Kalenderjahr
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	Kalenderjahr	40 µg/m ³	—
Partikel PM_{2,5}			
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	Kalenderjahr	25 µg/m ³	—

LU·W

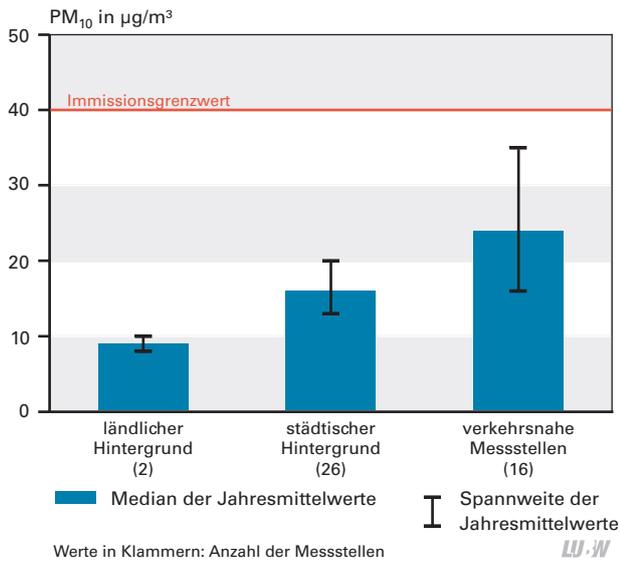


Abb. 3.3-10: Spannweiten der Jahresmittelwerte der Partikel PM₁₀-Konzentrationen an den Messstationen des Luftmessnetzes (ländlich, städtisch, verkehrsnah) und des Spotmessnetzes in Baden-Württemberg im Jahr 2017.

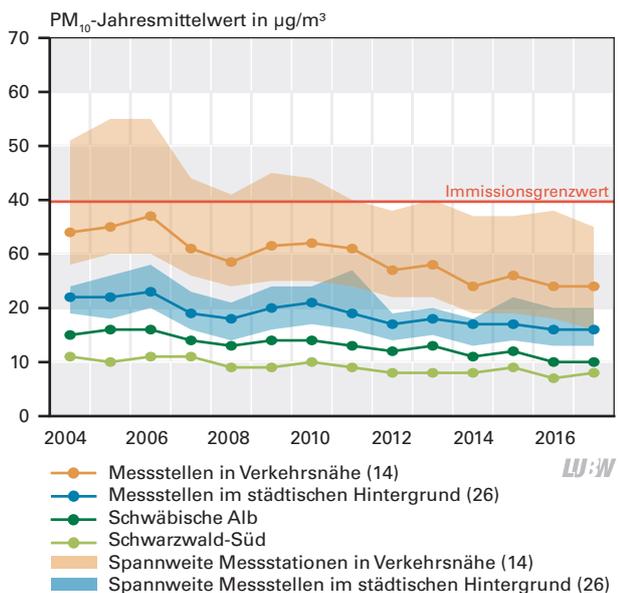


Abb. 3.3-11: Entwicklung der Jahresmittelwerte von Partikel PM₁₀ in µg/m³ an den Messstellen und dem Spotmessnetz in Baden-Württemberg seit 2004. Werte in Klammern: Anzahl der Messstellen

Trend bei der Belastung durch Partikel PM₁₀ festzustellen (Abb. 3.3-11 und 3.3-12). Erwartungsgemäß liegt die Immissionsbelastung an den ländlichen Messstationen auf niedrigerem Niveau.

Der Immissionsgrenzwert für Partikel PM_{2,5} wurde im Jahr 2017 an allen Messstellen in Baden-Württemberg eingehalten (Abb. 3.3-13).

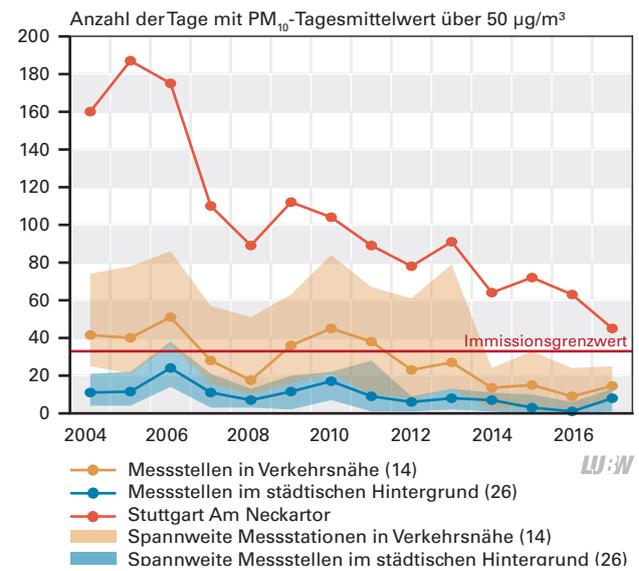


Abb. 3.3-12: Entwicklung der Anzahl der Tage mit Überschreitung des Immissionsgrenzwertes von 50 µg/m³ (Tagesmittelwert) für Partikel PM₁₀ an den Messstellen in Baden-Württemberg seit 2004. Werte in Klammern: Anzahl der Messstellen.

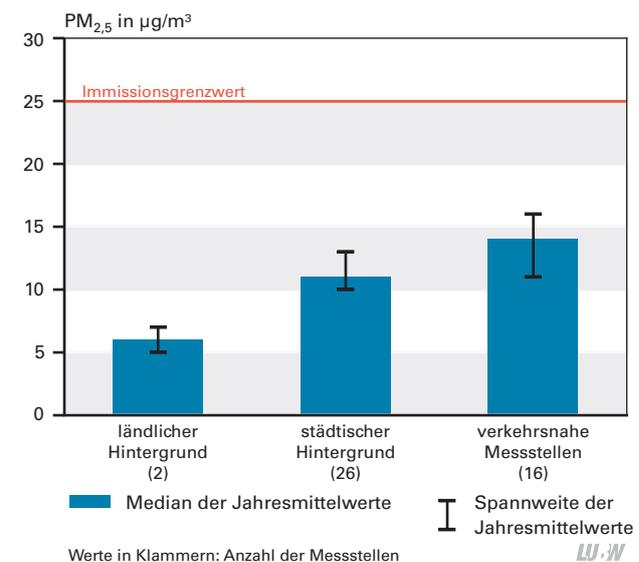


Abb. 3.3-13: Spannweiten der Jahresmittelwerte der Partikel PM_{2,5}-Konzentrationen an den Messstationen des Luftmessnetzes (ländlich, städtisch, verkehrsnah) und der Spotmessstation Stuttgart Am Neckartor in Baden-Württemberg im Jahr 2017.

Ursachenanalyse

Der Beitrag des Straßenverkehrs zu den Partikel PM_{10} -Immissionskonzentrationen des einzigen Überschreitungspunktes Stuttgart Am Neckartor lag im Jahr 2016 bei 65 %, wobei etwa ein Sechstel durch Abgase verursacht wurde und fünf Sechstel aus verkehrsbedingtem Reifen-, Bremsen- und Straßenabrieb sowie aus Aufwirbelungen stammten. Die kleinen und mittleren Feuerungsanlagen hatten an dem Partikel PM_{10} -Wert einen Anteil von 7 %, Industrie, Offroadverkehr, sonstige technische Einrichtungen und biogene Quellen einen Anteil von 4 %.

Betrachtet man die Anteile der Verursachergruppen an den Partikel PM_{10} -Belastungen, wird deutlich, dass der Anteil der lokal bzw. in unmittelbarer Nähe der Messstelle liegenden Quellen einen wesentlich geringeren Einfluss auf die Partikel PM_{10} -Immissionsbelastung hat als bei den Stickstoffdioxidkonzentrationen. Demgegenüber hatte der großräumige Hintergrund im Jahr 2016 einen Anteil von 24 % am PM_{10} -Jahresmittelwert. In Abbildung 3.3-14 sind die Verursacheranteile am Messpunkt Stuttgart Am Neckartor für Partikel PM_{10} im Jahr 2016 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 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bodennahes Ozon stammt zu einem geringeren Teil aus dem vertikalen Transport von Ozon aus der Ozonschicht, hauptsächlich aber aus der Reaktion des Luftschadstoffes Stickstoffdioxid mit flüchtigen organischen Verbindungen (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.

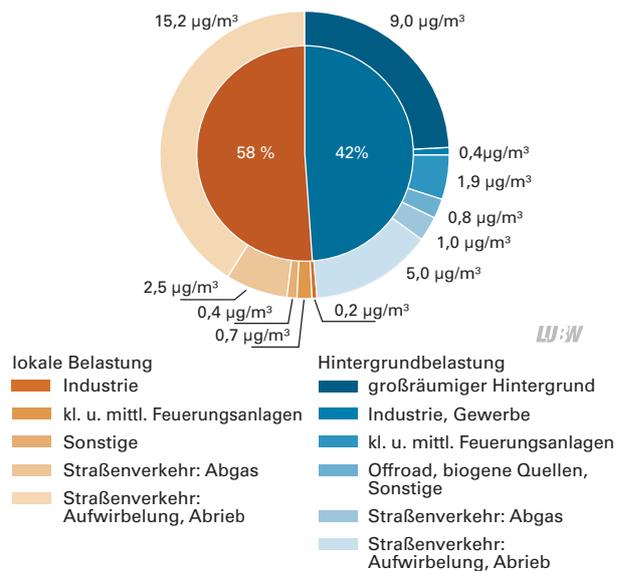


Abb. 3.3-14: Verursacher der Partikel PM_{10} -Immissionsbelastung am Messpunkt Stuttgart Am Neckartor im Jahr 2016.

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). Bei der Darstellung der VOC-Emissionen wird 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 2014 in Baden-Württemberg 162 743 t (für Stickstoffdioxid siehe Kap. 3.3.1, für Methan siehe Kap. 2.1.5). Hauptverursacher waren mit einem Anteil von 51 % biogene Systeme. Die sonstigen technischen Einrichtungen sowie die industriellen und gewerblichen Quellen trugen mit einem Anteil von 19 % und 18 % 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.

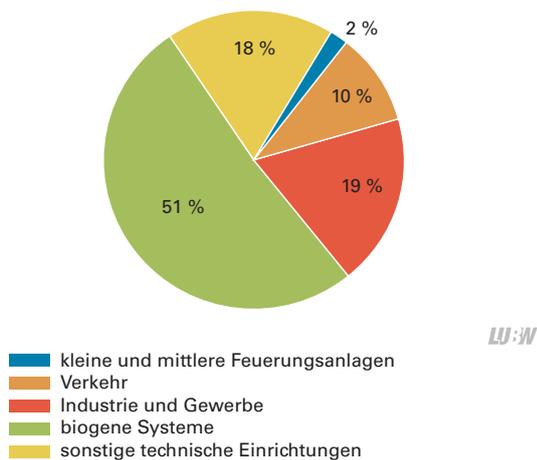


Abb. 3.3-15: Verteilung der NMVOC-Emissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg 2014 [LUBW 2017a]. Stand: 2017.

Bei den sonstigen technischen Einrichtungen trägt 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 2000 bis 2014 um 28 % zurück (Abb. 3.3-16). Die Emissionsminderung beim Verkehr von 2000 bis 2014 um 58 % wurde vor allem durch den zunehmenden Anteil von Kraftfahrzeugen mit geregelter Katalysator erreicht. Bei den kleinen und mittleren Feuerungsanlagen wurde eine Minderung um 60 % erreicht, bei den sonstigen technischen Einrichtungen betrug der Rückgang infolge lösemittelärmerer Produkte und emissionsärmerer Verfahren etwa 33 %. Zukünftig wird ein weiterer Rückgang der NMVOC-Emissionen erwartet.

Immissionen

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 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (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

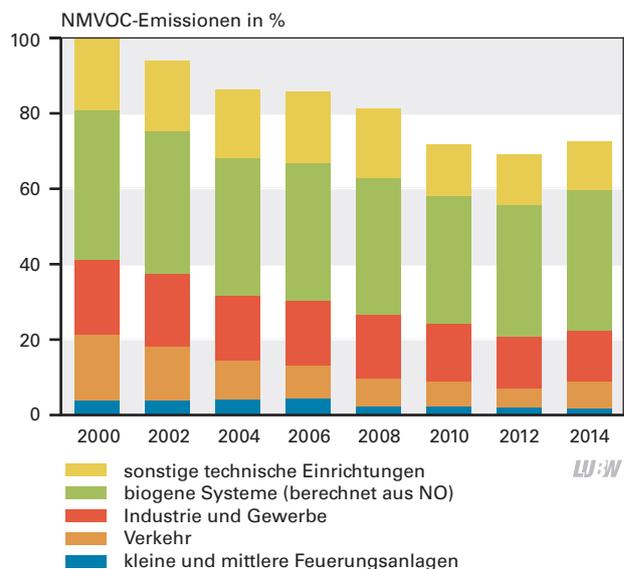


Abb. 3.3-16: Entwicklung der NMVOC-Emissionen in Baden-Württemberg im Vergleich zu 2000 (2000=100 %) [LUBW 2017a]. Stand: 2017.

starken Einfluss der meteorologischen Verhältnisse auf die Ozonbildung auszugleichen. Zur Prüfung der Einhaltung des Zielwertes für das Jahr 2017 wurde eine Mittelung der Überschreitungstage für die Jahre 2015, 2016 und 2017 vorgenommen. Die zulässige Anzahl von 25 Überschreitungen im Kalenderjahr für den Zielwert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde an einigen Messstationen noch überschritten (Abb. 3.3-17).

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

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Immissionswert	zulässige Anzahl Überschreitungen
Ozon			
menschliche Gesundheit (Zielwert)	8 Stunden ¹⁾	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	25 im Kalenderjahr ²⁾
menschliche Gesundheit (Informationsschwelle)	1 Stunde	$180 \mu\text{g}/\text{m}^3$	—
menschliche Gesundheit (Alarmschwelle)	1 Stunde	$240 \mu\text{g}/\text{m}^3$	—
Vegetation (Zielwert)	AOT40 ³⁾	$18\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\text{h}^{4)}$	—
Vegetation (langfristiges Ziel)	AOT40 ³⁾	$6\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\text{h}$	—

1) Höchster 8-Stundenmittelwert eines Tages.

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

3) AOT40, ausgedrückt in $(\mu\text{g}/\text{m}^3)\text{h}$, ist die über einen vorgegebenen Zeitraum (1. Mai bis 31. Juli) summierte Differenz zwischen Ozonwerten über $80 \mu\text{g}$ ($=40 \text{ ppb}$) und $80 \mu\text{g}$ unter ausschließlicher Verwendung der täglichen 1-Stundenmittelwerte zwischen 8.00 Uhr und 20.00 Uhr mitteleuropäischer Normalzeit.

4) Maßgebend ist der über fünf Jahre gemittelte AOT40-Wert.

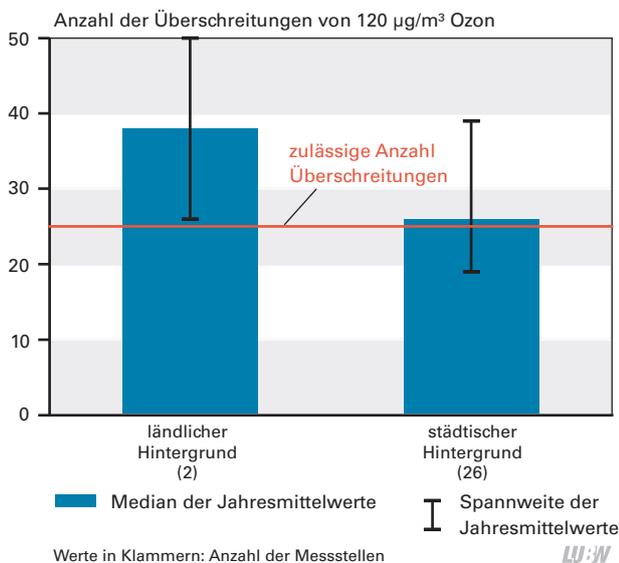


Abb. 3.3-17: Anzahl der Tage mit Überschreitungen (Mittelung über die Jahre 2015 bis 2017) des Zielwertes von 120 µg/m³ (höchster 8-Stundenmittelwert eines Tages) für Ozon an den Messstationen des Luftmessnetzes Baden-Württemberg 2017.

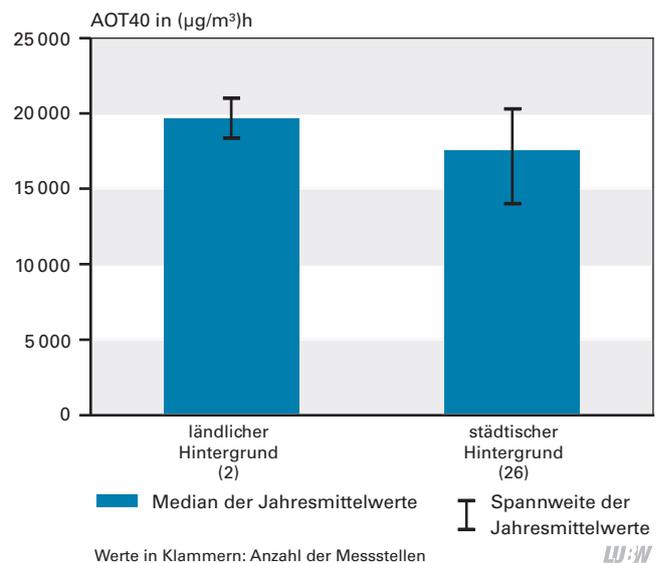


Abb. 3.3-18: Ozonkonzentrationen berechnet als AOT40 in (µg/m³)h (Mittelung über die Jahre 2015 bis 2017) an den Messstationen des Luftmessnetzes Baden-Württemberg 2017.

Der Zielwert zum Schutz der Vegetation vor Ozon beträgt 18 000 (µg/m³)h berechnet als AOT40 für den Zeitraum von Mai bis Juli eines Kalenderjahres. Der AOT40 (Accumulated exposure Over a Threshold of 40 ppb), ausgedrückt in (µg/m³)h, ist die über einen vorgegebenen Zeit-

raum (1. Mai bis 31. Juli) summierte Differenz zwischen Ozonwerten über 80 µg/m³ (=40 ppb) und 80 µg/m³ 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/m³)h wurde eine Mittelung der AOT40-Werte für die Jahre 2013, 2014, 2015, 2016 und 2017 vorgenommen. Der Zielwert von 18 000 (µg/m³)h wurde im Jahr 2017 noch an einigen Messstationen überschritten (Abb. 3.3-18).

Tab. 3.3-5: Überschreitungen der Informationsschwelle von 180 µg/m³ (1-Stundenmittelwert) an den Messstationen des Luftmessnetzes Baden-Württemberg im Jahr 2017.

	29.05.	19.06.	20.06.	21.06.	22.06.	19.07.
Aalen					●	
Baden-Baden				●	●	
Bernhausen			●	●		
Eggenstein		●	●	●		
Freiburg				●		
Gärtringen			●	●	●	
Heidelberg	●		●		●	●
Heilbronn					●	
Karlsruhe-Nordwest				●	●	
Kehl			●	●		
Ludwigsburg			●	●	●	
Mannheim-Nord			●	●	●	
Neuenburg				●		
Pforzheim				●		
Reutlingen			●	●	●	
Schwäbisch Hall					●	
Schwäbische Alb				●		
Schwarzwald-Süd				●		
Stuttgart-Bad Cannstatt			●			
Tübingen				●		
Wiesloch				●	●	●

Die Informationsschwelle von 180 µg/m³ (1-Stundenmittelwert) wurde an sechs Tagen im Mai, Juni und Juli 2017 an einigen Messstationen überschritten (Tab. 3.3-5). Im Luftmessnetz wurde im Jahr 2017 an keiner der Messstationen, an denen Ozon gemessen wurde, die Alarmschwelle von 240 µg/m³ (1-Stundenmittelwert) erreicht.

Seit dem Jahr 2000 ist sowohl an den städtischen als auch an den ländlichen Messstationen ein abnehmender Trend bei der Immissionsbelastung mit Ozon festzustellen, wobei die Abnahme an den ländlichen Messstationen deutlicher ausfällt (Abb. 3.3-19). Die grundsätzlich hohen Werte im südlichen Schwarzwald stehen im Zusammenhang mit den topographischen- und den Strömungsbedingungen, die u. a. eine vergleichsweise hohe Strahlungsintensität bewirken, wodurch letztlich mehr Ozon gebildet wird.

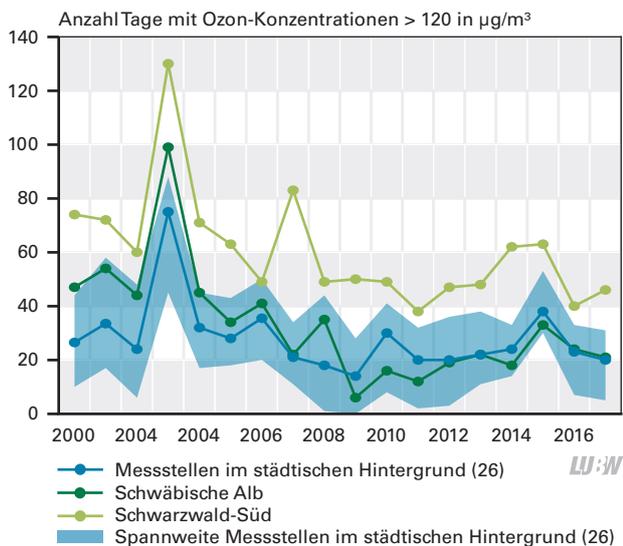


Abb. 3.3-19: Entwicklung der Immissionsbelastung durch Ozon in Baden-Württemberg seit 2000. Werte in Klammern: Anzahl der Messstellen.

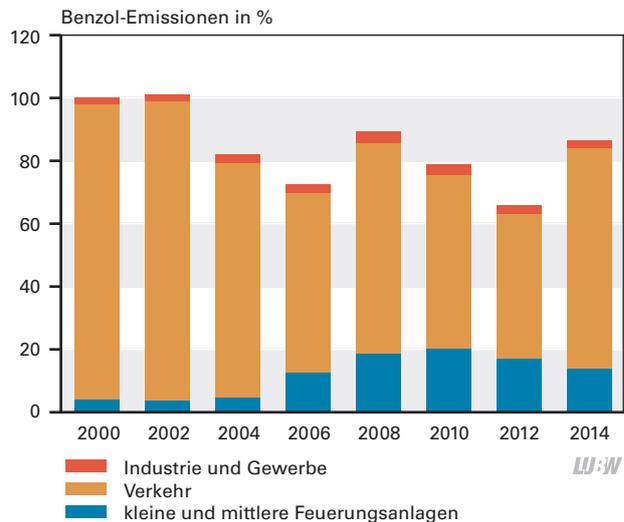


Abb. 3.3-21: Entwicklung der Benzolemissionen in Baden-Württemberg im Vergleich zu 2000 (2000=100 %) [LUBW 2017a]. Stand: 2017.

3.3.4 Benzol

Benzol (C₆H₆) 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.

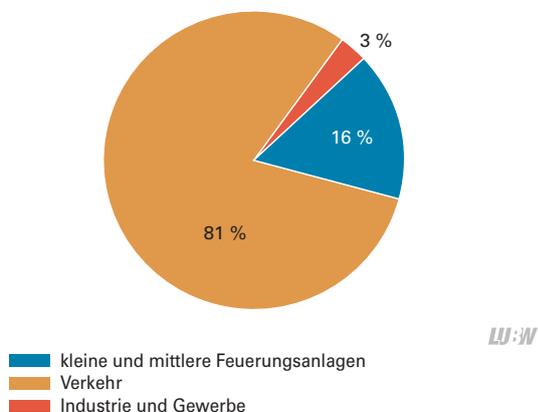


Abb. 3.3-20: Verteilung der Benzolemissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg 2014 [LUBW 2017a]. Stand: 2017.

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 1295 t im Jahr 2014 stammten zu 81 % aus dem Verkehr (Abb. 3.3-20). 16 % wurden von kleinen und mittleren Feuerungsanlagen emittiert, davon 98 % von Holzfeuerungsanlagen. Durch die Begrenzung des Benzolgehalts im Ottokraftstoff auf 1 Vol.-% seit dem 1. Januar 2000 (10. BImSchV) und der allgemeinen Verbreitung von Kraftfahrzeugen mit regeltem Katalysator haben die Benzolemissionen des Verkehrs seit 2000 um 25 % abgenommen. Insgesamt verminderten sich in diesem Zeitraum die Benzolemissionen jedoch nur um 14 %. Grund hierfür ist die zunehmende Verwendung von Holz als Brennstoff in kleinen und mittleren Feuerungsanlagen, die seit 2000 zu einer 3,5-fachen Erhöhung der Benzolemissionen aus dieser Quellengruppe geführt hat (Abb. 3.3-21). Witterungsbedingt trat 2010 bei der Holzverbrennung die höchste Benzolemission auf.

Immissionen

Aufgrund der geringen Immissionsbelastung wird Benzol seit 2017 nur noch an der Verkehrsmessstation Mannheim Friedrichsring und an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor gemessen. An beiden Messstellen lagen die gemessenen Benzolkonzentrationen im Jahr 2017 mit $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ weit unterhalb des Immissionsgrenzwertes zum Schutz der menschlichen Gesundheit von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tab. 3.3-6).

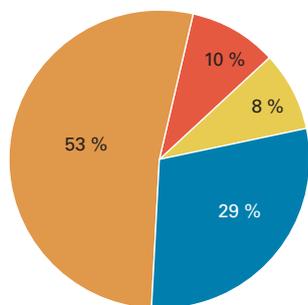
Tab. 3.3-6: Immissionswerte für Benzol gemäß der 39. BImSchV.

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Immissionswert
Benzol		
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	Kalenderjahr	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

LUBW

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, schwelenden Holzkohlegrills oder z. B. in Shisha-Bars 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



- kleine und mittlere Feuerungsanlagen
- Verkehr
- Industrie und Gewerbe
- sonstige technische Einrichtungen

Abb. 3.3-22: Verteilung der Kohlenmonoxidemissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg 2014 [LUBW 2017a]. Stand: 2017.

Menschen, Schwangere, Kinder oder Menschen mit Vorerkrankungen des Herz-Kreislaufsystems, auswirken können.

Emissionen

Die Kohlenmonoxidemissionen von 272 515 t im Jahr 2014 wurden zu 53 % vom Verkehr und zu 29 % von kleinen und mittleren Feuerungsanlagen verursacht (Abb. 3.3-22).

Durch die weitgehende Ausrüstung der Benzinfahrzeuge mit einem geregelten Katalysator sanken die Kohlenmonoxidemissionen des Verkehrs im Zeitraum 2000 bis 2014 um 61 %, während die Kohlenmonoxidemissionen insgesamt um 51 % abnahmen (Abb. 3.3-23).

Immissionen

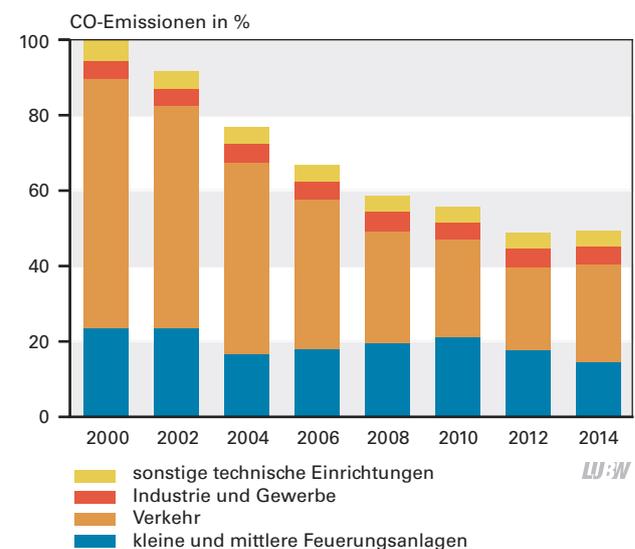
Aufgrund der geringen Immissionsbelastung wird Kohlenmonoxid nur noch an den acht Verkehrsmessstationen gemessen. Die Spannweite der maximalen 8-Stundenmittelwerte lag zwischen $1,0 \text{ mg}/\text{m}^3$ und $2,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ und somit weit unterhalb des Immissionsgrenzwertes zum Schutz der menschlichen Gesundheit von $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ (Tab. 3.3-7).

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

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Immissionswert
Kohlenmonoxid		
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	8 Stunden ¹⁾	$10 \text{ mg}/\text{m}^3$

1) höchster 8-Stundenmittelwert eines Tages

LUBW



LUBW

LUBW

Abb. 3.3-23: Entwicklung der Kohlenmonoxidemissionen in Baden-Württemberg im Vergleich zu 2000 (2000=100 %) [LUBW 2017a]. Stand: 2017.

3.3.6 Ammoniak

Ammoniak (NH_3) ist ein wasserlösliches, stechend riechendes Gas. In der Natur entsteht Ammoniak bei der mikrobiellen Zersetzung stickstoffhaltiger organischer Materie (Pflanzenreste, tierische Exkrememente). 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 (NH_4^+) bzw. seinen Salzen Ammoniumsulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) und Ammoniumnitrat (NH_4NO_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.

Die Emissionen von Ammoniak in Baden-Württemberg betragen im Jahr 2014 insgesamt 57,4 kt.

Ammoniak stammte im Jahr 2014 zu 95 % aus der Quellengruppe biogene Systeme, insbesondere aus landwirtschaftlichen Tätigkeiten wie Nutztierhaltung sowie aus Böden und Pflanzen (Abb. 3.3-24). 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 2014 einen Anteil von 4 % aus.



Abb. 3.3-24: Verteilung der Ammoniakemissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg 2014. Stand: 2017 [LUBW 2017a].

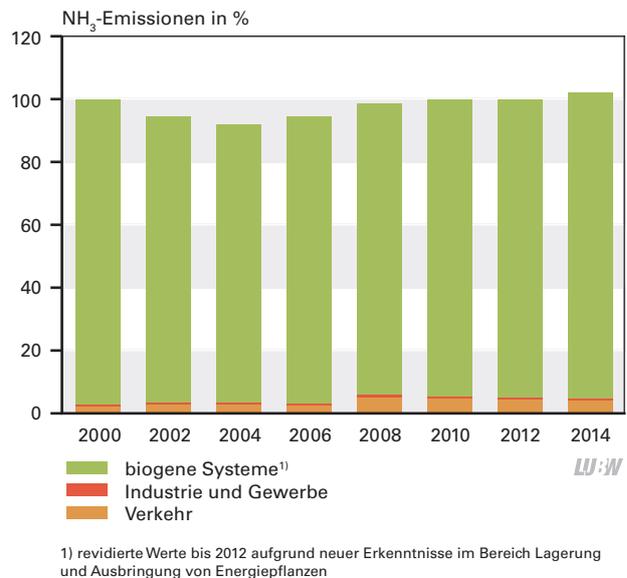


Abb. 3.3-25: Entwicklung der Ammoniakemissionen in Baden-Württemberg im Vergleich zu 2000 (2000=100 %) [LUBW 2017a]. Stand: 2017.

Als Schwerpunkte der Ammoniakemissionen sind in Baden-Württemberg die Gebiete mit hohem Viehbestand wie die Regionen Hohenlohe, Ostalb und Oberschwaben zu nennen. Von 2000 bis 2014 sind die Gesamt-Ammoniakemissionen trotz des Rückgangs der Rinderbestände und der Anwendung der guten fachlichen Praxis gemäß der Düngeverordnung (DüV) um 2 % gestiegen (Abb. 3.3-25). Gründe hierfür sind, dass diese beiden Faktoren, die eigentlich eine Reduktion der Ammoniakemissionen bewirken sollten, durch die Zunahme der Milchleistung als auch die erhebliche Ausweitung der Biogasproduktion egalisiert wurden. Der Anstieg ist demnach vermutlich auf eine Anpassung der Emissionserhebung durch das Statistische Landesamt [STaLA 2013] zurückzuführen. Außerdem stiegen die Ammoniak-Emissionen durch den Straßenverkehr – wenn auch auf niedrigem Ausgangsniveau – im gleichen Zeitraum um das 2-fache an.

Immissionen

Seit 2007 werden in Baden-Württemberg Ammoniakkonzentrationen erfasst und im Jahr 2017 wurden an 15 Standorten Messungen durchgeführt. Die Ammoniakkonzentrationen werden geprägt durch die nähere oder fernere Umgebung von potentiellen Emittenten.

Ammoniakmessungen finden daher im emittententfernten Umfeld, d. h. in größerer Entfernung zu z. B. landwirtschaftlichen und industriell städtischen Emittenten (Abb. 3.3-26) statt. Diese emittententfernten Messungen sollen ei-

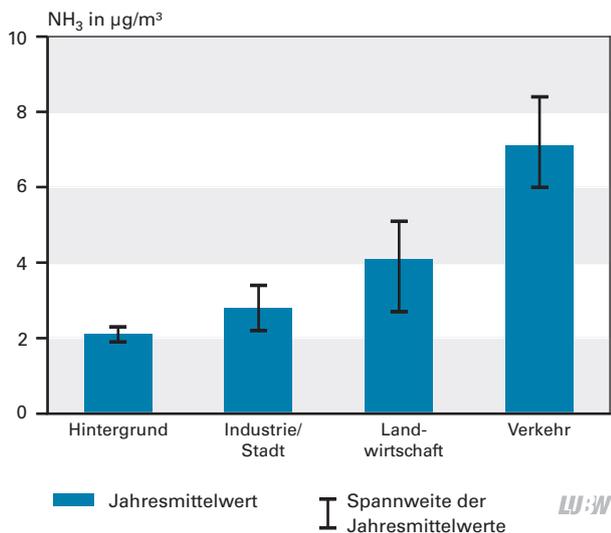


Abb. 3.3-26: Spannweiten der Jahresmittelwerte der Ammoniakkonzentrationen an emittentfernen Standorten in Baden-Württemberg für das Jahr 2017.

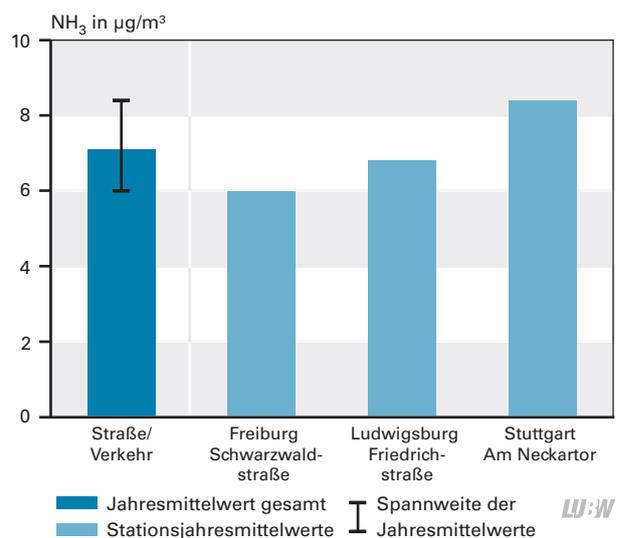


Abb. 3.3-27: Jahresmittelwerte und die Spannweite der Ammoniakkonzentrationen an emittentnahen Standorten in Baden-Württemberg für das Jahr 2017.

ne Bewertung der Ammoniakvorbelastung für das jeweilige Umfeld ermöglichen [LUBW 2017b].

Für das emittentennahe Umfeld finden Ammoniakmessungen in direkter Nähe zu verkehrsgeprägten Standorten (Abb. 3.3-27) z. B. am Straßenrand statt. Diese Messungen spiegeln die Immissionssituation in unmittelbarer Verkehrsnähe, also emittentennah, wider. Da eine Neukonzeption der Messstandorte erfolgte, sind hier die Ergebnisse des Untersuchungsjahrs 2017 dargestellt.

3.3.7 Schwefeldioxid

Schwefeldioxid (SO₂) reizt die Schleimhäute und die Atemwege. Die Kombination von Schwefeldioxid und Stäuben verstärkt die negative Wirkung auf die Gesundheit. 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 oder als Sulfat-Aerosol (z. B. als Ammoniumsulfat) zum sekundär gebildeten Feinstaub beiträgt. 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 2014 wurden in Baden-Württemberg 14 444 t Schwefeldioxid emittiert, davon 94 % durch Kraftwerke und Industriefeuerungen sowie 4 % durch kleine und mittlere Feuerungsanlagen (Abb. 3.3-28).

Insgesamt nahmen die Emissionen von Schwefeldioxid zwischen 2000 und 2014 um 64 % ab. Den stärksten Rückgang der Schwefeldioxidemissionen gab es bereits Ende der 1980er-Jahre, vor allem durch die Abgasentschwefelung bei Kraftwerken und Industriefeuerungen. Seit 2000 sind die Emissionen von Schwefeldioxid bei dieser Emittentengruppe nochmals um 43 % gesunken. Auch bei den

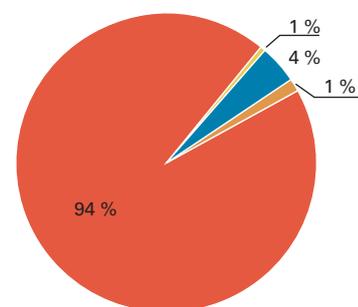


Abb. 3.3-28: Verteilung der Schwefeldioxidemissionen auf die Quellengruppen in Baden-Württemberg 2014 [LUBW 2017a]. Stand: 2017.

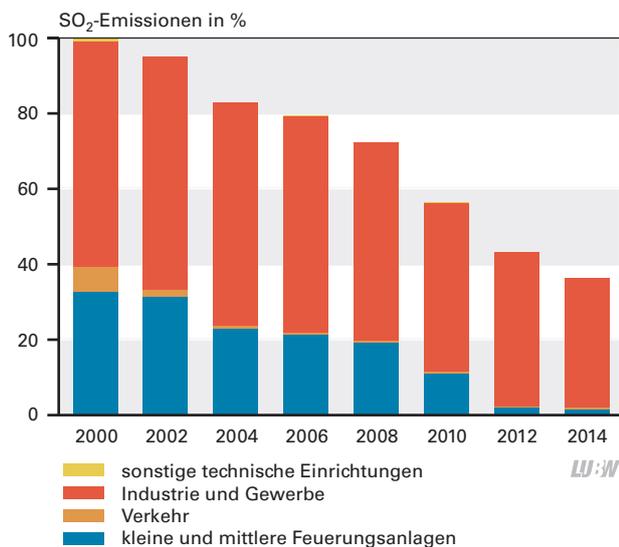


Abb. 3.3-29: Entwicklung der Schwefeldioxidemissionen in Baden-Württemberg im Vergleich zu 2000 (2000=100 %) [LUBW 2017a]. Stand: 2017.

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. Den Rückgang der Emissionen um 93 % beim Verkehr bewirkte der Einsatz von schwefelfreiem Dieseldieselkraftstoff (max. 10 mg Schwefel je kg Dieseldieselkraftstoff), so dass dieser kaum noch zur Schwefeldioxidemission beiträgt (Abb. 3.3-29).

Immissionen

Aufgrund der geringen Immissionsbelastung wird Schwefeldioxid nur noch an den vier Messstationen Aalen, Eggenstein, Mannheim-Nord und Schwarzwald-Süd gemessen.

Die Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit von $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-Stundenmittelwert) und $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tagesmittelwert) sowie der kritische Wert zum Schutz der Ökosysteme von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jahresmittelwert) wurden im Jahr 2017 an allen Messstationen weit unterschritten.

3.3.8 Benzo[a]pyren in der Partikelfraktion PM₁₀

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

Tab. 3.3-8: Immissionswerte für Schwefeldioxid gemäß der 39. BImSchV.

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Immissionswert	zulässige Anzahl Überschreitungen
Schwefeldioxid (SO₂)			
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	1 Stunde	$350 \mu\text{g}/\text{m}^3$	24 im Kalenderjahr
menschliche Gesundheit (Immissionsgrenzwert)	1 Tag	$125 \mu\text{g}/\text{m}^3$	3 im Kalenderjahr
menschliche Gesundheit (Alarmschwelle)	1 Stunde ¹⁾	$500 \mu\text{g}/\text{m}^3$	—
Vegetation (kritischer Wert)	Kalenderjahr	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	—

1) gemessen in drei aufeinander folgenden Stunden

sind toxisch, einige PAK sind kanzerogen und stehen im Verdacht, frucht- und erbgutschädigend zu sein. BaP wird als Leitsubstanz für die Gruppe der PAK herangezogen.

Emissionen

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe werden überwiegend durch Verbrennungsprozesse in Feuerungsanlagen verursacht. Im Jahr 2014 wurden in Baden-Württemberg insgesamt 911 kg BaP emittiert. Hauptverursacher für die BaP-Freisetzung war mit 45 % die Quellengruppe sonstige technische Einrichtungen, gefolgt von der Quellengruppe kleine und mittlere Feuerungsanlagen mit einem Anteil von 44 % an den Gesamtemissionen. Seit dem Jahr 2000 haben sich die Emissionen von BaP in etwa halbiert.

Immissionen

Der Zielwert von Benzo[a]pyren (Tab. 3.3-9) wurde im Jahr 2017 an allen Messstationen des Luftmessnetzes und allen Spotmessstellen eingehalten (Abb. 3.3-30).

Tab. 3.3-9: Immissionswerte für Benzo[a]pyren gemäß der 39. BImSchV.

Schutzgut	Mittelungszeitraum	Immissionswert
Benzo[a]pyren (BaP)		
menschliche Gesundheit (Zielwert)	Kalenderjahr	$1 \text{ ng}/\text{m}^3$

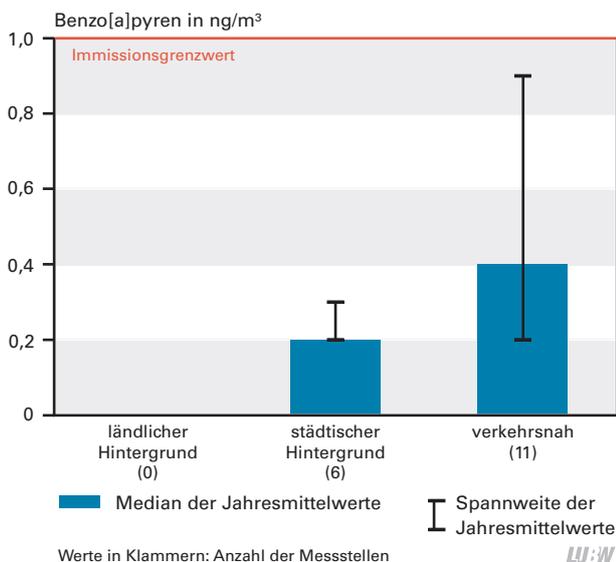


Abb. 3.3-30: Spannweiten der Jahresmittelwerte der Benzol[a]pyren-Konzentrationen an den Messstationen des Luftmessnetzes (städtisch, verkehrsnah) und des Spotmessnetzes in Baden-Württemberg im Jahr 2017.

3.3.9 Arsen, Blei, Cadmium und Nickel in der Partikelfraktion PM₁₀

Während reines elementares Arsen nicht giftig ist, weisen die dreiwertigen, löslichen Arsenverbindungen ein hohes akut toxisches Potenzial auf. Bei den anderen Metallen haben weniger akut toxische Effekte Bedeutung für gesundheitliche Beeinträchtigungen als vielmehr die Akkumulation im Körper aufgrund langjähriger Exposition und inhalativer oder oraler Aufnahme. Beispiele für die langfristige Wirkung von Metallen sind:

- **Blei** – Nierenfunktionsstörungen, Schäden des blutbildenden Systems, der Muskulatur und des Nervensystems, fruchtschädigende Wirkung.
- **Cadmium** – Störungen des Eiweiß- und Kohlenhydratstoffwechsels, Knochenschäden, Erkrankungen des Immun- und Nervensystems, kanzerogen und erbgutschädigende Wirkung (nicht alle Cadmiumverbindungen).

- **Nickel** – Auslöser für Kontaktallergien, Schädigung von Lunge und Immunsystem, fruchtschädigend, Verdacht auf Kanzerogenität.

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. 2014 wurden in Baden-Württemberg 3333 kg Blei, 165 kg Cadmium, 1308 kg Nickel sowie 261 kg Arsen freigesetzt.

Immissionen

Aufgrund der geringen Immissionsbelastung werden die Metalle in der Partikelfraktion PM₁₀ nur noch an sechs Messstationen in Baden-Württemberg gemessen. Die Zielwerte für Arsen, Cadmium und Nickel bzw. der Immissionsgrenzwert für Blei wurden an allen Messstationen weit unterschritten (Tab. 3.3-10).

Tab. 3.3-10: Immissionswerte für Schwermetalle in der Partikelfraktion PM₁₀ gemäß der 39. BImSchV.

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

LU:W

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 (Auskämmeffekt). 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 empfindliche Ökosysteme vor zu hohen Stickstoff- und Säureeinträgen geschützt werden (BImSchG).

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

Stoffgruppe	Mittelungszeitraum	Immissionswert
Staubbiederschlag	Kalenderjahr	0,35 g/(m ² ·d)
Arsen und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Arsen	Kalenderjahr	4 µg/(m ² ·d)
Blei und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Blei	Kalenderjahr	100 µg/(m ² ·d)
Cadmium und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Cadmium	Kalenderjahr	2 µg/(m ² ·d)
Nickel und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Nickel	Kalenderjahr	15 µg/(m ² ·d)
Quecksilber und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Quecksilber	Kalenderjahr	1 µg/(m ² ·d)
Thallium und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Thallium	Kalenderjahr	2 µg/(m ² ·d)

LU:W

3.4.1 Staubbiederschlag und Schwermetalleinträge

Für langjährige Trends konnten die Staubbiederschläge und Schwermetalleinträge an sieben Standorten ausgewertet werden. Für die Auswertung werden einzelne Standorte aus bestimmten Regionen dargestellt. Diese Regionen unterscheiden sich z. B. hinsichtlich ihres Emissionspotenzials, ihrer Niederschlagsmenge und ihres Vegetationsspektrums:

- Schwäbische Alb – naturnahe Umgebung ohne direkten Emittenteneinfluss.
- Mannheim-Nord – hohe Industrie- und Verkehrsdichte und damit für höheres Emissions- und Eintragspotenzial.
- Mudau – walddreiehes, extensiv landwirtschaftlich geprägtes Umfeld.

Die Standortvegetation und die damit verbundene unterschiedliche Oberflächenstruktur beeinflusst ebenfalls das Eintragspotenzial.

Beim Staub (Abb. 3.4-1) lagen im Jahr 2017 die Einträge in einem Wertebereich zwischen 0,04 g/(m²·d) und 0,07 g/(m²·d) und damit deutlich unter dem Immissionswert von 0,35 g/(m²·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. In Baden-Württemberg werden seit dem Jahr 2007 die

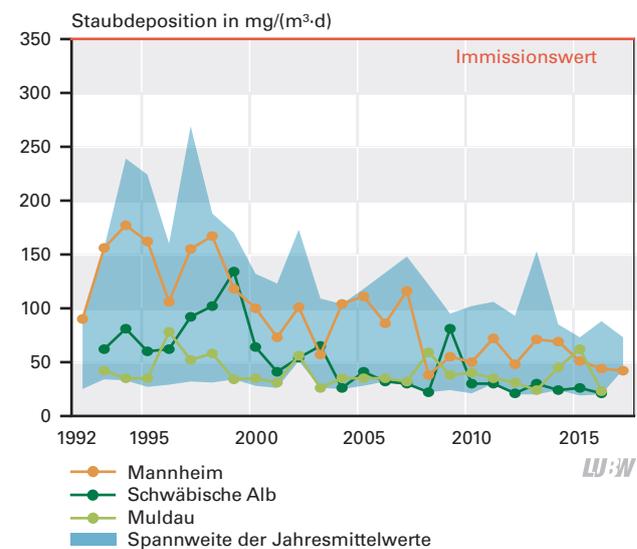


Abb. 3.4-1: Entwicklung des Staubbiederschlags an den Standorten des Depositionsmessnetzes Baden-Württemberg seit 1992.

Depositionen von Schwermetallen im Staubbiederschlag gemessen. Zusätzlich zu den Schwermetallen Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd) und Nickel (Ni), die auch in der Partikelfraktion PM_{10} überwacht werden (vgl. Kap. 3.3.9), wird im Staubbiederschlag auch das Schwermetall Antimon (Sb) bestimmt. Dieses stammt z. B. aus dem Abrieb von Bremsbelägen. Thallium (Tl) wird heute nicht mehr erfasst, da sich die Emissionssituation durch technische Maßnahmen im Abluftbereich bei der Zementherstellung deutlich gebessert hat, so dass die Thalliumeinträge heute im Bereich der Nachweisgrenze liegen. Da die Quecksilber-einträge an den früheren Messstandorten ebenfalls unterhalb der Nachweisgrenze lagen, wird Quecksilber an den neuen Standorten nicht mehr erfasst.

Die mittleren jährlichen Schwermetalleinträge für die Jahre 2007 bis 2017 (Abb. 3.4-2) liegen bei den gemessenen

Stoffen (Arsen, Cadmium, Blei, Nickel und Antimon) weit unterhalb der entsprechenden Immissionswerte (Tab. 3.4-1). Die höchsten Schwermetalleinträge finden in städtisch bzw. industriell (z. B. Kehl Kinzigallee) geprägten Gebieten statt.

3.4.2 Sulfateinträge über Bergerhoff-Gefäße

Die Sulfateinträge (Abb. 3.4-3) sind seit 1992 deutlich zurückgegangen und liegen ab 2011 unter $20 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$. Mit der Neukonzeption des Depositionsmessnetzes (vgl. Kapitel 3.2) werden die Regeninhaltsstoffe seit 2017 nur über wet-only-Sammler ermittelt. D. h. die Trendbetrachtung der Sulfateinträge über die Bergerhoff-Gefäße endet mit dem Jahr 2016. In diesem Jahr lagen die Sulfateinträge zwischen $5 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ und $14 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$.

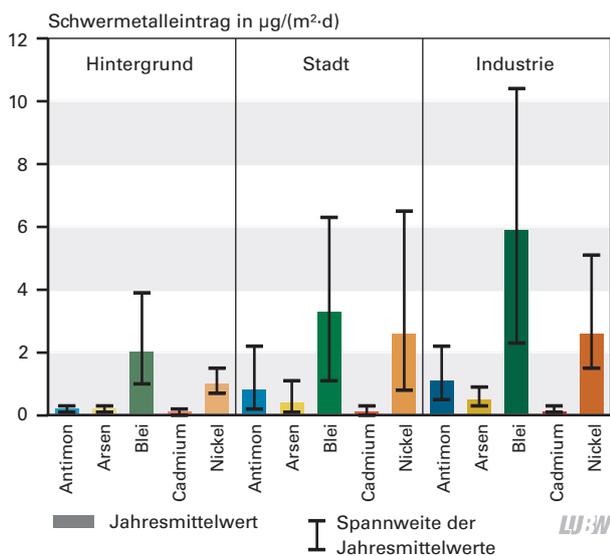


Abb. 3.4-2: Spannweiten der Einträge von Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Nickel. Jahresmittelwerte der Jahre 2007 bis 2017.

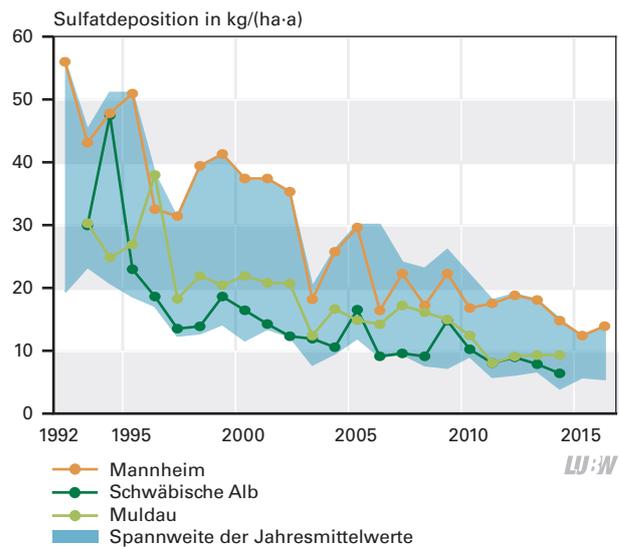


Abb. 3.4-3: Entwicklung der Sulfateinträge an den Standorten des Depositionsmessnetzes in Baden-Württemberg seit 1992.



Boden

4

Das Wichtigste in Kürze

Im Rahmen des **Moorkatasters** wurden in acht Mooren Pegel zum Monitoring des Wasserstands installiert.

Untersuchungen im Rahmen der **Bodendauerbeobachtung** zeigen, dass abnehmende Schadstoffeinträge aus der Atmosphäre abnehmende Schadstoffgehalte in den organischen Auflagen von Waldböden bewirken. Weitere Gehaltsänderungen in den darunterliegenden Bodenhorizonten folgen der Löslichkeit und Abbaubarkeit der jeweiligen Schadstoffe in Böden.

Per- und polyfluorierte Chemikalien (**PFC**) können in Böden an unbelasteten Hintergrundstandorten des landesweiten Bodennetztes analytisch bestimmt werden, allerdings nur in sehr geringen Konzentrationen. Als Ursache dafür wird ein ubiquitär-diffuser Eintrag über den Luftpfad in den vergangenen Jahrzehnten der verbreiteten industriellen Verwendung dieser Substanzen angenommen.

Aktuell werden 17 795 altlastverdächtige Flächen und **Altlasten** im Kataster geführt. Landesweite Auswertungen des Bodenschutz- und Altlastenkatasters zeigen, dass in den letzten drei Jahren bei 2110 Flächen der Verdacht auf Vorliegen einer Altlast entweder ausgeräumt oder bestätigt werden konnte.

4.1 Moorkataster – Wasserstandsmessungen

Aus ökologischer Sicht stellen Moore durch ihre extremen Standortbedingungen einen Lebens- und Rückzugsraum für Pflanzen und Tiere dar, der in unserer Kulturlandschaft immer seltener wird. Auch aus bodenkundlicher Sicht ist ein über Jahrtausende gewachsener Torfkörper, der in Baden-Württemberg vereinzelt bis über 10 m mächtig ist, eine Besonderheit. Durch Siedlungsmaßnahmen und damit einhergehende landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Bodennutzung, einerseits um agrarisch nutzbare Flächen urbar zu machen und die Erträge zu steigern und andererseits, um den Bedarf an günstigem Heizmaterial zu decken, sind heute überwiegende Teile der Moore entwässert und zumindest teilweise abgetorft. Eingriffe in der Vergangenheit wie die Abtorfung wirken bis heute nach, land- und forstwirtschaftliche Nutzung beschleunigen zusätzlich den Torfzersatz. Dabei wird der gespeicherte Kohlenstoff als klimarelevantes Kohlendioxid freigesetzt und trägt damit direkt zum Treibhauseffekt bei.

Gleichzeitig bedroht der Klimawandel die Moore. Als wasserabhängige Ökosysteme reagieren sie auf Veränderungen des Klimas mit einem höheren Anteil an wärmeren, im Sommer trockeneren Jahren. Besonders betroffen sind die ausschließlich vom Niederschlag gespeisten, d. h. von den Regenmengen abhängigen Hochmoore (Regenmoore). Aber auch die vom Grundwasser gespeisten Niedermoore sind durch Trockenheit, reduzierte Niederschläge im Sommerhalbjahr und damit Wassermangel während der Hauptwachstumsphase gefährdet. Mit der Naturschutzstrategie und dem Moorschutzprogramm schafft das Land Baden-Württemberg Voraussetzungen für eine dauerhafte Sicherung der noch vorhandenen, naturnahen Moore sowie für

die Renaturierung beeinträchtigter Moore. Wie sich Veränderungen des Klimas mit den projizierten Szenarien jedoch konkret auf die Wasserstände in Mooren auswirken, bleibt unsicher.

Um vertiefte Kenntnisse über die Dynamik der hydrologischen Verhältnisse zu erhalten, hat die LUBW im Jahr 2014 in acht ausgewählten Mooren insgesamt neun Pegel zur Wasserstandsmessung im Moorkörper installiert und registriert seither kontinuierlich die Veränderungen der Wasserstände sowie weitere Klimadaten (Tab. 4.1-1). Bei der Auswahl der Hochmoore spielten u. a. der Entwicklungszustand, die Lage und die kleinregionale Niederschlagshöhe eine entscheidende Rolle. Aber auch Kriterien wie Erreichbarkeit und Zugänglichkeit der Moore wurden berücksichtigt.

Noch sind die Wasserstandsaufzeichnungen zu kurz, um aus den Datenreihen gesicherte Prognosen für die Zukunft abzuleiten. Dennoch unterscheiden sich die Moore in ihrem Wasserregime sehr deutlich.

Anhand der Beispiele Gründlenried-Rötseemoos (Wetterstation Kißlegg DWD) und Taubenmoos (Wetterstation Bernau-Goldbach DWD) werden die Niederschlags- und Wasserstandsverhältnisse für das Jahr 2016 näher betrachtet.

Das Gründlenried-Rötseemoos bildet auf etwa 650 m Höhe einen der wichtigsten Moorkomplexe des württembergischen Alpenvorlandes mit offenen und bewaldeten Hochmoorflächen sowie Zwischen- und Niedermoorbereichen mit ausgeprägter Zonierung. Es ist ein weitgehend intakter Lebensraum von hohem ökologischen Wert, in dem zahlreiche seltene Pflanzen- und Tierarten überleben konnten.

Tab. 4.1-1: Moore mit Grundwasserpegel.

Moorname	Normalhöhennull (NHN)	Gemeinde	Naturraum
Hornisgrinde	1158 m	Sasbach	Grindenschwarzwald und Enzhöhen
Wildseemoor	904 m	Bad Wildbad im Schwarzwald	Grindenschwarzwald und Enzhöhen
Rotmeer	961 m	Feldberg (Schwarzwald)	Hochschwarzwald
Hirschenmoor	879 m	Breitnau	Hochschwarzwald
Kohlhüttenmoos	1048 m	Ibach	Hochschwarzwald
Taubenmoos	981 m	Bernau im Schwarzwald	Hochschwarzwald
Wurzacher Ried Nord	652 m	Bad Wurzach	Riß-Aitrach-Platten
Wurzacher Ried West	653 m	Bad Wurzach	Riß-Aitrach-Platten
Gründlenried-Rötseemoos	651 m	Kißlegg im Allgäu	Westallgäuer Hügelland

LUBW



Abb. 4.1-1: Gründlenried-Rötseemoos im Westallgäuer Hügelland. Foto: LUBW.



Abb. 4.1-2: Das Taubenmoos im Hochschwarzwald. Foto: LUBW.

Das Taubenmoos liegt auf knapp 1000 m ü. NN im Naturraum der Menzenschwand-Bernauer Hochtäler. Das insgesamt 35 ha große Moorgebiet umfasst sowohl unbewaldete Bereiche mit typischer Hoch-, Übergangs- und Niedermoorvegetation als auch bewaldete Flächen.

Die Niederschlagsmenge im Jahr 2016 lag an den für die beiden Moore relevanten Wetterstationen über den durchschnittlichen Niederschlägen des Referenzzeitraumes von 1981 bis 2010 (Tab. 4.1-2). Der Gesamtniederschlag war im Bezugsjahr für beide Moore ausreichend für Hochmoorwachstum.

Betrachtet man allerdings die Niederschlagsverteilung der beiden Standorte (Abb. 4.1-3), wird an der Wetterstation Bernau (Taubenmoos) der deutliche Wasserüberschuss in den Winter- und Frühjahrsmonaten offensichtlich, allerdings mit zu geringen Niederschlägen in der Zeit von Juli bis September, in der noch Torfwachstum stattfindet. Als Hauptwachstumsperiode werden die Monate Mai bis Ende September zugrunde gelegt. An der Wetterstation Kißlegg

(Gründlenried-Rötseemoos) ist trotz der geringeren Jahresniederschläge eine wesentlich günstigere und gleichmäßigere Niederschlagsverteilung in der Wachstumsperiode gegeben.

Das unterschiedliche Wasserdargebot spiegelt sich unmittelbar in den Wasserständen der Moore wieder.

Das Taubenmoos war bei ausreichenden Niederschlägen bis Ende Juni quasi wassergesättigt. Etwas verzögert fällt der Pegel ab Mitte Juli auf 20 cm unter Geländeoberkante (GOK), d. h. auf einen für das Wachstum von Torfmoosen kritischen Wert und erreicht in der verbleibenden Wachstumsperiode bis Ende September nur noch Wasserstände, die für Strauch- und Baumvegetation günstig sind, aber nicht für Torfwachstum (Abb. 4.1-4).

Völlig anders stellt sich die Situation im Gründlenried-Rötseemoos (Abb. 4.1-5) dar. Obwohl die Jahresniederschläge mehr als 600 mm niedriger als im Taubenmoos waren, ist die Niederschlagsverteilung in der Wachstumsperiode von Mai bis Ende September wesentlich gün-

Tabelle 4.1-2: Jährliche Niederschlagsmengen von 2014 bis 2017 an den Stationen Bernau und Kißlegg.

	2014	2015	2016	2017	Durchschnitt 1981 - 2010
	in mm/Jahr				
Wetterstation Bernau-Goldbach (beim Taubenmoos)	1606	1535	2018	1983	1935
Wetterstation Kißlegg (beim Gründlenried- Rötseemoos)	1124	1077	1351	1369	1318
Niederschlags- differenz der beiden Stationen	482	458	667	614	617

Daten: DWD 2018.

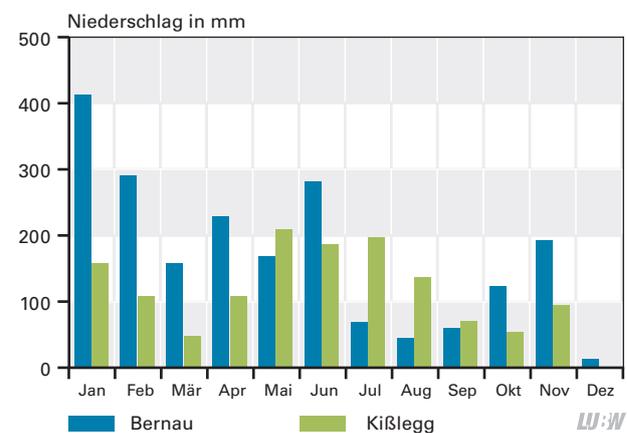


Abb. 4.1-3: Niederschlagsverteilung im Jahr 2016 an den Wetterstationen Bernau und Kißlegg.

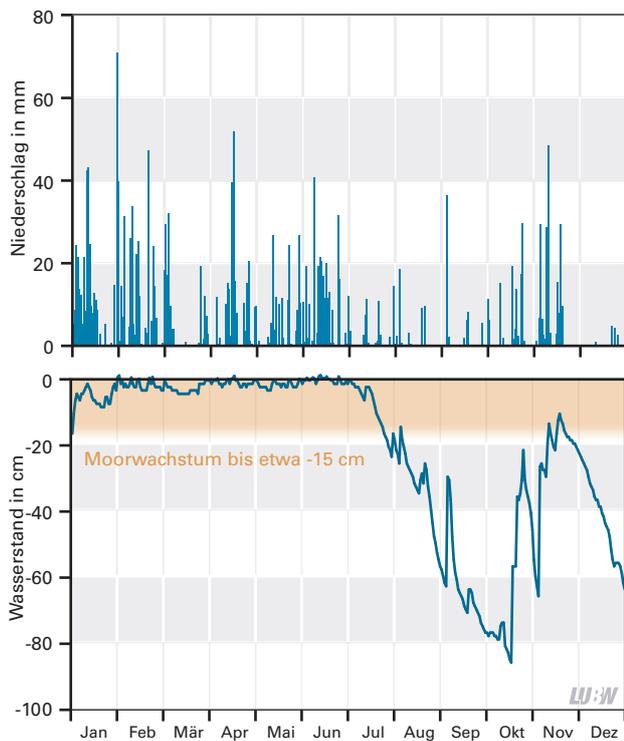


Abb. 4.1-4: Niederschlagsverteilung und Wasserstandsänderung im Taubenmoos im Jahr 2016. Quelle: DWD, LUBW.

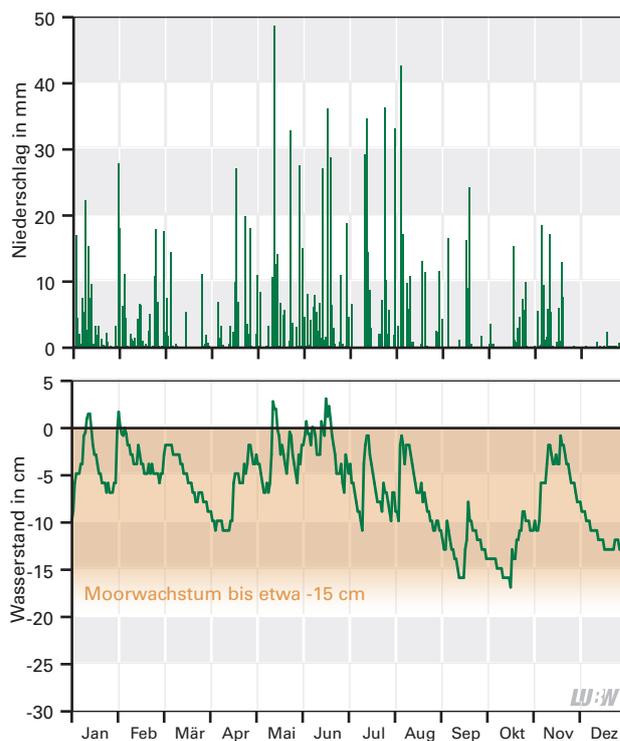


Abb. 4.1-5: Niederschlagsverteilung und Wasserstandsänderung im Gründlenried-Rotseemoos im Jahr 2016. Quelle: DWD, LUBW.

stiger. Nachdem die Niederschläge Anfang September zurückgingen, stellte sich kurzfristig Mitte September ein Wasserstand von ca. 16 cm unter Flur ein, d. h. auf einen für das Torfmooswachstum unproblematischen Wasserstand. Anders als beim Taubenmoos besitzt das Moor noch eine bemerkenswerte Eigenschaft: der Torfkörper im Hochmoorbereich schwimmt auf einem Wasserkissen. Bei sehr viel Niederschlag hebt sich die Mooroberfläche, in trockenen Jahren sackt die Oberfläche ab. Dadurch reguliert sich der Wasserstand in gewissen Grenzen selbst, was

für den Erhalt des Moores gute Voraussetzungen bietet. Wie sich ggf. mehrere aufeinanderfolgende trockene Jahre auf das Oszillieren des Moorkörpers auswirken, kann im Rahmen des künftigen Monitorings verfolgt werden. Neben den Wasserstandmessungen werden mit dem Datensammler auch die elektrische Leitfähigkeit und die Wassertemperatur aufgezeichnet. Die Daten aller acht Moore bzw. neun Pegel können auf der Webseite www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Boden > Das Moorkastaster abgerufen werden.

4.2 Bodendauerbeobachtung

Die Bodendauerbeobachtung ist eine wichtige Informationsgrundlage für den Bodenschutz in Baden-Württemberg und gesetzlicher Auftrag der LUBW (LBodSchAG 2004). Das Programm ist gegliedert in ein Messnetz für den ubiquitären Schadstoffhintergrund, d. h. für nicht spezifisch belastete Böden (ländlicher Raum) sowie in derzeit fünf speziellen Umweltthemen gewidmeten Intensivmessstellen, an denen zusätzlich zu den klassischen Bodenuntersuchungen auch Stoffein- und -austräge untersucht werden.

Details zu Standorten und Methoden sind in den „Umweltdaten 2015“ [LUBW 2015] beschrieben.

Vorgestellt wird ein aktuelles Teilergebnis der Bodendauerbeobachtung zur Entwicklung und Auswirkung der atmosphärischen Deposition auf Böden. Zu Untersuchung dieser Fragestellung sind Waldstandorte besonders geeignet, da sie vorrangig durch atmosphärische Deposition und nur wenig durch die Bewirtschaftung beeinflusst sind.

Ergebnisse an einzelnen Intensivmessstellen unter Wald in Ballungsräumen und an einer Autobahn zeigen bei allen untersuchten Schadstoffen eine je nach Parameter mehr oder weniger deutliche Abnahme der atmosphärischen Deposition als Erfolg der Luftreinhaltung [LUBW 2008, HLNUG 2016]. In Böden schlägt sich dies in abnehmenden Schadstoffgehalten in der organischen Humusaufgabe nieder. Im darunter folgenden Mineralboden hängt die sich ergebende Entwicklung der Schadstoffgehalte von der Löslichkeit und bei organischen Schadstoffen auch von deren Abbaubarkeit ab. So führt der Eintrag vormals in der Humusaufgabe gespeicherter Schadstoffe bei in Böden schwer löslichen Schadstoffen wie z. B. Blei gegenwärtig noch zu Gehaltszunahmen. Bei in Böden leichter löslichen Schadstoffen wie z. B. Cadmium geht die Entwicklung in Richtung Fließgleichgewicht zwischen Eintrag aus der Humusaufgabe und Austrag mit dem Sickerwasser.

Aktuelle Ergebnisse aus dem Basismessnetz bestätigen diese an einzelnen Intensivmessstellen unter Wald gefundene Entwicklung der Schadstoffdynamik nun auch flächenhaft für den Schadstoffhintergrund.

Zur Auswertung stehen dazu Schadstoffgehalte einer Beprobungskampagne der Jahre 2007 bis 2014 zur Verfügung, die mit den Gehalten einer früheren Beprobung 1997-2000 an landesweit 17 Waldstandorten verglichen werden können. Abbildung 4.2-1 zeigt die Schadstoffentwicklung anhand der prozentualen Unterschiede zwischen den beiden Beprobungen am Beispiel Blei. In der organischen Humusaufgabe ist im Mittel (Median) eine deutliche Abnahme der Bleigehalte über den betreffenden Zeitraum von ca. 10 Jah-

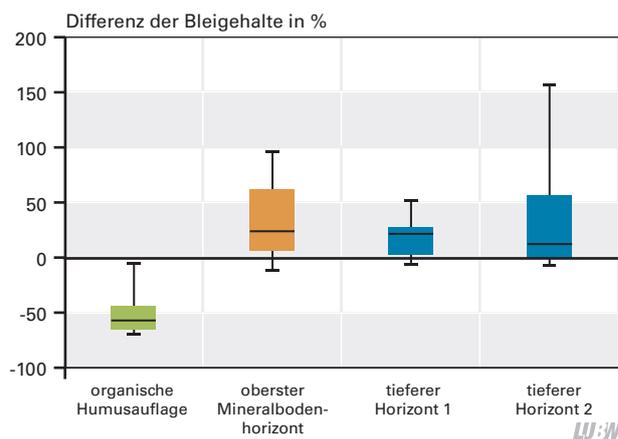


Abb. 4.2-1: Entwicklung der Bleigehalte im Königswasserextrakt (KW) 1997-2000 bis 2007-2014 an 17 Waldstandorten des ubiquitären Schadstoffhintergrunds getrennt nach Bodenhorizonten.

ren um ca. 60 % zu erkennen. In den darunter liegenden Mineralbodenhorizonten ist im Mittel eine geringere, sich mit der Tiefe abschwächende Zunahme der Bleigehalte festzustellen. Einzelne, von dieser Regel abweichende Unterschiede sind auf Probennahmeartefakte aufgrund sehr skeletthaltiger oder durch Befahren gestörter Waldböden zurückzuführen.

Diese für die Gegenwart typische Entwicklung der Schadstoffgehalte in Böden aufgrund des Rückgangs der atmosphärischen Einträge zeigt sich bei Blei besonders ausgeprägt. Eine analoge Entwicklung, wenn auch weniger deutlich, wurde in der Untersuchung für Quecksilber, Antimon, 16 PAK und 6 PCB gefunden, allesamt Schadstoffe, deren Gehalte in Böden ebenfalls stark durch atmosphärische Einträge geprägt sind.

4.3 Per- und polyfluorierte Chemikalien im Boden

Bei der Stoffgruppe der per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) handelt es sich um ausschließlich synthetisch hergestellte, organische Verbindungen, die seit etwa 50 Jahren in verschiedensten Industriebereichen und Produkten eingesetzt werden. Die Stoffe sind in vielen Verbraucherprodukten und Gegenständen des täglichen Bedarfs enthalten, wie Kochgeschirr mit Antihafbeschichtung, wasserabweisende Outdoor- und Arbeitstextilien, fettabweisende Papiere und Imprägniersprays. Dies führte inzwischen zu einer weltweiten Verbreitung dieser Chemikalien in allen Umweltkompartimenten.

PFC enthalten organische Kohlenstoffketten, bei denen die Wasserstoffatome vollständig (perfluoriert) oder teilweise (polyfluoriert) durch Fluoratome ersetzt sind. Aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften können PFC in kurz- und langkettige Verbindungen unterteilt werden. Zu den perfluorierten Alkylverbindungen zählen die perfluorierten Alkylcarbonsäuren mit PFOA und die perfluorierten Alkylsulfonsäuren mit PFOS als den wichtigsten Vertretern. Insgesamt sind derzeit weit mehr als 4000 Einzelverbindungen bekannt [OECD 2018], von denen bisher nur ein geringer Anteil analytisch bestimmt werden kann.

Aufgrund ihrer Persistenz werden PFC in Böden angereichert. Über die Nahrungskette, über Pflanzen und Tiere erreichen sie auch den Menschen. Um Anhaltspunkte zu erhalten, ob auch in bisher als unbelastet eingestuften Böden Baden-Württembergs heute bereits geringe Spuren an per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) nachgewiesen werden können, werden seit 2015 landesweit Messflächen der Bodendauerbeobachtung auf PFC untersucht. Die Proben verteilen sich auf die Hauptnutzungsarten Acker, Grünland und Wald, wobei auf diesen Flächen ausschließlich die Oberbodenhorizonte, bei Waldflächen zusätzlich die organischen Auflagenhorizonte untersucht wurden. Zur Beurteilung der zeitlichen Entwicklung von PFC-Gehalten in Böden konnte auch auf wenige Rückstellproben von Ackerflächen zurückgegriffen werden, die von 1968 bis Mitte der 1970er-Jahre entnommen worden sind. Bisher liegen Untersuchungen von insgesamt 53 Standorten vor. Die Untersuchungen der LUBW zu PFC-Gehalten in Böden von Hintergrundstandorten im landesweiten Boden-

messnetz belegen durchgängig analytisch bestimmbare, wenngleich sehr geringe Bodengehalte. Nach bisherigen Befunden sind im Feststoff im Wesentlichen langkettige Sulfonsäuren (PFOS) und langkettige Carbonsäuren (PFOA, PFDA) in einzelnen Proben mit Gehalten um die Bestimmungsgrenze nachweisbar. Andere PFC wurden im Feststoff nicht nachgewiesen. In Waldböden und organischen Auflagenhorizonten werden etwas höhere Gehalte nachgewiesen als in Acker- und Grünlandböden (Abb. 4.3-1).

In den wässrigen Bodeneluat (2:1 Eluat) finden sich, unter der Maßgabe sehr niedriger Bestimmungsgrenzen für Einzelsubstanzen von ca. 0,001 µg/l, PFC unterschiedlicher Kettenlängen, überwiegend in Form von Perfluorcarbonsäuren (PFBA, PFPA, PFHxA, PFHpA), bei den Acker- und Grünlandstandorten auch langkettige Einzelstoffe (PFOA und PFOS) (Abb. 4.3-2).

Sehr geringe PFC-Gehalte sind in Oberböden in Baden-Württemberg ubiquitär nachweisbar, auch in nicht spezi-

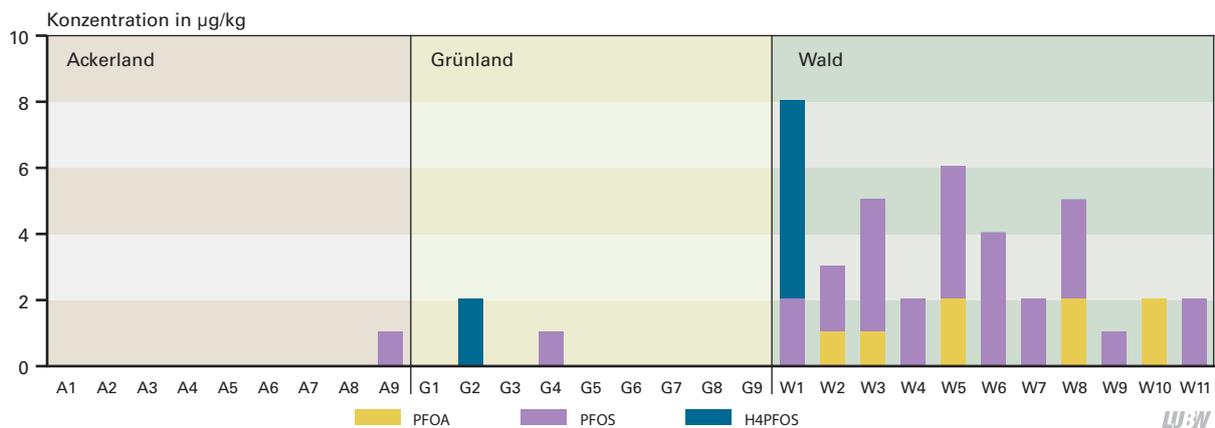


Abb. 4.3-1: PFC-Summengehalte von Feststoffproben von Hintergrundstandorten und Anteile der in den Feststoffproben nachweisbaren PFC.

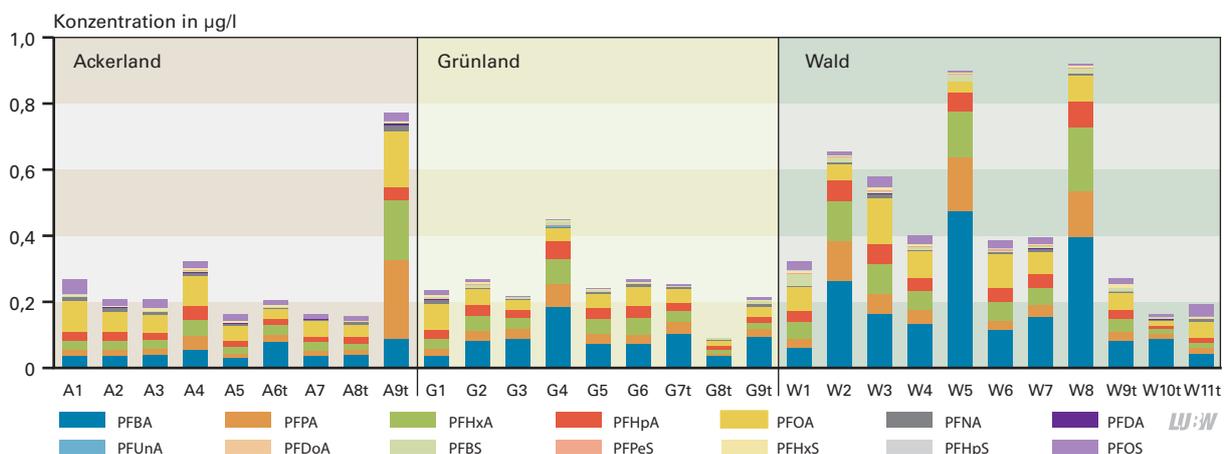


Abb. 4.3-2: PFC-Summenkonzentrationen in den wässrigen Eluaten von Hintergrundstandorten und Anteile der einzelnen PFC.

fisch belasteten, sogenannten „Hintergrundgebieten“. Selbst in Bodenproben, die von Ackerflächen aus den Jahren 1969 bis Mitte der 1970er-Jahre entnommen wurden, lassen sich geringste Spuren von PFC nachweisen. Als naheliegende Eintragsursache in Böden wird eine ubiquitäre Verteilung über den Luftpfad angenommen. Die Mediane der PFC-Summen im Eluat liegen bei den Dauerbeobachtungsflächen zwischen 0,2 bis 0,4 µg/l, bei den Bodenproben der 1970er Jahre unter 0,1 µg/l (Abb. 4.3-3).

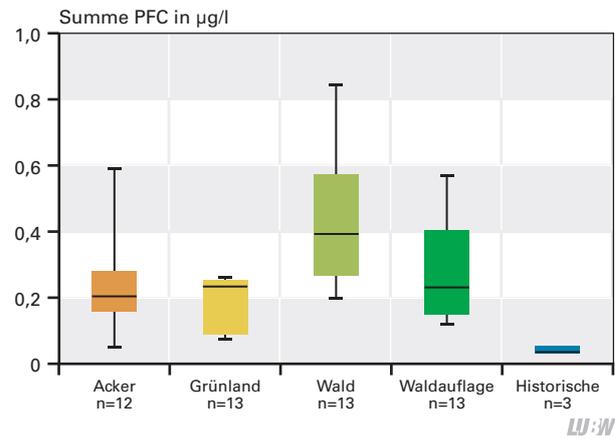


Abb. 4.3-3: Verteilung der PFC-Summenkonzentrationen in den wässrigen Eluaten.

4.4 Altlastenbearbeitung

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.

Das Land Baden-Württemberg hat bereits 1988 begonnen, die Altlastenproblematik systematisch aufzuarbeiten. 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 weitere zwanzig Jahre benötigt werden. Der Ablauf der stufenweisen Altlastenbearbeitung über Erfassung und Gefährdungsabschätzung ist in Abbildung 4.4-1 dargestellt.

4.4.1 Erfassung

Die unteren Bodenschutz- und Altlastenbehörden der Stadtkreise und Landratsämter erfassen im Rahmen der systematischen Altlastenbearbeitung flurstücksgenau alle Flächen im Bodenschutz- und Altlastenkataster (BAK), bei denen aufgrund der Aktenlage oder sonstiger Hinweise Anhaltspunkte für das Vorliegen einer Altlast bestehen.

Bis Ende 2017 waren insgesamt 103 192 Flächen erfasst. Davon konnten bisher 42 873 Flächen (41,3 %), deren Altlastenverdacht sich nicht bestätigt hat, als sogenannte A-Fälle (Altlastenverdacht ausgeräumt) ausgeschieden werden.

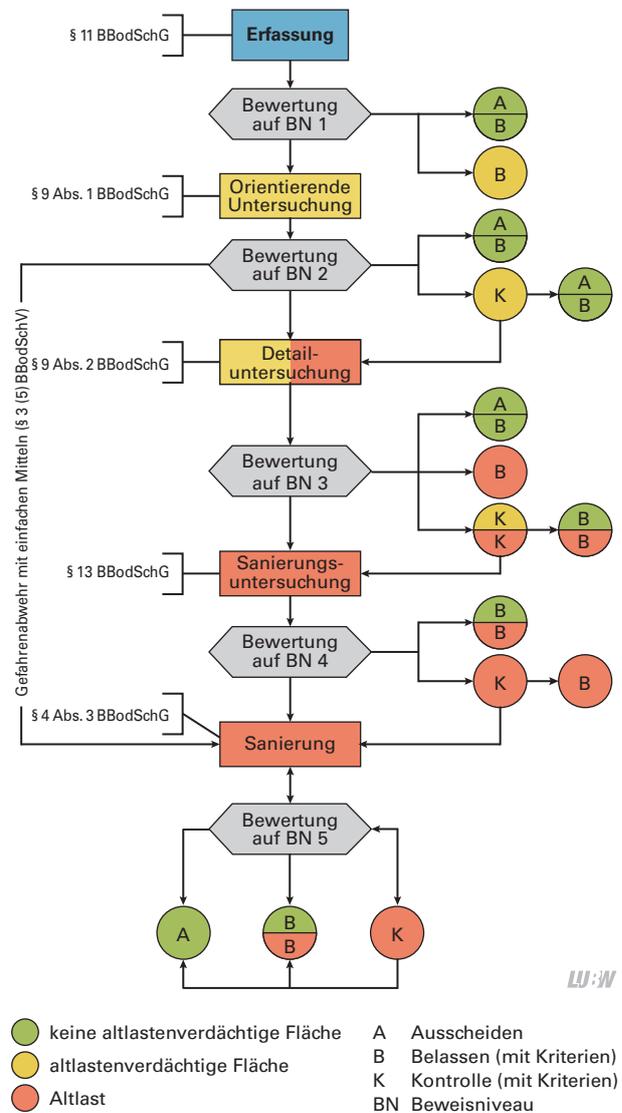


Abb. 4.4-1: Ablauf der stufenweisen Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg.

15 144 Flächen (14,6 %) sind als altlastverdächtig eingestuft, 2 651 Flächen (2,6 %) stehen als Altlasten fest (Abb. 4.4-2). Das Kataster enthält als „sonstige Flächen“ 42 524 sogenannte B-Fälle (B = Belassen, ohne Gefahrenbezug), dies sind 40,9 % aller erfassten Flächen (Abb. 4.4-2). 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 Anforderungen an eine sachgerechte Entsorgung von Aushubmaterial (Stichwort „Entsorgungsrelevanz“) besonders zu beachten.

Nachdem zwischen 2002 und 2004 die Zahl der altlastverdächtigen Flächen leicht zurückging, zeigt sich zwischen 2005 bis Ende 2017, bedingt durch die Nacherfassungsaktivitäten, eine landesweite Zunahme von rund 5000 Flächen (Abb. 4.4-3). In den letzten drei Jahren blieb die Zahl aber mehr oder weniger konstant.

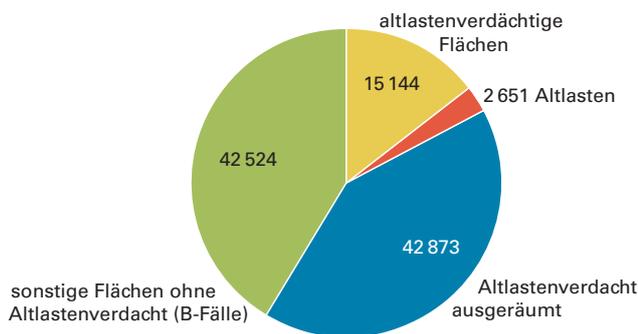


Abb. 4.4-2: Seit Beginn der Altlastenbearbeitung bis Ende 2017 erfasste Flächen.

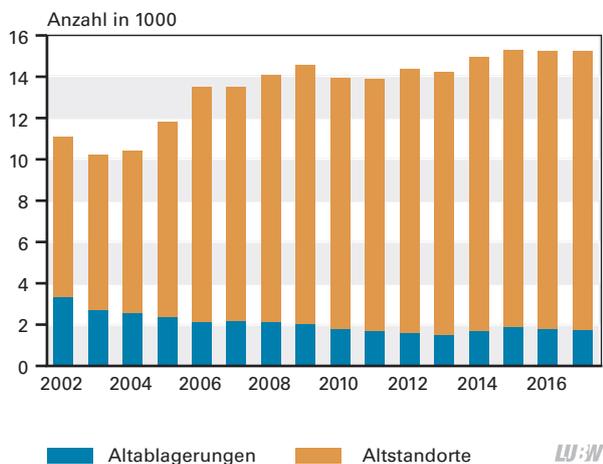


Abb. 4.4-3: Entwicklung der Zahl der altlastverdächtigen Flächen (Summe Altablagerungen und Altstandorte) zwischen 2002 und 2017.

Im Jahr 2017 waren 15 144 altlastverdächtige Flächen registriert. Altablagerungen wie ehemalige Müllkippen und Industrieabfalldeponien machen 2017 noch 11 % (1654 Flächen) der zu bearbeitenden altlastverdächtigen Flächen aus. 89 % der Flächen (13 490) sind Altstandorte.

Die jährlich wechselnde Höhe der Fallzahlen verdeutlicht, dass kontinuierlich neue Flächen erfasst, aber ebenso Untersuchungen oder Sanierungen abgeschlossen werden. Durch die Erfassung von Flächen mit neuen Schadstoffgruppen wie die poly- und perfluorierten Chemikalien (PFC) kommen weitere altlastverdächtige Fälle hinzu. Gleichzeitig zeigen die mehr oder weniger gleichbleibenden Zahlen, dass ein Ende der Altlastenbearbeitung in absehbarer Zeit nicht in Sicht ist.

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 häufig die technischen Untersuchungen abgeschlossen. Bis Ende

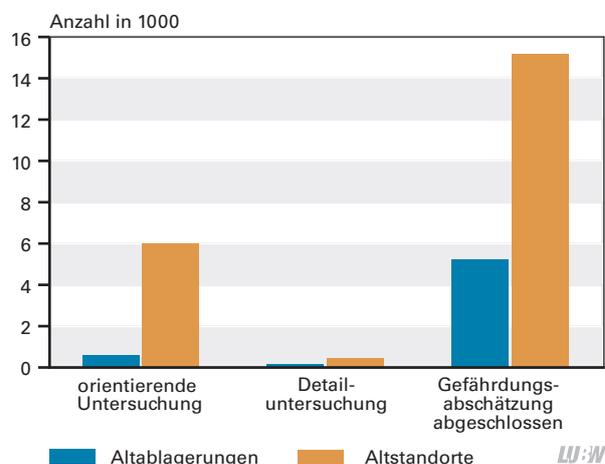


Abb. 4.4-4: Ende 2017 in Bearbeitung befindliche und abgeschlossene Gefährdungsabschätzungen.

2017 haben die unteren Bodenschutz- und Altlastenbehörden bei 20 243 Fällen, davon 15 054 Altstandorte und 5189 Altablagerungen, die Gefährdungsabschätzung abgeschlossen (Abb. 4.4-4), davon allein in den letzten drei Jahren bei 2110 Fällen. 6508 Fälle befanden sich in der orientierenden Untersuchung, 528 in der Detailuntersuchung. Alle weiteren Schritte – wie Sanierungsuntersuchung und Sanierungsplanung – zielen soweit erforderlich 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 4308 Flächen ein Sanierungsbedarf festgestellt. Bis Ende 2017 konnten davon 3765 Sanierungen abgeschlossen werden, 543 Altlasten befinden sich derzeit in der Phase der Sanierung. Viele Fälle haben dabei von Beginn der ersten Untersuchung bis zum Sanierungsbeginn eine lange Bearbeitungszeit von 20 Jahren und mehr. Auch sind nicht alle Sanierungsmaßnahmen innerhalb kurzer Zeit abgeschlossen. Gerade die Laufzeiten von hydraulischen Maßnahmen können sich über viele Jahre erstrecken. 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. 4.4-5). 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.

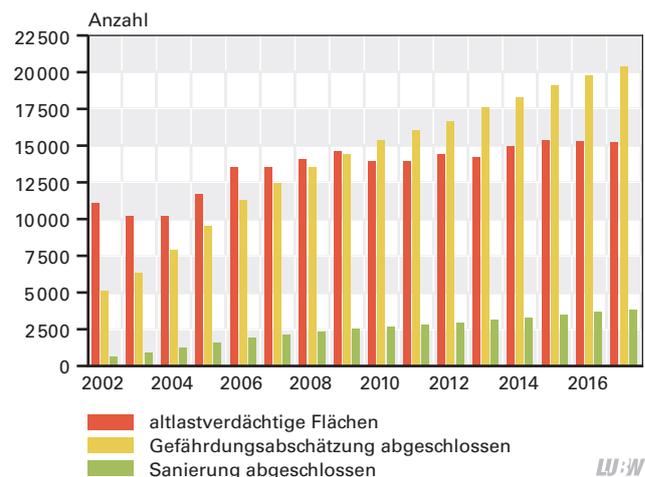
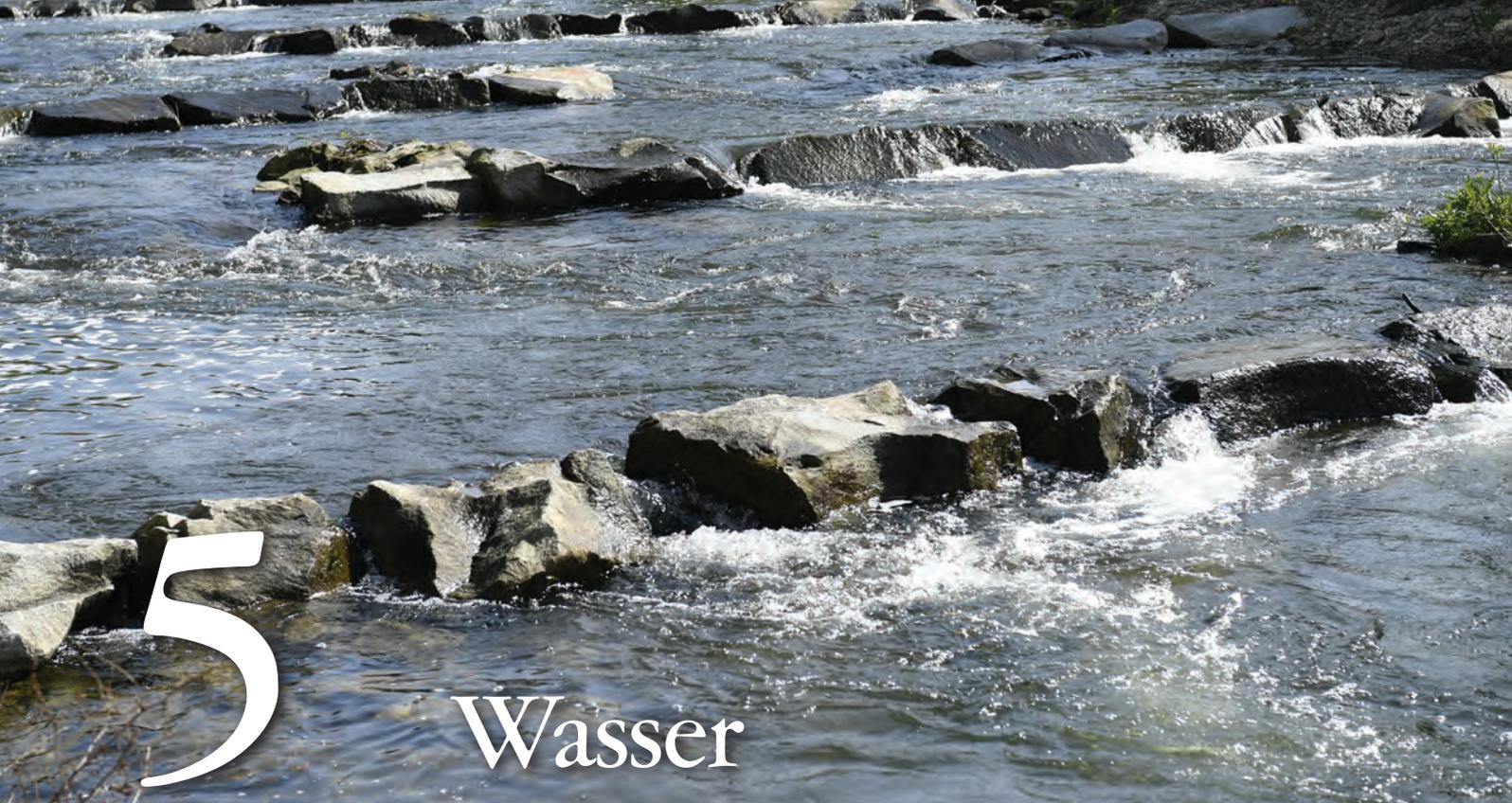


Abb. 4.4-5: Entwicklung der Sanierungen 2002 bis 2017.



Das Wichtigste in Kürze

Im **Grundwasser** stellt Nitrat weiterhin die Hauptbelastung dar. In den letzten 20 Jahren ist aufgrund landwirtschaftlicher Maßnahmen und Programme in Baden-Württemberg ein abnehmender Trend festzustellen. Auch die Pflanzenschutzmittel-funde gehen zurück. In den letzten Jahren wurden verstärkt anthropogene organische Spurenstoffe untersucht. Die höchsten Belastungen sind an Messstellen im Einflussbereich von Siedlung und Industrie zu finden.

Im **Bodensee-Obersee** liegt die mittlere Konzentration an Gesamtphosphor in einem für große nährstoffarme Alpenseen typischen Bereich und es zeigt sich eine dafür charakteristische Planktonentwicklung. Die Konzentration von anorganischem Stickstoff im Bodensee liegt aktuell in der gleichen Größenordnung wie in den Vorjahren.

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 Wanderungshindernisse. Auswertungen für Pflanzenschutzmittel ergaben lokale Überschreitungen der Umweltqualitätsnormen, wie z. B. für Neonicotinoide.

Kleine **Kläranlagen** wurden aufgrund besserer Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit an größere Anlagen angeschlossen. Deshalb nahm die Anzahl der Kläranlagen insgesamt ab. Ende 2016 gibt es in Baden-Württemberg 917 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 Abfluss-Kenngrößen in hoher räumlicher Auflösung nötig. Die LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg setzt dafür das GIS-basierte Informationssystem Abfluss-BW ein. Damit können für über 14 000 Gewässerstellen **regionalisierte Abflusskennwerte** bereitgestellt werden.

5.1 Grundwasser

Im Jahr 2016 wurden in Baden-Württemberg 70 % des Trinkwassers aus Grund- und Quellwasser gewonnen [STALA 2018]. Ziel ist es, dem Verbraucher Trinkwasser ohne, zumindest ohne aufwändige, Aufbereitung zur Verfügung zu stellen.

Um rechtzeitig Entwicklungen zu erkennen, die dieses Ziel gefährden können, muss Grundwasser sowohl in quantitativer als auch qualitativer Hinsicht beobachtet werden. Zum Grundwasserschutz wurden gezielt Gesetze und Verordnungen erlassen sowie Maßnahmen und Programme initiiert. Mittlerweile sind Erfolge feststellbar. Diese stellen sich aufgrund der langen Verweilzeiten der Schadstoffe im Untergrund allerdings oft erst nach vielen Jahren ein. So sind im Grundwasser die Belastungen mit Nitrat und insbesondere mit Pflanzenschutz- und Lösemitteln zurückgegangen.

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

Im gesamten Jahresverlauf 2017 haben landesweit Grundwasserstände und Quellschüttungen auf außergewöhnlich niedrigem Niveau für Schlagzeilen gesorgt.

5.1.1 Grundwassermessnetz

Die LUBW betreibt die Landesmessnetze Grundwassermenge und Grundwasserbeschaffenheit. Daten zur Grundwassermenge werden schon seit über 100 Jahren erhoben. Das Grundwasserbeschaffenheitsmessnetz ging 1985 in Betrieb. Ein repräsentatives Grundwassermessnetz mit den zugehörigen Mess- und Untersuchungsprogrammen sowie aktuellen Datendiensten ist ein Frühwarnsystem für großräumige Veränderungen des Grundwassers, beispielsweise durch Versauerung, Klimaveränderungen, Bewirtschaftungsänderungen und Übernutzungen. Die Ergebnisse des Messnetzes dokumentieren den aktuellen Zustand und die Entwicklung von Grundwasserqualität und -quantität; sie zeigen die Auswirkungen der Nutzungen und des hydrologischen Geschehens auf das Grundwasser [LUBW 2018a, b]. Umfangreiche Daten sind dem Land, dem Bund und der EU im Rahmen von Berichtspflichten bereitzustellen. Grundsätzlich wird das Grundwasser an allen Messstellen

mindestens einmal pro Jahr auf Nitrat, 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.

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 stark 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, Nitrit, ortho-Phosphat, 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 2013 bis 2017 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 Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln hat zu Beeinträchtigungen im Grundwasser geführt. Im Jahr 2017 wurde Nitrat an 1764 Messstellen des Landesmessnetzes untersucht.

An jeder zehnten Messstelle wird eine Überschreitung des Schwellenwerts der Grundwasserverordnung von 50 mg/l festgestellt. An jeder fünften Messstelle wird der Warnwert des Grundwasserüberwachungsprogramms von 37,5 mg/l überschritten. Bei den in Abbildung 5.1-2 dargestellten Belastungsschwerpunkten handelt es sich insbesondere um

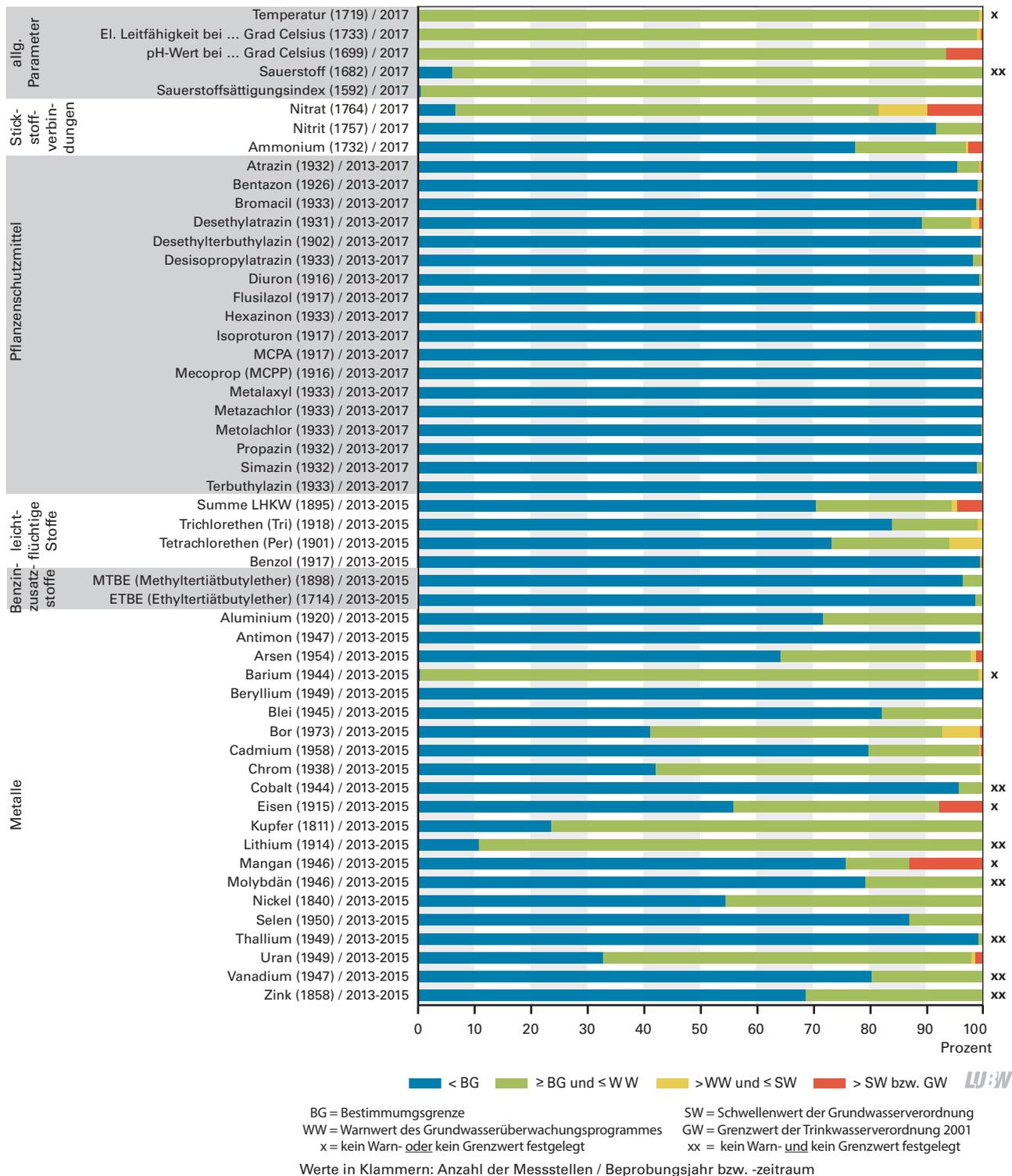
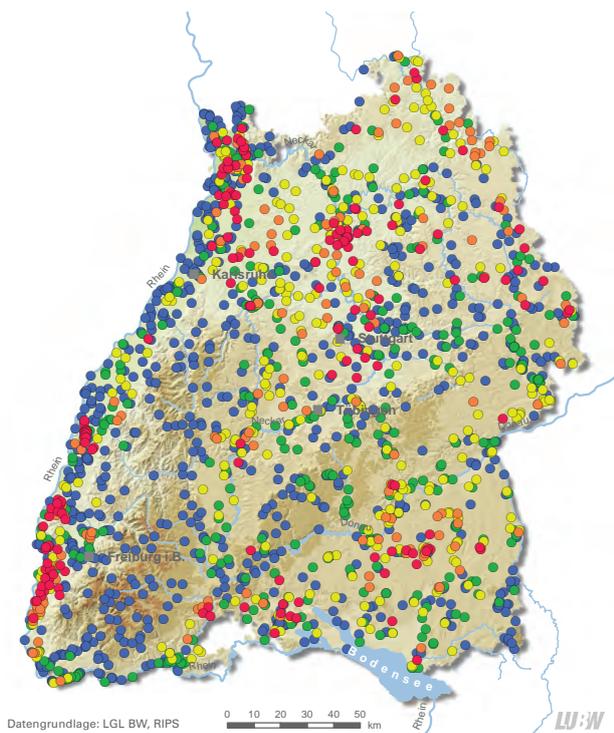


Abb. 5.1-1: Ergebnisse der Beprobungen zur Grundwasserbeschaffenheit in Baden-Württemberg 2013 bis 2017. Prozentuale Verteilung der Messwerte.

Gebiete mit erhöhtem Anteil an Ackerbau und Sonderkulturen wie Reben oder Gemüse. Die Änderung der mittleren Nitratkonzentration wird anhand von Landesmessstellen ermittelt, für die von 1994 bis 2017 durchgehend Messwerte vorliegen. Die Nitratkonzentrationen haben landesweit von 1994 bis 2017 um rund 23 % und im Zeitraum von 2001 bis 2017 um rund 16 % abgenommen.

Die Grundwasservorkommen zur Trinkwassergewinnung werden durch Ausweisung von Wasserschutzgebieten besonders geschützt. 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 Grundwas-



Nitrat Beprobung 2017 (Werte in mg/l)

- ≤ 15,0
- 15,0 - 25,0
- 25,1 - 37,5
- 37,6 - 50,0
- > 50,0

Alle Messstellen (1764 Messstellen)

Abb. 5.1-2: Konzentrationsverteilung von Nitrat in mg/l im oberflächennahen Grundwasser 2017 in Baden-Württemberg.

sers 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 Ni-

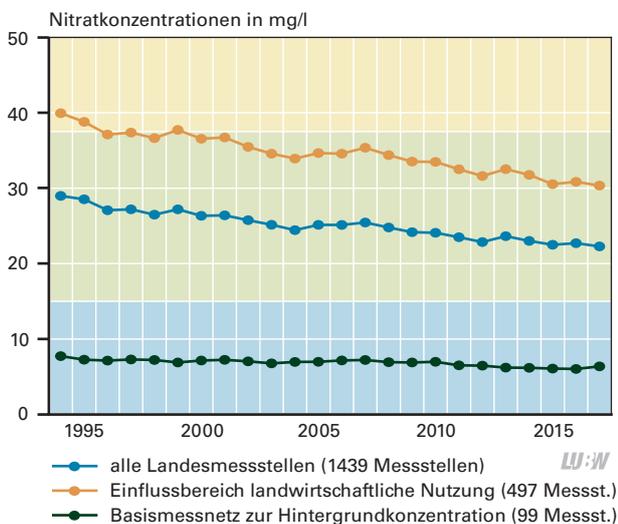


Abb. 5.1-3: Trends der mittleren Nitratkonzentrationen in Baden-Württemberg für durchgehend beprobte Messstellengruppen.

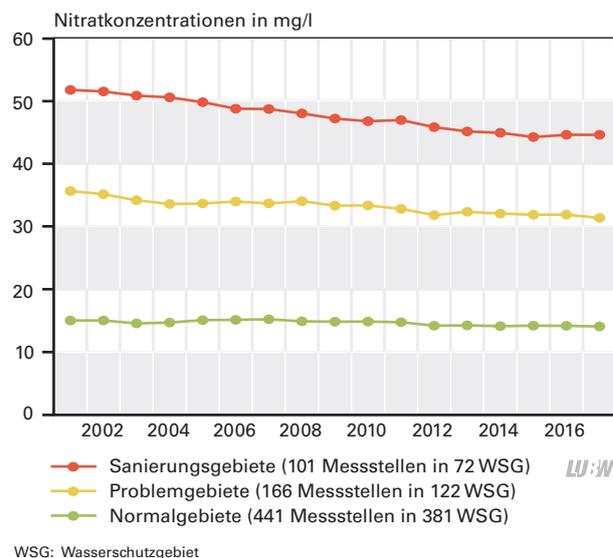


Abb.5.1-4: Trends der mittleren Nitratkonzentrationen für durchgehend beprobte Messstellen in Wasserschutzgebieten in Baden-Württemberg; Klassifizierung gemäß Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO).

tratbelastung des Grundwassers. Je nach Belastung werden diese in Gebiete mit niedriger Nitratbelastung, Problemgebiete und Sanierungsgebiete eingeteilt. Der Rückgang der mittleren Nitratkonzentration seit 2001 ist mit rund 14 % in den Sanierungsgebieten am größten. Dort gelten die strengsten Bewirtschaftungsauflagen (Abb. 5.1-4). Es folgen die Problemgebiete mit rund 12 % und die gering belasteten Normalgebiete mit etwa 6 %. Insgesamt haben die Maßnahmen zur Reduzierung der Nitratbelastung in den letzten 20 Jahren zu einer Abnahme der Nitratkonzentrationen geführt. Hierzu zählen neben der Düngeverordnung insbesondere die SchALVO in Wasserschutzgebieten sowie außerhalb von Wasserschutzgebieten auf freiwilliger Basis seit 2015 das „Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl“ (FAKT).

Pflanzenschutzmittel

Mit Stand April 2018 sind in der Bundesrepublik Deutschland 288 Pflanzenschutzmittelwirkstoffe in rund 1600 Handelsprodukten auf dem Markt. Im Jahr 2016 entfiel mit 46,6 % der mengenmäßig größte Anteil auf Herbizide, gefolgt von Fungiziden mit 37,7 % und Insektiziden mit 2,5 %. Gegenüber 2015 nahm der Gesamtinlandsabsatz an Wirkstoffen um rund 6,0 % ab. Die meisten Pflanzenschutzmittel (PSM) 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 Freilandflä-

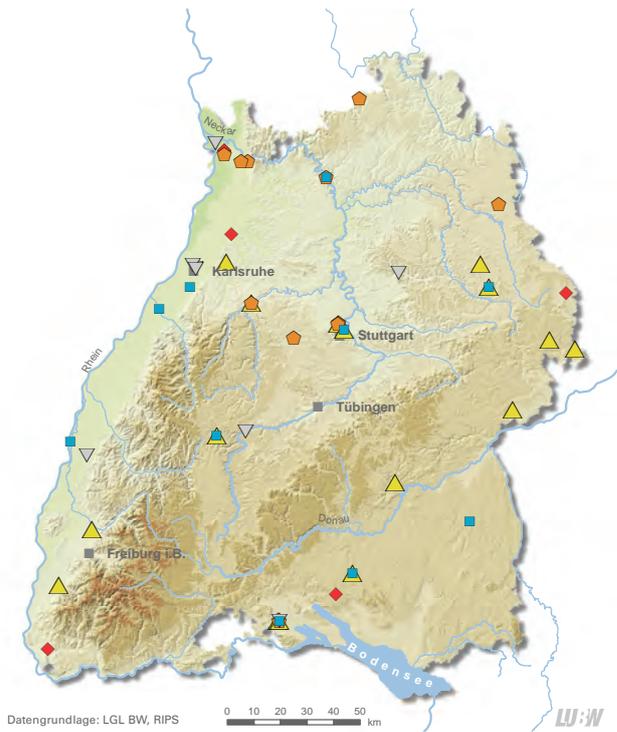
chen mit landwirtschaftlicher, gärtnerischer oder forstwirtschaftlicher Nutzung angewendet werden. Anwendungen auf Nichtkulturland, um diese Flächen z. B. zur Wahrung der Verkehrs- und Betriebssicherheit oder aus optischen Gründen von Pflanzenbewuchs freizuhalten, bedürfen nach PflSchG jeweils einer Ausnahmegenehmigung durch das zuständige Landratsamt oder Regierungspräsidium. Zur Beschreibung der Gesamtsituation bei Pflanzenschutzmitteln wurden im Zeitraum von 2013 bis 2017 an bis zu 3926 Messstellen (LUBW- und Kooperationsmessstellen der Wasserversorgungsunternehmen) die Daten von 28 häufig gemessenen Substanzen, 25 Wirkstoffen und drei Abbauprodukten (Metaboliten) ausgewertet:

- 9 Substanzen, darunter sechs zugelassene und drei nicht mehr zugelassene Wirkstoffe, wurden an keiner einzigen Messstelle nachgewiesen.
- Positive Befunde in Konzentrationen zwischen der Bestimmungsgrenze und dem Schwellenwert der Grundwasserverordnung von 0,1 µg/l lagen von sieben Stoffen vor, darunter fünf mit und zwei ohne Zulassung.
- Überschreitungen des Schwellenwerts von 0,1 µg/l werden durch 12 Stoffe verursacht, darunter vier zugelassene, fünf 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 16 von 3925 Messstellen, also an 0,4 % der Messstellen, hervorgerufen.

Überschreitungen des Schwellenwerts der GrwV von 0,1 µg/l traten im Zeitraum von 2013 bis 2017 insbesondere bei Desethylatrazin, Atrazin, Bentazon, Bromacil und Hexazinon auf (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 2017 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 fast fünfmal so viele Überschreitungen verantwortlich wie die zugelassenen Wirkstoffe. Zahlreiche Pflan-



- Atrazin
- Bromacil
- ▲ Desethylatrazin
- ▼ Hexazinon
- ◆ Bentazon

Abb. 5.1-5: Hauptbelastungen mit Pflanzenschutzmitteln in Baden-Württemberg; Datengrundlage: Landesmessstellen der LUBW und Kooperationsmessstellen der Wasserversorgungsunternehmen, pro Messstelle jeweils neuester Wert aus dem Zeitraum 2013 bis 2017. Stand: 03/2018.

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

Nicht relevante Metaboliten von Pflanzenschutzmitteln

Unter nicht relevanten Metabolite (nrM) von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen versteht man Abbauprodukte, die keine pestizide Wirkung mehr haben und hinsichtlich ihrer Human- und Ökotoxizität nicht bedenklich, aber in Grund- und Trinkwasser unerwünscht sind. Zur Beschreibung der Gesamtsituation der nichtrelevanten Metaboliten wurden im Zeitraum von 2013 bis 2017 an bis zu 3921 Messstellen die Daten von 19 Verbindungen ausgewertet:

Die mit Abstand höchsten Konzentrationen wurden bei den Metaboliten des Rübenerbizids Chloridazon und von DMS (N,N-Dimethylsulfamid), dem Metaboliten des nicht mehr zugelassenen Fungizids Tolyfluamid, gefunden. Danach folgen Metaboliten von Metolachlor, Dimethachlor und Metazachlor. Hinsichtlich der Bewertung werden die Gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) für Trinkwasser herangezogen, die das Umweltbundesamt zusammen mit dem Bundesinstitut für Risiko-

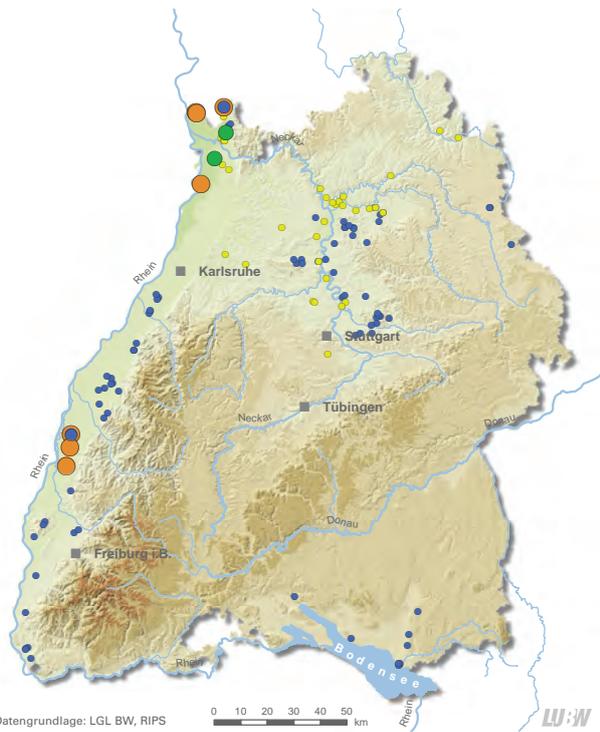


Abb. 5.1-6: Konzentrationsverteilung der nichtrelevanten Metaboliten mit Überschreitungen des Gesundheitlichen Orientierungswertes (GOW); Datengrundlage: Landesmessnetz LUBW und Kooperationsmessnetz Wasserversorgung; pro Messstelle jeweils neuester Wert aus dem Zeitraum 2013 bis 2017. Stand: 03/2018.

bewertung für zahlreiche nrM veröffentlicht hat. Zieht man die genannten GOW von 3 µg/l bzw. 1 µg/l als Vergleichsmaßstab für das Grundwasser heran, erhält man die in Abbildung 5.1-6 räumlich dargestellten Ergebnisse.

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 Vergangenheit inzwischen verbotene Pflanzenschutzmittel mit dem Wirkstoff Tolyfluanid eingesetzt wurden. Erhöhte Befunde von Desphenylchloridazon (Metabolit B) sind insbesondere im Raum Heilbronn konzentriert, dem Zentrum des Rübenanbaus in Baden-Württemberg. Weitere einzelne GOW-Überschreitungen sind bei den Metolachlor-Metaboliten NOA 413173 und CGA 380168 in den bekannten Maisanbaugebieten zu beobachten.

Weitere geogene und anthropogene Spurenstoffe

Der Parameter „Summe Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe (LHKW)“, d. h. die Summe aus Tri- und Tetrachlorethen, wurde in den Jahren 2013 bis 2015 an 1895 Messstellen untersucht. An 561 Messstellen lagen die Ergebnisse über der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l. Der Schwellenwert der Grundwasserverordnung von 10 µg/l wurde an 4,4 % 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 20 Jahren zurückgegangen. Die am häufigsten gefundenen Einzelstoffe sind Tetrachlorethen (Per) und Trichlorethen (Tri) mit Nachweisquoten von 26,7 % bzw. 16,0 % bei einer Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l. Mehr als die Hälfte der Positivbefunde zu Per und mehr als 80 % der Befunde zu Tri liegen im unteren Konzentrationsbereich von 0,1 bis 1 µg/l. Sie stellen eine „diffuse“ Hintergrundbelastung dar, die sich auch über die Jahre wenig geändert hat.

Die Belastung des Grundwassers mit **BTEX-Aromaten** (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol) ist insgesamt gering. Bei den rund 1900 im Zeitraum von 2013 bis 2015 untersuchten Messstellen wurden nur in wenigen Einzelfällen erhöhte Konzentrationen gemessen.

Bei der Untersuchung auf **Benzinzusatzstoffe** in rund 1900 Grundwassermessstellen in den Jahren 2013 bis 2015 wurden an 3,5 % der Messstellen **MTBE** (Methyltertiärbutylether) und an 1,3 % der Messstellen **ETBE** (Ethyltertiärbutylether) über der Bestimmungsgrenze von 0,05 µg/l festgestellt (Abb. 5.1-1). In diesem Zeitraum nahm die Belastung sowohl nach Messstellenanteil als auch nach Höhe der Konzentrationen gegenüber den vorangegangenen Untersuchungskampagnen 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 der Ver- und Bearbeitung von Metall oder mit der Farbpigmentherstellung zu tun haben. Von den insgesamt 24 untersuchten metallischen Spurenstoffen sind für 14 aufgrund ihrer Toxizität Schwellen- oder Grenzwerte in der Grundwasser-/Trinkwasserverordnung festgelegt. Bei Kupfer trat keine Überschreitung auf. Bei Aluminium, Antimon, Blei, Bor, Cadmium, Chrom, Nickel, Quecksilber, 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.

Ein weiterer Schwerpunkt der Untersuchungen der letzten Jahre lag auf den in Industrie und Haushalt eingesetzten organischen Spurenstoffen. **Süßstoffe** sind in großen Mengen in Getränken, Lebensmitteln und Körperpflegeprodukten enthalten, **Benzotriazole** als Korrosionsschutzmittel in Kühlflüssigkeiten und Geschirrspülmitteln. Per- und polyfluorierte Chemikalien (**PFC**) werden in der Galvanik sowie in der Oberflächenveredelung, z. B. bei Textilien und Spezialpapieren eingesetzt. In Feuerlöschschäumen sind sie seit einigen Jahren verboten. Im Jahr 2015 wurde begonnen, das gesamte Messnetz hinsichtlich dieser drei Stoffgruppen über einen Zeitraum von vier Jahren zu untersuchen. Ende 2017 waren fast 90 % der Messstellen beprobt. An 44 % der Messstellen wurden bisher Süßstoffe gefunden, an 25 % Benzotriazole, in beiden Fällen überwiegend im unteren Konzentrationsbereich bis 0,1 µg/l. Funde von Süßstoffen und Benzotriazolen im Grundwasser sind ein Hinweis auf kommunales Abwasser, insbesondere durch undichte Kanalisation oder indirekt über Uferfiltrat. In den angetroffenen Konzentrationen sind beide Stoffgruppen für den Menschen unbedenklich. Bei den PFC konnten ein oder mehrere Ver-

bindungen an bis zu 53 % der Messstellen nachgewiesen werden, allerdings in mehr als der Hälfte der Fälle in Konzentrationen unterhalb von 0,01 µg/l. Die meisten Funde traten in abwasserbeeinflusstem Grundwasser auf sowie in Bereichen, in denen in der Vergangenheit – wie beim Schadensfall Rastatt/Baden-Baden – verunreinigte Komposte auf Äcker ausgebracht wurden.

5.1.3 Grundwassermenge

Quantitatives Grundwassermessnetz

Das quantitative Grundwassermessnetz von Baden-Württemberg, das seit 1913 betrieben wird, umfasst 2358 Messstellen (Stand: Februar 2018) 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 235 Trendmessstellen zum Grundwasserstand, rund 130 ausgewählten Quellen sowie 30 Ly-simeteranlagen (Anlagen zur Erfassung der Sickerwassermengen) gewährleistet. Weitere Informationen enthalten die jährlich erscheinenden Berichte zum Grundwasserüberwachungsprogramm (www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Wasser > Grundwasser) sowie die monatlich aktualisierte Grundwasserinformationsdienst GuQ – Grundwasserstände und Quellschüttungen (guq.lubw.baden-wuerttemberg.de).

Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Die Grundwasserneubildung aus Niederschlag ist landesweit und regional die bedeutendste Zuflusskomponente des Grundwasserhaushalts. Sie hängt von der jahreszeitlichen, längerfristigen und auch räumlichen Variabilität des Niederschlags ab. Die Niederschläge beeinflussen aufgrund ihrer Sickerzeiten durch die Deckschichten zeitverzögert die Grundwasservorräte.

Im Zeitraum von 2015 bis 2017 waren die landesweiten mittleren Niederschläge deutlich unter dem Durchschnitt im Vergleich zum Referenzzeitraum der Jahre 1981 bis 2010 (Abb. 5.1-7). Diese niedrigen Mittelwerte verbergen allerdings starke monatliche Kontraste, beispielsweise hohe Niederschläge im Januar und November 2015, im ersten Halbjahr 2016 sowie im Juli und November 2017. Besonders ungewöhnlich waren die langen Zeiträume mit geringen Niederschlagsmengen in Som-

mer/Herbst 2015 und im ausgedehnten Zeitraum von Juli 2016 bis Juni 2017. Zwei Monate waren besonders niederschlagsarm, nämlich der Februar 2015 und der trockene Dezember 2016.

Die ergiebigen Niederschläge im Januar 2015 haben für hohe Grundwasserneubildungsraten bis in das Frühjahr hinein gesorgt. Damit wurden die ansonsten defizitären Verhältnisse in der ersten Jahreshälfte ausgeglichen. Im weiteren Jahresverlauf gingen die Versickerung und damit auch die Grundwasservorräte landesweit zurück. Zum Jahresende füllten starke Regenfälle im November den Bodenwasserspeicher wieder auf und setzten die Sickerwasserbildung wieder in Gang. Das Winterhalbjahr 2016 war insgesamt sehr niederschlagsreich und damit neubildungsintensiv. Aufgrund der andauernden Trockenheit im darauffolgenden Sommer blieb die Sickerung ab dem Herbst allerdings weitgehend aus.

Auf das nasse Winterhalbjahr 2016 folgten einige trockene Monate, sodass für etwa ein Jahr lang bis zum Winterbeginn 2017/18 keine nennenswerte Neubildung stattfand. Das anhaltende Niederschlagsdefizit führte bis zum Spätherbst 2017 zu rückläufigen Versickerungen und Grundwasservorräten. Erst überdurchschnittliche Niederschläge zum Jahresende konnten den Versickerungsprozess wieder anstoßen und einen Wiederanstieg der Grundwasserstände bewirken (Abb. 5.1-8).

Grundwasservorräte

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

Im Jahr 2015 entsprachen die Grundwasserstände und Quellschüttungen langjährigen, leicht unterdurchschnittlichen Verhältnissen. Nach ansteigenden Verhältnissen bis in den Mai verlief das Jahr 2015 anschließend außergewöhnlich stark rückläufig. Der Winter 2016 brachte verhältnismäßig hohe Niederschlagsmengen, was zu einem Anstieg des Grundwasserstandes auf ein hohes Niveau im gesamten Land führte. In der zweiten Jahreshälfte setzte eine Tendenzumkehr mit deutlich rückläufigen Verhältnissen ein.

Im Jahr 2017 konnten sich die Grundwasservorräte aufgrund geringer Niederschläge zu Jahresbeginn nicht wie gewöhnlich im Winter erholen und entwickelten sich im Jahresverlauf anhaltend rückläufig. Landesweit wurden im Herbst dadurch vielerorts extrem niedrige Verhältnisse erreicht, wie sie in den historischen Trockenperioden Mitte der 1970er-Jahre und 2003 beobachtet wurden. Dank ergiebiger Novemberrniederschläge setzte zum Jahresende noch eine deutliche Erholung der Grundwasservorräte ein. In den meisten Landesteilen hat sich die Grundwassersituation dadurch etwas entspannt. Trotz dieser Entwicklung zum Jahresende wird das Jahr 2017 insgesamt durch sehr unterdurchschnittliche Grundwasserverhältnisse charakterisiert.

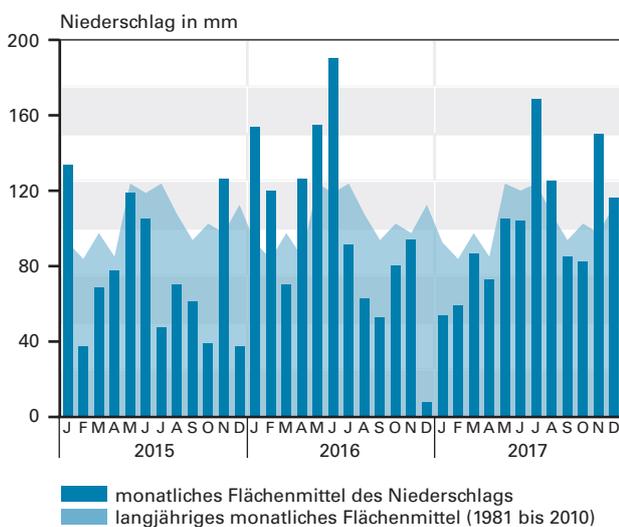


Abb. 5.1-7: Mittelwert des Niederschlags für Baden-Württemberg. Quelle: Deutscher Wetterdienst.

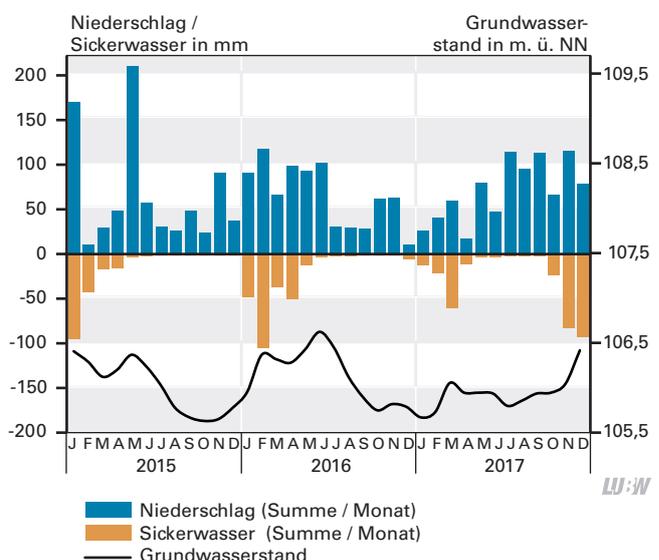


Abb. 5.1-8: Niederschlag, Sickerung und Grundwasserstand an der Lysimeteranlage Rielasingen im Singener Becken.

5.2 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.

5.2.1 Ökologischer Zustand

Biologische Komponenten

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 gewässertypspezifischen Referenzzustand. Bei der Bewertung des ökologischen Zustandes sind unterstützend

- hydromorphologische Komponenten sowie
- chemisch-physikalische Komponenten

heranzuziehen und die flussgebietspezifischen Schadstoffe zu berücksichtigen. Fortgeschrieben wird die Bewertung des ökologischen Zustandes alle sechs Jahre im Rahmen der Aktualisierung der Bewirtschaftungspläne. Daher liegen für die oben genannten biologischen Qualitätskomponenten die neuen Untersuchungsergebnisse erst 2019 vor, sodass eine Fortschreibung der Umweltdaten 2018 für den ökologischen Zustand nicht erfolgen kann. Die Ergeb-

nisse aus den Jahren 2011 bis 2013 zu den einzelnen biologischen Qualitätskomponenten sind in den Umweltdaten 2015 ausführlich dargestellt.

Hydromorphologische Komponenten

Zu den hydromorphologischen Qualitätskomponenten bei Fließgewässern zählen die Durchgängigkeit, die Morphologie und der 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 kontinuierlich fortgeschrieben. Zur Verbesserung der Datengrundlage für die Morphologie wurde 2010 bis 2014 eine landesweite Gewässerstrukturkartierung nach dem Feinverfahren Baden-Württembergs durchgeführt. Dabei wurden die in Tab. 5.2-1 aufgeführten Hauptparameter erhoben. Ziel ist es, einen landesweit aktuellen Überblick über die hydromorphologischen Komponenten zu erhalten. Die Vor-Ort-Kartierung der Gewässerstruktur nach dem Feinverfahren umfasst ca. 14 500 km Gewässerstrecke (Stand 2017). Die Gewässerstrukturdaten werden jährlich durch Kartierungsdaten aus der Gewässerentwicklungsplanung und Maßnahmendurchführung ergänzt.

In Baden-Württemberg sind nach der 7-stufigen Klassifikation 29,6 % der Gewässerstrecken in einem unveränderten, gering veränderten und mäßig veränderten Zustand (Struk-

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)

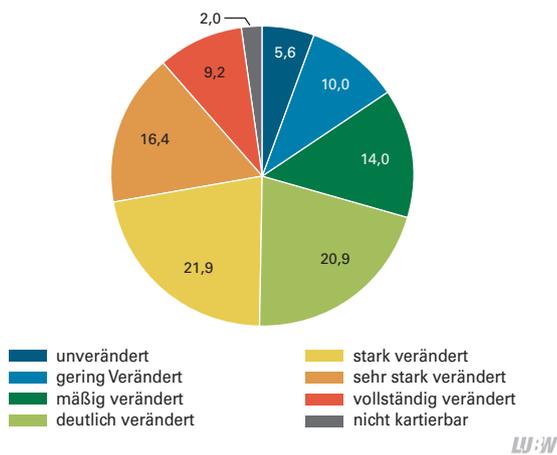


Abb. 5.2-1: Strukturklassen bezogen auf die insgesamt kartierten Gewässerstrecken in Baden-Württemberg. Stand 2017.

turklassen 1 bis 3), dies entspricht einer Gewässerlänge von 4305 km. 42,8 % der Gewässerstrecken mit einer Gewässerlänge von 6230 km sind in die Strukturklassen 4 und 5 (deutlich verändert/stark verändert) eingestuft. Die naturfernen Gewässerstrecken mit den schlechten Strukturklassen 6 und 7 und die nicht kartierbaren Gewässerstrecken machen 27,6 % aus (Abb. 5.2-1).

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. In der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) sind für aussagekräftige Kenngrößen nach Gewässertypen differenzierte Orientierungswerte festgelegt. 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 2014 bis 2016 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 2016.

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



Abb. 5.2-2: Naturnahes Gewässer mit guter Gewässerstruktur. Foto: LUBW.

In Rhein und Neckar ist gegenüber Anfang der 1970er-Jahre ein Anstieg der gemessenen Maximaltemperaturen feststellbar (Abb. 5.2-3), der im Wesentlichen auf gestiegene Lufttemperaturen zurückzuführen ist (Klimawandel, vgl. Kap. 2.2). In den letzten 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.

Der **Sauerstoffhaushalt** der Fließgewässer wird einerseits aufgrund der Belastung durch biologisch leicht abbaubare Stoffe und deren Abbauprozesse im Gewässer sowie andererseits durch die Wiederbelüftung durch turbulentes Fließverhalten bestimmt. Die Belastung des Gewässers durch sauerstoffzehrende Substanzen kann durch den „biochemischen Sauerstoffbedarf in 5 Tagen“ (BSB₅) charakterisiert werden. Höhere BSB₅-Belastungen treten vorwiegend in Gewässern auf, die einen hohen Abwasseranteil haben oder unzureichend gereinigte Abwässer aufnehmen. Insbesondere bei ungenügender Regenwasserbehandlung und bei Überlastung von Kläranlagen oder bei Störungen im Klärbetrieb können größere Mengen sauerstoffzehrender Stoffe in die Gewässer eingetragen werden. Auch durch Starkniederschlagsereignisse können sauerstoffzehrende Substanzen in Gewässer gelangen. In Baden-Württemberg wird der gewässertypspezifische Orientierungs-

wert der OGewV 2016 an weniger als 1 % der Messstellen überschritten (Abb. 5.2-4).

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 73 %, im Neckar 84 % und in der Donau bei allerdings kürzerer Beobachtungszeit 40 % (Abb. 5.2-5). An 61 % der Messstellen, an denen eine Trendbeurteilung möglich ist, zeigt sich auch in den letzten Jahren

ein weiterer Belastungsrückgang. An den übrigen 39 % der Messstellen stagnieren die Gehalte auf vergleichsweise niedrigem Niveau.

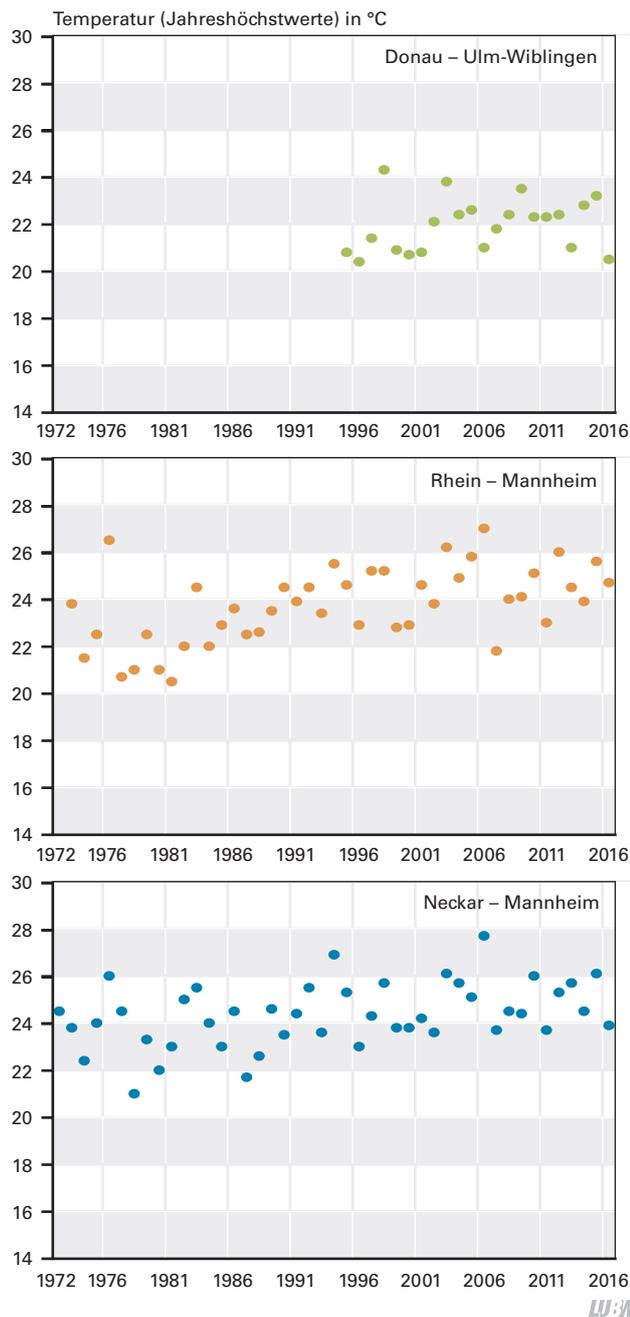
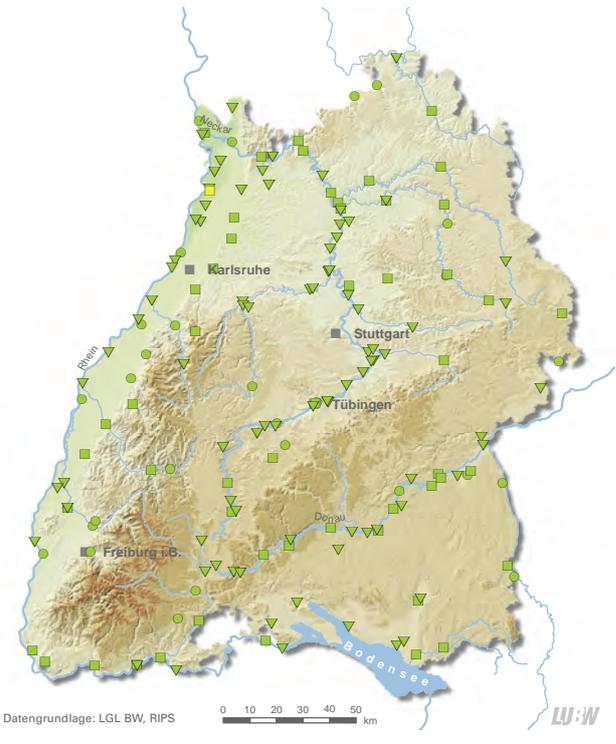


Abb. 5.2-3: Entwicklung der Jahreshöchstwerte der Wassertemperatur (Stundenwerte aus kontinuierlichen Messungen) von Rhein, Neckar und Donau.



- | | | |
|---------|---------------------------------------|---|
| Zustand | ● gut (Orientierungswert eingehalten) | ■ nicht gut (Orientierungswert überschritten) |
| Trend | ▲ ansteigend | ■ nicht signifikant |
| | ▼ abnehmend | ○ zu wenige Daten |

Abb. 5.2-4: Belastung der Fließgewässer durch sauerstoffzehrende Stoffe in Baden-Württemberg (gemessen als BSB₅, Zustand anhand der Mittelwerte aus den Jahren 2014 bis 2016, Trend der Jahressmittelwerte von 2000 bis 2016).

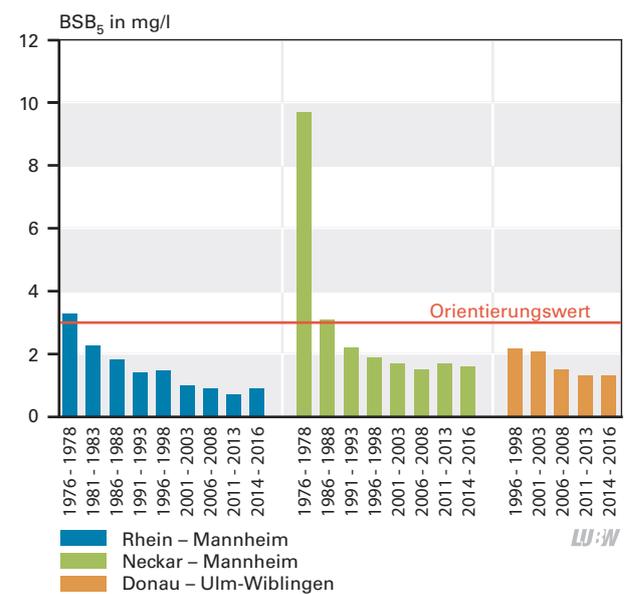


Abb. 5.2-5: Langjährige Entwicklung der Belastung durch sauerstoffzehrende Stoffe in Rhein, Neckar und Donau, gemessen als BSB₅ (Mittelwerte), Orientierungswert (OGewV 2016).

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 spielt hier auch das übermäßige Pflanzenwachstum, hervorgerufen durch Nährstoffeinträge aus Abwasser und Landwirtschaft, eine Rolle. Für den gestauten Neckar wurde daher das sogenannte „Sauerstoffreglement Neckar“ eingerichtet, um einem Absinken der Sauerstoffgehalte auf fischkritische Werte entgegenzuwirken (vgl. Kap. 10.6).

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 Entlastung von Regenüberlaufbecken 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 16 % der Messstellen des Landes Ammoniumgehalte über dem Orientierungswert der OGewV 2016 von 0,1 mg/l Ammonium-Stickstoff auf (Abb. 5.2-6).

Auch die Ammoniumbelastung der Gewässer ist durch die ergriffenen Sanierungsmaßnahmen bei der Abwasser- und Regenwasserbehandlung in den letzten Jahrzehnten stark reduziert worden: im Rhein um 91 %, im Neckar um 98 % und in der Donau um 64 % (Abb. 5.2-7).

In den letzten Jahren wurden an 41 % der Messstellen weiter abnehmende Gehalte festgestellt; 59 % der Messstellen weisen keinen einheitlichen Trend auf.

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 von landwirtschaftlich genutzten Flächen eingetragen.

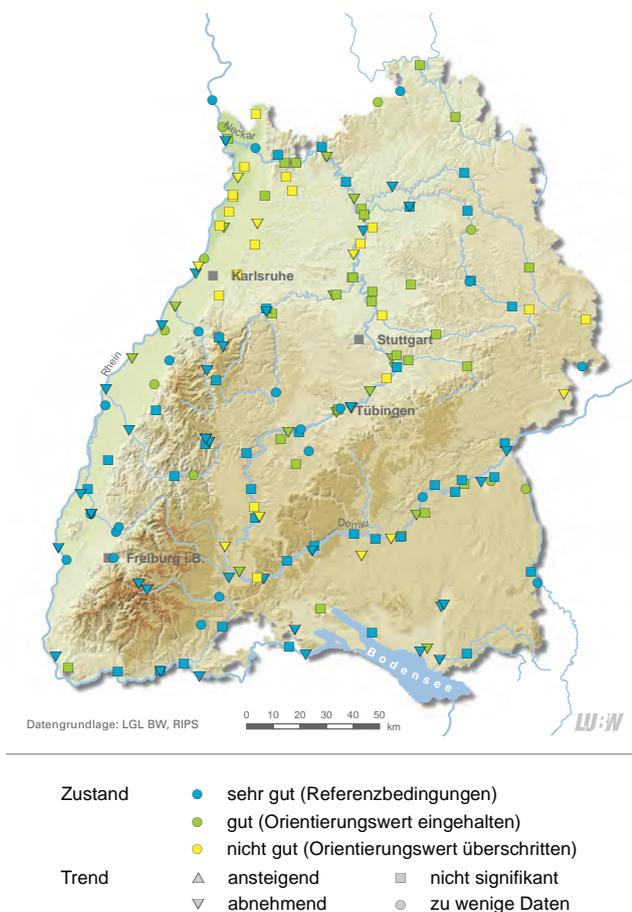


Abb. 5.2-6: Belastung der Fließgewässer mit Ammonium (Zustand anhand der Mittelwerte aus den Jahren 2014 bis 2016, Trend der Jahresmittelwerte von 2000 bis 2016).

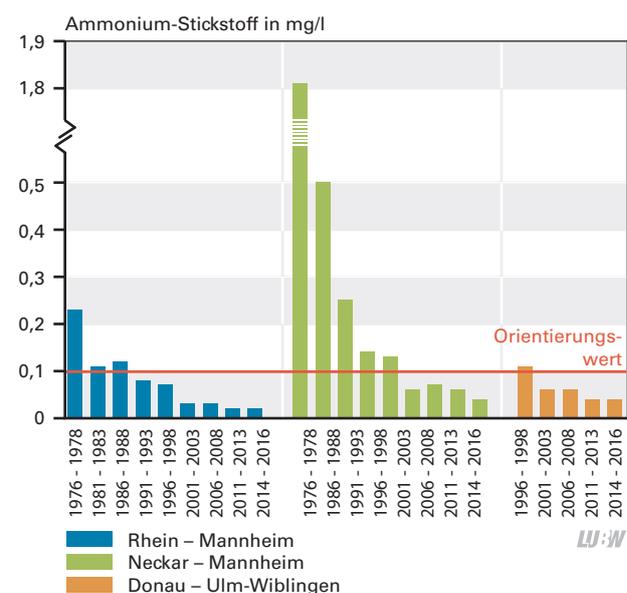
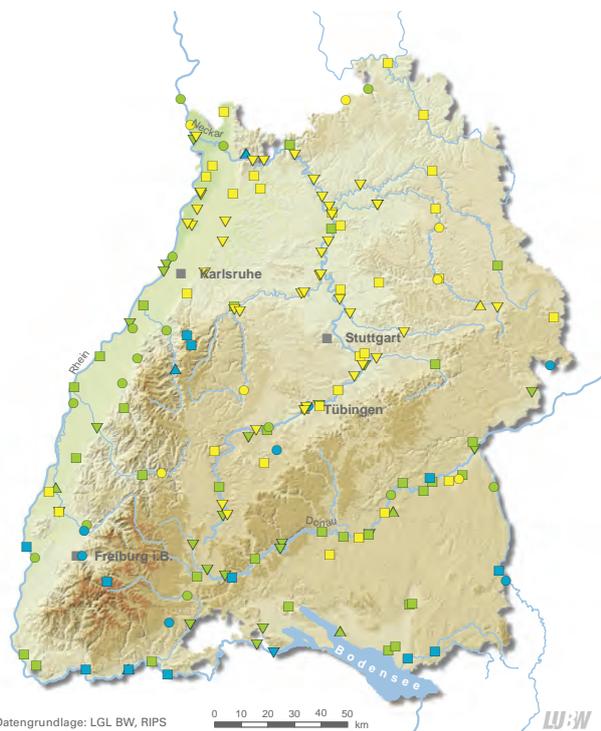


Abb. 5.2-7: Ammonium-Stickstoffkonzentration in Rhein, Neckar und Donau (Mittelwerte), Orientierungswert (OGewV 2016).

Die nach Gewässertyp differenzierten Orientierungswerte der OGewV 2016 von 0,05 mg/l, 0,07 mg/l und 0,1 mg/l Ortho-Phosphat-Phosphor werden an 45 % der Messstellen und somit in weiten Landesteilen überschritten (Abb. 5.2-8). Um die Eutrophierung zu reduzieren und den guten ökologischen Zustand für die pflanzlichen Komponenten zu erreichen, kommt der weiteren Reduktion der Phosphateinträge eine hohe Bedeutung zu. 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, Neckar und Donau zeigt die langjährige Beobachtung einen Rückgang von 82 %, 92 % bzw. 15 % für den aus der Wasserphase aufnehmbaren pflanzenverfügbaren Phosphor (Ortho-Phosphat-Phosphor), verglichen mit den Werten zu Beginn der Messungen Anfang der 1970er-Jahre (Abb. 5.2-9).



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

Abb. 5.2-8: Belastung der Fließgewässer durch Phosphat in Baden-Württemberg (Zustand anhand der Mittelwerte aus den Jahren 2014 bis 2016, Trend anhand der Mittelwerte aus den Jahren 2000 bis 2016).

An 44 % der Messstellen nahm in den letzten Jahren die Phosphatbelastung weiter signifikant ab. Dagegen weisen 51 % der Messstellen stagnierende und 5 % der Messstellen sogar zunehmende Gehalte auf.

Nitrat, die mengenmäßig bedeutendste Stickstoffverbindung in Fließgewässern, trägt als Pflanzennährstoff in den Fließgewässern nicht maßgeblich zur Eutrophierung bei. Limitierender Faktor der Eutrophierung in Fließgewässern ist in der Regel Phosphor. Nitrat wird aber in den aufnehmenden Küstengewässern und Meeren für die dort beobachtbaren Eutrophierungserscheinungen verantwortlich gemacht. Es wird aus kommunalen Kläranlagen und zu einem erheblichen Anteil auch diffus über Abschwemmungen und über das Grundwasser in die Fließgewässer eingetragen.

Die in der OGewV 2016 festgelegte Umweltqualitätsnorm (UQN) 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. Der Gesamtstickstoffgehalt im Jahresmittel an der Messstation Worms kurz unterhalb der Landesgrenze unterschreitet den Wert von 2,8 mg/l in den letzten 15 Jahren.

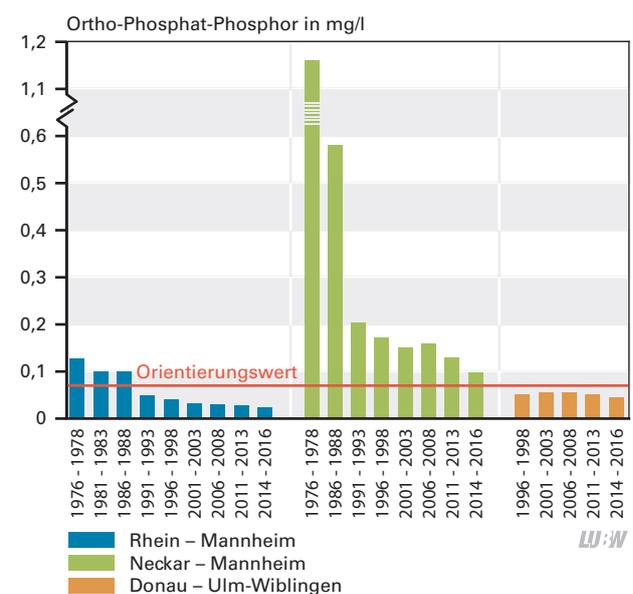


Abb. 5.2-9: Phosphatkonzentrationen (Ortho-Phosphat-Phosphor) in Rhein, Neckar und Donau (Mittelwerte), Orientierungswert (OGewV 2016).

Die Nitratgehalte in den Flüssen haben landesweit bis Ende der 1980er-Jahre zugenommen. Danach erfolgte eine Trendumkehr zu abnehmenden Gehalten. So konnten ge-

genüber den 1980er-Jahren die Nitratgehalte im Rhein um 26 %, im Neckar um 35 % und in der Donau bei allerdings kürzerer Beobachtungszeit um 7 % reduziert werden (Abb. 5.2-10). 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. Landesweit zeigt sich, dass in den letzten Jahren die Nitratgehalte an 42 % der Messstellen weiter abnahmen, an 54 % der Messstellen stagnierten und an 4 % der Messstellen anstiegen (Abb. 5.2-11).

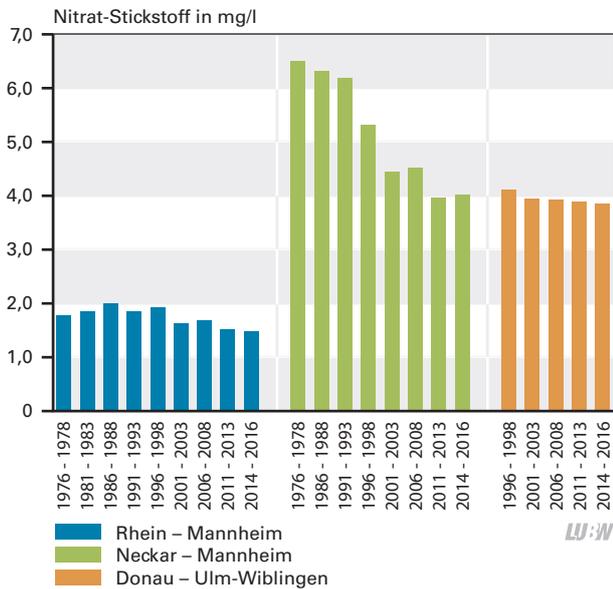
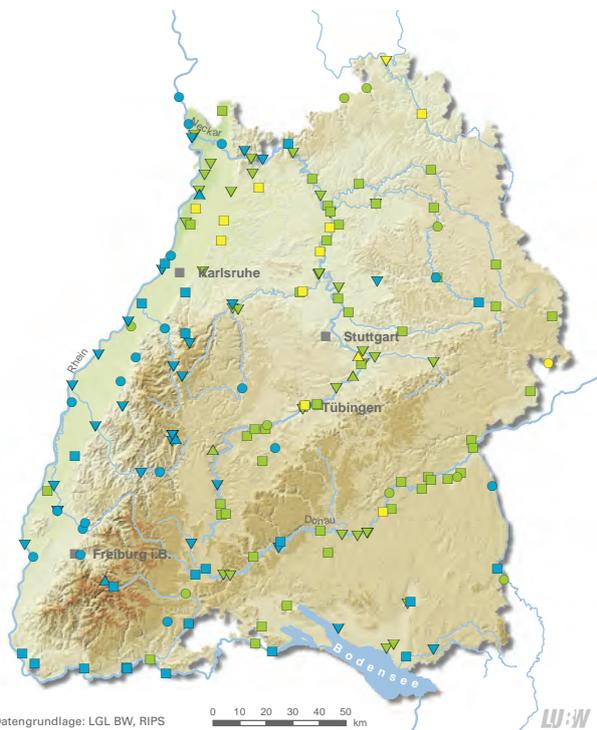


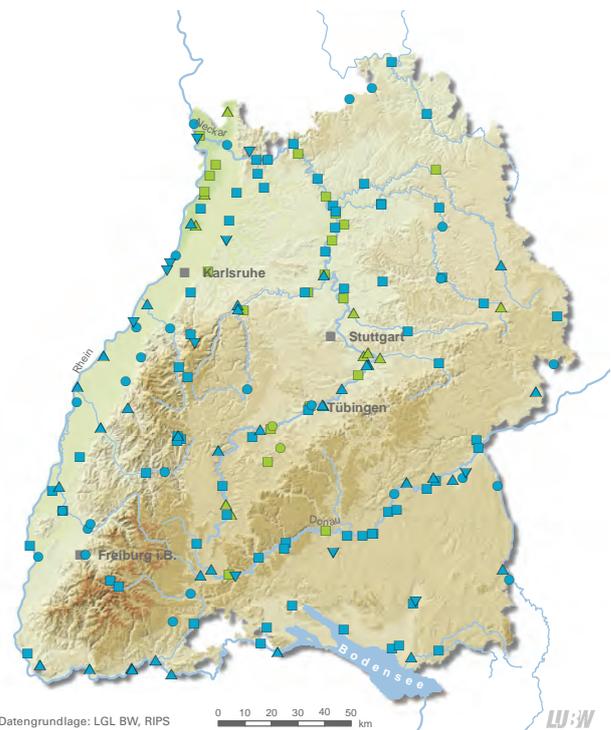
Abb. 5.2-10: Nitrat-Stickstoffkonzentrationen in Rhein, Neckar und Donau (Mittelwerte).

Hohe **Salzgehalte** können zur Beeinträchtigung aquatischer Organismen 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 OGewV 2016 von 200 mg/l Chlorid eingehalten (Abb. 5.2-12).



- | | | | |
|---------|-----------------------|------------------------------|---|
| Zustand | ● ≤ 2,8 mg/l Nitrat-N | ● > 2,8 - 5,65 mg/l Nitrat-N | ● > 5,65 - 11,3 mg/l Nitrat-N (erhöhter Nitratgehalt) |
| Trend | ▲ ansteigend | ■ nicht signifikant | ● zu wenig Daten |
| | ▼ abnehmend | | |

Abb. 5.2-11: Belastung der Fließgewässer durch Nitrat in Baden-Württemberg (Zustand anhand der Mittelwerte aus den Jahren 2014 bis 2016, Trend der Jahresmittelwerte 2000 bis 2016).



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

Abb. 5.2-12: Belastung der Fließgewässer durch Chlorid in Baden-Württemberg (Zustand anhand der Mittelwerte aus den Jahren 2014 bis 2016, Trend der Jahresmittelwerte 2000 bis 2016).

Im Oberrhein ist die Salzbelastung gegenüber Mitte der 1980er-Jahre um nahezu 85 % 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 rund 60 % zurückgegangen. Die Salzbelastung der Donau ist seit Beginn der Messungen vergleichsweise gering (Abb. 5.2-13).

In den letzten Jahren werden an 30 % der Messstellen ansteigende Chloridgehalte beobachtet. Neben Streusalzen tragen hierzu auch Industriebetriebe und Enthärtungsanlagen zur Trinkwasseraufbereitung bei.

Zu einer Versauerung der Gewässer führen luftgetragene **Säureeinträge** in Naturräumen, deren Böden natürlicherweise nur schwach gepuffert sind. In Gewässern mit einem Einzugsgebiet über 10 km² wird der nach verschiedenen Gewässertypen differenzierte Orientierungswert (OGewV 2016) 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 anstei-

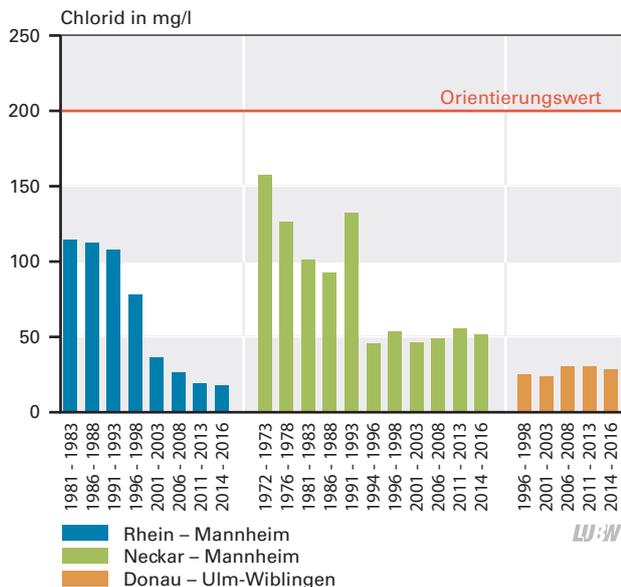


Abb. 5.2-13: Chloridkonzentrationen in Rhein, Neckar und Donau (Mittelwerte), Orientierungswert gemäß OGewV 2016.

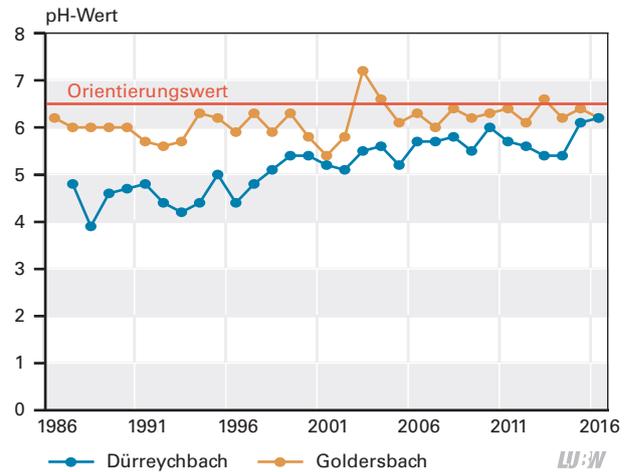


Abb. 5.2-14: Entwicklung der pH-Werte in Goldersbach und Dürreychbach (jährliche Minima), Orientierungswert (OGewV 2016).

genden pH-Werten in Abbildung 5.2-14, in welcher exemplarisch die langjährigen Daten für den Oberlauf des im Südschwarzwald gelegenen Goldersbach und für den im Nordschwarzwald gelegenen Dürreychbach dargestellt sind.

Flussgebietspezifische Schadstoffe

In Deutschland sind für eine Vielzahl von Schadstoffen, die nach WRRL als „flussgebietspezifische Schadstoffe“ bezeichnet werden, rechtsverbindliche, nationale Umweltqualitätsnormen (UQN) in der Oberflächengewässerverordnung festgelegt. Diese sind in den Bewirtschaftungsplänen bei der ökologischen Zustandsbewertung zu berücksichtigen. Mit der im Jahr 2016 novellierten Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016) wurde das Spektrum der flussgebietspezifischen Schadstoffe durch Streichung nicht mehr relevanter Stoffe und durch die Aufnahme neuer Stoffe angepasst. Zudem wurden die UQN mehrerer Stoffe verschärft. Alle sechs Jahre werden die Bewirtschaftungspläne aktualisiert. Die letzte Bewertung liegt in den Bewirtschaftungsplänen 2015 und den Umweltdaten 2015 vor. Die Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme für die einzelnen Bearbeitungsgebiete sind auf der Internetseite des Umweltministeriums abrufbar. Im Jahr 2019 wird eine umfassende Aktualisierung der Bewertung der Belastung mit flussgebietspezifischen Schadstoffen in Baden-Württemberg auf der Datenbasis der Jahre 2016 bis 2018 erfolgen.

Für die Jahre 2014 bis 2016 wurden landesweit erste Auswertungen für die in der OGewV 2016 geregelten Pflanzenschutzmittel vorgenommen. Von sechs erstmals geregelten Pflanzenschutzmitteln kommt es bei zwei Stoffen zu Über-

schreitungen der UQN in der Wasserphase, auf welche im Folgenden näher eingegangen wird.

Imidacloprid ist ein weltweit eingesetztes Insektizid aus der Gruppe der Neonicotinoide. Letztere gehören zur Stoffklasse der Insektizide und werden hauptsächlich zur Beizung von Saatgut und als Spritzmittel in der Landwirtschaft eingesetzt. Die neu geregelte Jahresdurchschnitts-UQN für Imidacloprid von $0,002 \mu\text{g/l}$ wird an 36 % der untersuchten Messstellen in Baden-Württemberg überschritten (Abb. 5.2-15).

Der als Herbizid im Maisanbau eingesetzte Wirkstoff **Nicosulfuron** überschreitet die Jahresdurchschnitts-UQN von $0,009 \mu\text{g/l}$ in der Jagst, dem Kocher, dem Stehenbach, der Kanzach, der Tauber und dem Neckar. Gleichzeitig kommt es zu Überschreitungen der zulässigen Höchstkonzentration von $0,09 \mu\text{g/l}$ in der Jagst, dem Kocher, der Kander, der Ostrach, der Kanzach und der Tauber.

5.2.2 Chemischer Zustand

Der chemische Zustand wird anhand der prioritären und bestimmten anderen Schadstoffe und Schadstoffgruppen, für die EU-weit einheitliche Umweltqualitätsnormen

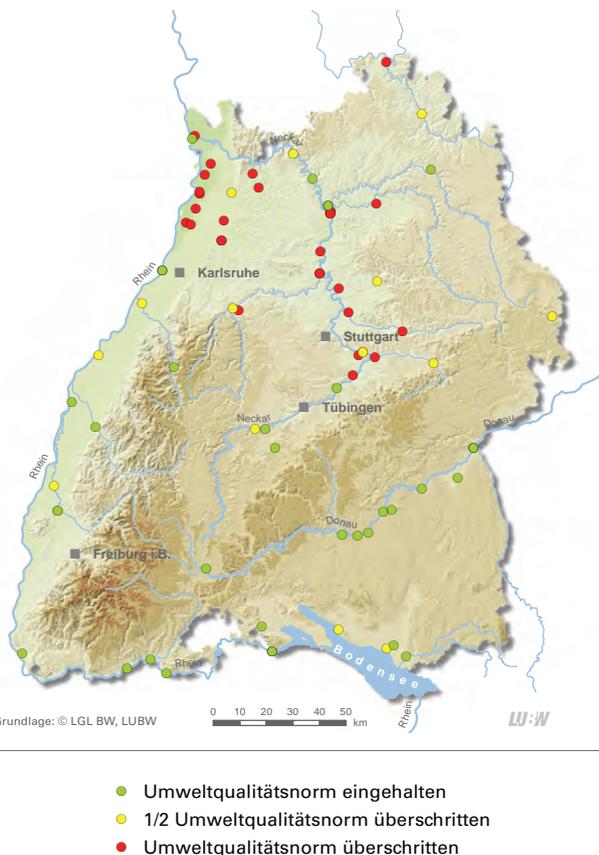


Abb. 5.2-15: Belastung der Fließgewässer in Baden-Württemberg durch Imidacloprid (Zustand anhand der Mittelwerte der Jahre 2014 bis 2016).

(UQN) geregelt wurden, sowie Nitrat bewertet. Auch hier kam es durch die Novellierung der Oberflächengewässerverordnung bei einigen Stoffen zu einer Verschärfung der Bewertungsgrundlage und zu einer Erweiterung des Stoffspektrums (OGewV 2016). Einige der prioritären Stoffe können sich in der Nahrungskette anreichern, sind aber in der Wasserphase kaum noch nachzuweisen. Diese Stoffe sind nunmehr anhand von Biota-bezogenen Umweltqualitätsnormen für Fische und Muscheln zu bewerten (vgl. Kap. 6.5.3). Darüber hinaus wurden zwölf weitere prioritäre Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen neu aufgenommen, deren UQN ab dem 22.12.2018 anzuwenden sind.

Die letzte Bewertung des chemischen Zustands erfolgte wie bei den flussgebietspezifischen Schadstoffen im Rahmen der Aktualisierung der Bewirtschaftungspläne 2015.

Im Jahr 2019 wird eine umfassende Aktualisierung der Bewertung des chemischen Zustands in Baden-Württemberg auf der Datenbasis der Jahre 2016 bis 2018 vorgenommen.

Im Folgenden sind erste landesweite Auswertungen von Pflanzenschutzmitteln für den Zeitraum 2014 bis 2016 aufgeführt.

Isoproturon ist ein Wirkstoff, welcher als Herbizid vorzugsweise beim Anbau von Winter- und Sommergetreide eingesetzt und dessen Zulassung für Pflanzenschutzmittel 2016 widerrufen wurde (Abverkaufsfrist für Lagerbestände bis zum 30. März 2017 und Aufbrauchfrist bis zum 30. September 2017). Die Messergebnisse zeigen, dass seit 2014 landesweit keine Überschreitungen der UQN mehr festgestellt werden. Dies ist exemplarisch für den Neckar in Abbildung 5.2-16 dargestellt. Allerdings zeigt sich auch, dass

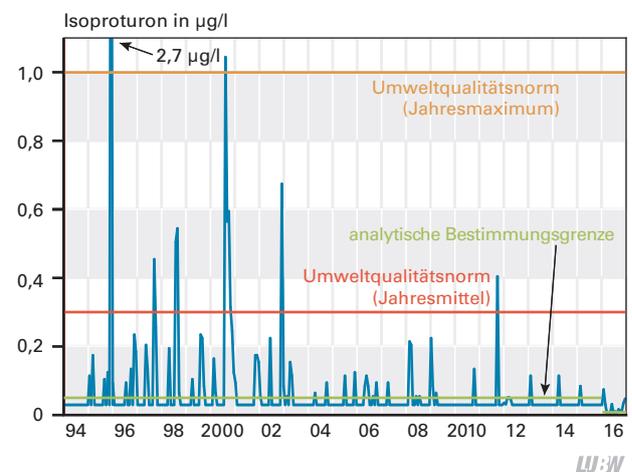


Abb. 5.2-16: Isoproturonkonzentration im Neckar bei Mannheim, Umweltqualitätsnorm nach OGewV 2016 (Absenkung der Bestimmungsgrenze ab 2016).

die Gehalte zur Anwendungszeit im Spätherbst und Winter noch immer messbar ansteigen.

Bifenox ist ein als Herbizid eingesetzter Wirkstoff, welcher in der OGeV 2016 erstmals geregelt wird. Die hierfür festgelegten UQN sind ab dem 22.12.2018 zu berücksichtigen. Im Jahr 2016 zeichnet sich bereits eine Überschreitung der zulässigen Höchstkonzentration von 0,04 µg/l in der Elz ab.

Diuron ist ein Totalherbizid, welches früher im landwirtschaftlichen Bereich sowie auch im nicht-landwirtschaftlichen Bereich zur Freihaltung von Wegen und Plätzen so-

wie 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 UQN aus bislang unbekanntem Gründen auch im Jahr 2016 überschritten wird.

Die Untersuchungen der Gewässer Baden-Württembergs auf **weitere Spurenstoffe** werden fortgeführt. Die Aktualisierung der Ergebnisse erfolgt bis zur nächsten Auslieferung der Umweltdaten.

5.3 Stehende Gewässer

In Baden-Württemberg gibt es über 4000 Seen und Weiher mit einer Größe von mindestens 2000 m². Diese Gewässer prägen Lebensräume von größter ökologischer Qualität und bieten wichtige Ökosystemdienstleistungen, wie z. B. Regulierung des Wasserhaushalts (Wasserspeicher, Hochwasserrückhaltebecken) oder kulturelle/freizeitliche Nutzung (Fischgewässer, Badeseen). Durch Abwassereinleitungen, intensive landwirtschaftliche Nutzung ihrer Einzugsgebiete oder andere Einflüsse sind die meisten dieser Seen erheblichen Belastungen ausgesetzt und die biologische Vielfalt ist dadurch gefährdet.

5.3.1 Bodensee

Der vor rund 17 000 Jahren am Ende der Würmeiszeit vom Eis allmählich freigegebene Bodensee wird hauptsächlich durch den Alpenrhein aus dem alpinen Hinterland kommend (Größe des Einzugsgebiets ca. 11 500 km²) gespeist. Alpine Zuflüsse sind durch niedrige Wassertemperaturen sowie hohe Schwebstoffmengen geprägt. Dadurch werden die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des gesamten Seewasserkörpers, wie z. B. Trübung, Sichttiefe oder Lichtverfügbarkeit beeinflusst und der Bodensee-Obersee als kalkreicher, geschichteter, nährstoffarmer Alpensee typisiert [LAWA 2016].

Morphologisch wird der Bodensee in zwei Bereiche unterteilt: in den tiefen Obersee (mit Überlinger See) und den wesentlich flacheren Untersee mit den Seeteilen Zellersee, Gnadensee und Rheinsee. Der Bodensee-Untersee unterscheidet sich in seinem limnologischen Verhal-

ten vom Obersee, da dessen Einzugsgebiet im Voralpenland liegt, was zu einer anderen Einordnung als geschichteter Alpenvorlandsee mit relativ großem Einzugsgebiet führt [LAWA 2016]. Verbunden sind beide Seeteile durch den Seerhein.

Im Folgenden wird auf die Ergebnisse zum Bodensee-Obersee eingegangen. Die Messstelle Fischbach-Uttwil markiert die tiefste Stelle des Bodensee-Obersees. Nach aktueller Vermessung (Projekt Tiefenschärfe 2015) beträgt die Tiefe an der Stelle Fischbach-Uttwil 251 m (davor 254 m). Die dort erhobenen Untersuchungsergebnisse zum ökologischen und chemischen Zustand gelten als repräsentativ für den Freiwasserbereich des Obersees und werden seit Jahrzehnten im Rahmen des Messprogramms der Internationalen Gewässerschutzkommission Bodensee (IGKB) erhoben. 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.

Chemische Parameter

2017 betrug die Konzentration des **Gesamtphosphors** im volumengewichteten Jahresmittel 7,5 µg/l. Damit liegt diese unter dem Vorjahreswert von 8,0 µg/l (Abb. 5.3-1). Insgesamt liegt die mittlere Konzentration an Gesamtposphor in einem für große oligotrophe Alpenseen typischen Bereich. In der Zirkulationsphase 2017 (Mittelwert Februar bis April) wurde ein Wert von 8,0 µg/l festgestellt (2016: 7,9 µg/l, 2015: 8,5 µg/l).

Die **Sauerstoffgehalte** im tiefen Hypolimnion des Obersees haben sich 2017 aufgrund der „etwas weniger schlechten“ Zirkulation geringfügig gegenüber dem Vorjahr (2016: 5,2 mg/l) erholen können. Im Jahresverlauf 2017 wurde in 250 m Tiefe eine kontinuierliche Abnahme bis zum herbstlichen Minimum im November von 6,1 mg/l beobachtet (2012: 7,2 mg/l bis 2016: 5,2 mg/l) (Abb. 5.3.1). Als Konsequenz mehrerer aufeinanderfolgender Jahre ohne Vollzirkulation kam es von 2012 bis 2016 zu einer Konzentrationszunahme an Gesamtphosphor in den tiefen Wasserschichten unter 100 m. Am deutlichsten zeigt sich die Zunahme direkt über dem Seegrund in etwa 250 m Wassertiefe. Im Frühjahr 2017 kam es aufgrund der „etwas weniger schlechten“ Zirkulation zu einer teilweisen Erholung der hohen Phosphorkonzentrationen über Grund.

Der **anorganische Stickstoff** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente liegt 2017 wie 2016 mit einem Jahresmittel von 0,89 mg/l leicht unter den Wert von 2015 von 0,91 mg/l. Damit liegt die Konzen-

tration an anorganischem Stickstoff seit Anfang der 1980er-Jahre im Bereich von ca. 0,9-1,0 mg/l (Abb. 5.3.2).

Chlorid als Indikator vielfältiger Einträge aus dem Siedlungsbereich liegt nach zunehmendem Trend von 2004 (5 mg/l) bis 2013 (6,9 mg/l) seither konstant im Bereich 6,9-7,0 mg/l, 2017 erstmals bei 7,1 mg/l. Ein beträchtlicher Teil der Zunahme stammt aus der winterlichen Straßensalzung [IGKB 2010].

Biologische Parameter

Die Phytoplankton-Zusammensetzung und Biomasse ist eine der wichtigsten biologischen Komponenten zur Beurteilung des ökologischen Zustands eines Gewässers und dient als Belastungsanzeiger für eine Nährstoffanreicherung des Freiwassers.

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. Aktuell weist der Bodensee-Obersee eine für einen nährstoffarmen Alpensee typische Planktonentwicklung auf, mit einer durch Kieselalgen geprägten Blüte in den Sommermonaten und insgesamt niedriger Phytoplankton-Biomasse von 0,66 mg/l im Jahresdurchschnitt 2016 (Abb. 5.3-3).

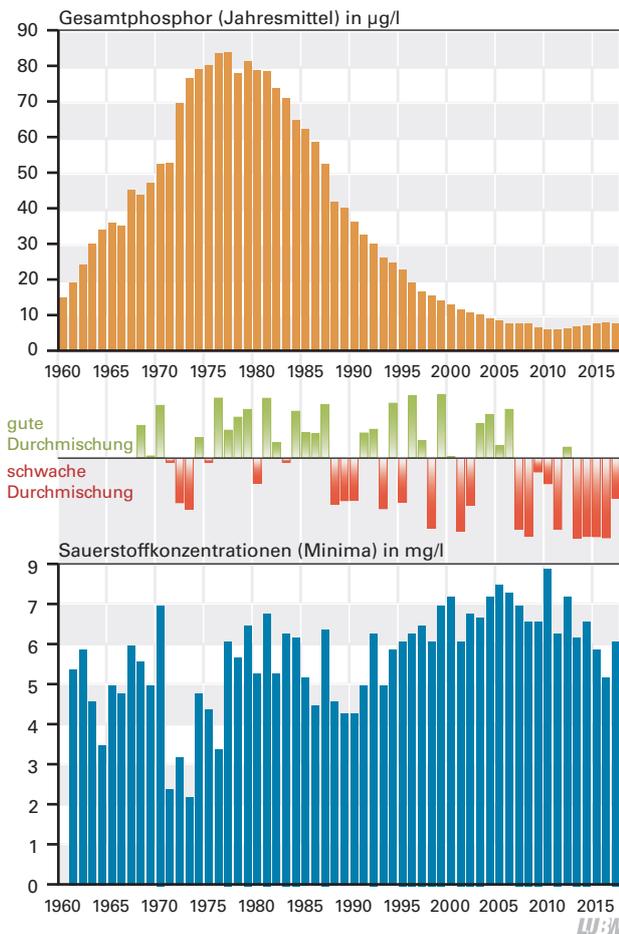


Abb. 5.3-1: Langfristige Entwicklung der Gesamtphosphorkonzentrationen, der Zirkulation und der minimalen Sauerstoffkonzentrationen über Grund im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil).

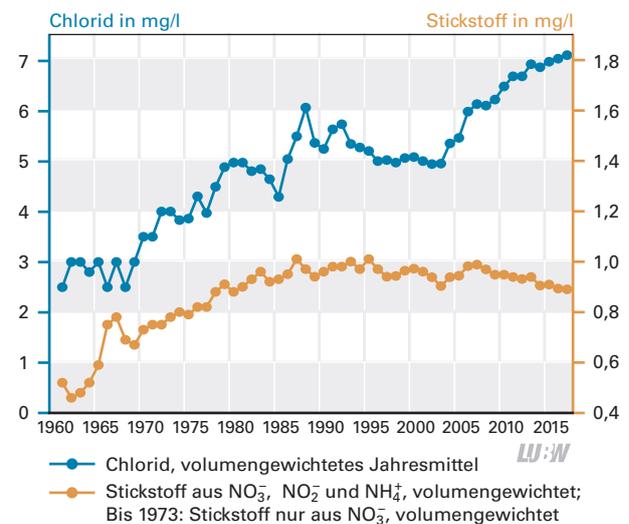


Abb. 5.3-2: Langfristige Entwicklung der Stickstoff- und Chloridkonzentrationen im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil).

Auffällig war im Jahr 2016 eine vergleichsweise hohe Biomasse an Cyanobakterien im Herbst, die durch die Burgunderblutalge *Planktothrix rubescens* dominiert wurde (Abb. 5-3.4). Das Auftreten dieser Art wurde im Jahr 2016 zum ersten Mal sicher für den Bodensee-Obersee nachgewiesen. Die Burgunderblutalge wird als Indikatorart für nährstoffarme bis mäßig nährstoffreiche Bedingungen angesehen.

Ebenfalls bemerkenswert ist der erstmalige Nachweis von Vorkommen der Quagga-Muschel (*Dreissena rostriformis bugensis*). Nach dem Erstfund im Mai 2016 wurde die Verwandte der Zebra-Muschel, die bereits in den 1960er-Jahren in den Bodensee einwanderte, inzwischen im gesamten Bodensee-Obersee nachgewiesen. Die Quagga-Muschel zählt zu den nicht-heimischen Arten (Neozoen) und gilt

als invasiv. Sie stammt ursprünglich aus dem Schwarzmeergebiet. Sie besitzt frei schwimmende Larven, die sich schnell in einem Gewässer ausbreiten können. Die Larven heften sich an festen Untergründen an und wachsen dann rasch zu erwachsenen Muscheln heran. Sie kann auch wirtschaftliche Schäden verursachen, z. B. indem Rohrleitungen verstopft werden.

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. Unter dem Begriff „Kleine Seen“ versteht man kleine Weiher aber auch große Talsperren wie den Schluchsee, der nach dem Bodensee flächenmäßig zweitgrößte See in Baden-Württemberg. Für die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) liegt der Fokus der Untersuchungen auf Seen mit einer Fläche größer als 50 ha. Dazu gehört auch der Federsee, dessen Untersuchungsergebnisse im Nachfolgenden exemplarisch aufgeführt sind.

Der Federsee ist mit ca. 140 ha Fläche und einer durchschnittlichen Tiefe von rund 1 m, einer maximalen Tiefe von 3 m der größte Flachsee Baden-Württembergs und wird als ungeschichteter, kalkreicher Voralpensee mit großem Einzugsgebiet eingestuft (LAWA, RAKON Monitoring Teil B, Arbeitspapier I, 2016). Er liegt nordöstlich von Bad Buchau im Landkreis Biberach in Oberschwaben und ist eingebettet in das Naturschutzgebiet Federsee. Durch mehrere Absenkungen des Seespiegels, Einleitung häus-

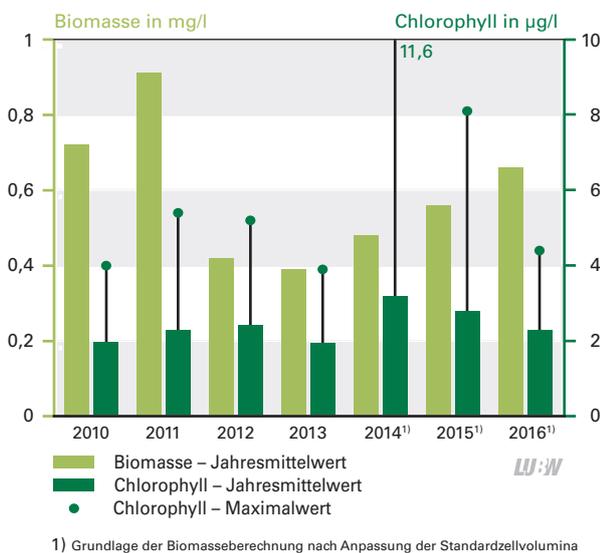


Abb. 5.3-3: Jahresmittelwerte (0-20 m) von Biomasse (mg/l) und Chlorophyll a (µg/l) im Bodensee-Obersee.

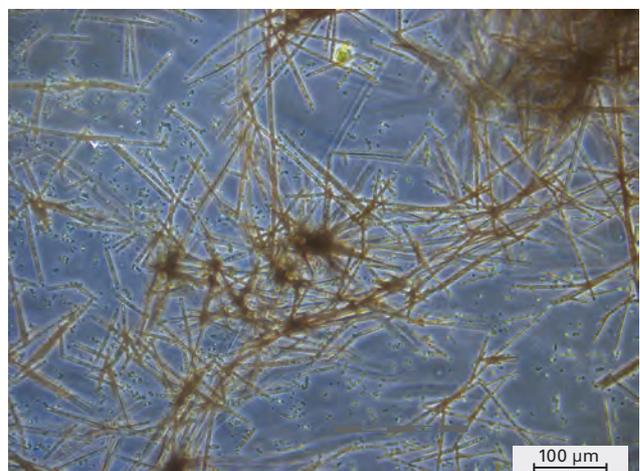


Abb. 5.3-4: Aufnahmen von *Planktothrix rubescens* im Lebendfang an der Station Fischbach-Uttwil vom 05.10.2016 (einzelne Zellfäden mit rotem Pfeil gekennzeichnet; links) und am 22.11.2016 (rechts). Fotos: LUBW.

licher Abwässer und intensive landwirtschaftliche Nutzung seines Einzugsgebietes wurden die natürlichen Verlandungsprozesse in den letzten 200 Jahren beschleunigt und der See erfuhr eine starke Nährstoffanreicherung bis hin zum hypertrophen Zustand. Durch den Bau eines Ringkanals im Jahr 1982 konnte die Nährstoffzufuhr deutlich gesenkt werden.

Chemische Parameter

Der für das Algenwachstum wichtige Gesamtphosphorgehalt ist 2016 mit durchschnittlich 49 µg/l im Vergleich zu 2009 (62 µg/l) und 2011 (67 µg/l) deutlich gesunken (Tab. 5.3-1). Die Konzentrationen an Sauerstoff über Grund nahmen 2016 durch Verbrauch während des biologischen Abbaus von Biomasse von 11,8 mg/l im März bereits im April auf 8,8 mg/l ab. In den Sommermonaten sank die Sauerstoffminimumkonzentration verglichen mit 2009 (5,3 mg/l) und 2011 (6,2 mg/l) auf 2,7 mg/l ab.

Im Sommer kommt im Federsee auch dem Stickstoff-Haushalt eine das Pflanzenwachstum begrenzende und somit entscheidende Rolle zu. In allen Jahren kam es während der Vegetationsperiode zu einer starken Zehrung von Nitrat im Freiwasser. Während jedoch 2009 und 2011 Nitrat im Sommer über mehrere Monate nicht mehr nachweisbar war, war der Nährstoff 2016 das ganze Jahr über vorhanden. 2011 und 2016 waren die Nitratkonzentrationen aufgrund hoher Frühjahrsstartwerte im Jahresmittel gegenüber 2009 deutlich erhöht.

Die Trophie des Federsees entspricht mit dem Zustand eutroph 2 (LAWA, 2014) seit 2009 dem natürlichen Referenzzustand.

Prioritäre Stoffe nach WRRL und Pestizide

Im Jahr 2016 wurde der Federsee auf 42 der 44 prioritären Stoffe mit Wasser-Umweltqualitätsnorm (UQN) (OGewV 2016) untersucht. Bei keinem der Stoffe kam es zu einer Überschreitung der vorgegebenen UQN. Neben den in der Liste der prioritären Stoffe aufgeführten Verbindungen wurde der Federsee zusätzlich auf 80 weitere Pestizide und fünf Metabolite sowie einzelne Industriechemikalien und eine Anzahl von Arzneimitteln untersucht.

Es wurden zehn Pestizide (Atrazin, Metazachlor, Metolachlor, Pendimethalin, Terbutryn, Terbutylazin, Fenpropimorph, Epoxiconazol, Tebuconazol und Nicosulfuron), vier Abbauprodukte (Desethylatrazin, Desethylterbutyla-

Tab. 5.3-1: Jahresmittelwerte (volumengewichtet) von Untersuchungsergebnissen im Federsee.

Federsee		2009 (Apr-Dez)	2011 (Mrz-Okt)	2016 (Mrz-Dez) ¹⁾
Parameter	Einheit	volumengewichtete Jahresmittel		
Temp	°C	14,4	16,1	13,2
Sichttiefe	m	1,4	1,6	1,3
O ₂	mg/l	9,8	8,6	9,1
pH-Wert		8,3		8,1
Leitf. ²⁾	µS/cm	326	340	380
SBV ³⁾	mmol/l	3,1	2,7	3,7
Härte	1/2 mmol/l	3,4	3,2	3,2
PO ₄ -P	µg/l	14	14	4,6
P gesamt	µg/l	62	67	49
P gelöst	µg/l	33	35	20
NH ₄ -N	µg/l	135	45	49
anorg.-N	µg/l	578		687
SiO ₂ -Si	µg/l	3140		3213
Cl	mg/l	17	21	15
SO ₄	mg/l	8,5	9,5	12,5

1) 2016 ohne Juni-Beprobung;

2) Leitfähigkeit bei 20 °C;

3) SBV: Säurebindungsvermögen

LUBW

zin, Methyldephenylchloridazon und Irgarol M1), das Repellent DEET und die Industriechemikalie Bisphenol A gefunden. Die höchsten Konzentrationen wurden in See-mitte beim Herbizid Nicosulfuron mit 0,59 µg/l gemessen. Die UQN zur Beurteilung des ökologischen Zustands für Nicosulfuron, das vor allem im Maisanbau eingesetzt wird, liegt im Jahresdurchschnitt bei 0,009 µg/l (OGewV 2016, Anlage 6) und bei der zulässigen Höchstkonzentration (ZHK) bei 0,09 µg/l. Auf knapp einem Drittel des Einzugsgebietes des Federsees wird Ackerbau mit in den letzten Jahren vermehrtem Anbau von Mais betrieben. Es handelt sich bei dem Befund um einen Einzelmesswert an der Seeoberfläche im Juli 2016. Im Mai lag der Wert noch unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,0019 µg/l. Im Oktober war der Wert bereits auf 0,027 µg/l gesunken. Dies weist darauf hin, dass es sich um einen singulären Eintrag handelte. Aufgrund der Ergebnisse wurde der Federsee im Juli 2017 nochmals stichprobenartig auf Nicosulfuron untersucht. Die Ergebnisse waren unauffällig unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Biologische Parameter

Die durchschnittliche Phytoplankton-Biomasse des Federsees betrug im Jahr 2016 nur etwa ein Drittel der Biomasse aus den vorherigen Untersuchungen (Tab. 5.3-2). Während die Biomasse gesunken ist, nahm im Vergleich zu den Untersuchungen in den 2010er Jahren die durchschnittliche Chlorophyll-a-Konzentration zu. Die maximalen Biomass-

Tab. 5.3-2: Jahresmittelwerte (0 bis 2 m) von Biomasse (mg/l) und Chlorophyll a (µg/l) im Federsee in den drei Untersuchungsjahren 2009, 2011, 2016. 2016: ohne Juni-Beprobung.

Jahresdurchschnitt		2009 (Mrz-Dez)	2011 (Mrz-Nov)	2016 (Mrz-Dez)
Biomasse	in mg/l	6,3	6,9	2,3
Chl a	in µg/l	19,9	19,6	31,7
Chl a Max (Monat)	in µg/l	48,9 (Juli)	38,7 (Juni)	81,5 (Juli)

Chl: Chlorophyll

LUBW

sen und das Maximum an Chlorophyll-a wurden im Hochsommer nachgewiesen. Das WRRL-Bewertungsverfahren für Phytoplankton ergab einen unbefriedigenden ökologischen Zustand, allerdings gibt es insgesamt nur fünf kalkreiche, ungeschichtete Voralpenseen, die von der Größe und Seetiefe sehr unterschiedlich sind und damit auch sehr unterschiedliche Lebensbedingungen aufweisen. Stuft man den Federsee als kalkreichen, ungeschichteten See des Tieflandes ein, ergibt das Bewertungsverfahren einen guten ökologischen Zustand.

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.

Der Federsee weist einen arten- und individuenreichen Makrophytenbewuchs auf. Große Flächen des Federsees werden von Teichrosen (*Nuphar lutea*) bedeckt. Zwar sind noch nicht alle Arten gefunden worden, die laut früheren Beschreibungen der Makrophytenvegetation vorkamen, doch zeigen sich mit dem Auftreten der Characeen-Arten *Chara globularis* und *Nitella syncarpa* sowie dem Froschbiss *Hydrocharis morsus-ranae* durchaus anspruchsvolle Arten. Dies zeigt, dass sich der Federsee bezüglich der Makrophyten wieder in Richtung eines natürlichen Zustandes vor der übermäßigen Eutrophierung entwickelt.

Die benthischen Aufwuchsalgen (Diatomeen) sind Teil des Bewertungsverfahrens für Makrophyten und Phytobenthos und indizieren die Trophie und den Versauerungs-

zustand. Die Diatomeenflora des Federsees war mit 57 bis 75 Taxa recht artenreich, wobei die Zusammensetzung der gefundenen Arten ein weites Trophiespektrum widerspiegelt.

Makrozoobenthos

Zusätzlich zur trophischen Bewertung von Seen kann mit der Biokomponente Makrozoobenthos (bodenlebende Kleintiere) die Degradation von Seeufern bewertet werden. Insgesamt wurden gut 100 Makrozoobenthosarten oder höhere taxonomische Einheiten (ohne Chironomiden) nachgewiesen, darunter einige Arten der Roten Liste von Baden-Württemberg. Einen besonderen Fund stellt die Zwerglibelle *Nehalennia speciosa* dar, von der frühere Vorkommen am Federsee bekannt sind, die jedoch als erloschen eingestuft wurden [HUNGER ET AL., 2006].

Fazit

Insgesamt entwickelte sich der Federsee von einem algen-dominierten Flachsee in einen Wasserpflanzen-dominierten See. Die Artenzahl bei den Makrophyten hat sich seit der letzten Kartierung 2011 nochmals erhöht, die Phytoplanktonbiomasse ist im Vergleich zu 2011 zurückgegangen.

Bei einem Flachsee spielen die meteorologischen Verhältnisse eine wichtige Rolle bei der biologischen Entwicklung und starke jährliche Schwankungen sind möglich. Innerhalb des Alpenvorlandes stellt der Federsee als organisch geprägter Flachsee, der über Gräben mit nährstoff- und huminstoffreichem Wasser aus den umgebenden Mooren gespeist wird, einen Sondertyp dar. Für diese Flachseen wird angenommen, dass sie natürlicherweise zum eutrophen Zustand tendieren. So wird nach LAWA für den Federsee eine Referenztrophy von eutroph 2 (stark eutroph) errechnet. Der nach dem Bau der Ringleitung in den 1980er Jahren schlechte Trophiezustand des Sees besserte sich jedoch fortschreitend und entspricht aktuell dem Sollzustand. Auch die biologischen Parameter weisen auf einen guten ökologischen Zustand des Federsees hin.

Weitere Infos sind in den Jahresberichten des ISF unter www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Wasser > Seen > Institut für Seenforschung > Berichte zu finden.

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 Ausbaugröße einer Kläranlage wird in Einwohnerwerten (EW) angegeben. Die Hilfsgröße Einwohnerequivalent (EGW) dient der Umrechnung des gewerblichen Anteils, um damit die Abwässer aus den unterschiedlichen Bereichen gemeinsam berechnen und darstellen zu können. Die nachfolgenden Ergebnisse zeigen die Datenlage zum 31.12.2016. Zu diesem Zeitpunkt betrug die Gesamtausbaugröße aller 917 kommunalen Kläranlagen etwa 20,8 Mio. EW. Die Anzahl der angeschlossenen Einwohner betrug ca. 10,8 Mio. und es standen somit rein rechnerisch ca. 10,1 Mio. EGW zur Behandlung von Abwasser aus Gewerbe und Industrie bzw. als Reserve zur Verfügung (Tab. 5.4-1).

Die Anzahl der kommunalen Kläranlagen nahm in den vergangenen Jahren ab. Während im Jahr 2004 noch 1082 Anlagen gemeldet wurden, waren es im Jahr 2016 nur noch 917 Kläranlagen (Tab. 5.4-2). Vermehrt wurden kleinere Kläranlagen stillgelegt. Das Abwasser wird in diesen Fällen in der Regel über entsprechende Verbindungsleitungen zu 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 ist in der Abbildung 5.4-1 aufgeteilt nach Größenklassen dargestellt. Die in die Kläranlage eingeleitete CSB-Fracht wird im Landesmittel um ca. 95 %, die Stickstofffracht um 77 % und die Phosphorfracht um ca. 91 % abgebaut. Für Phosphor ist eine mit der Anlagengröße deutlich zunehmende Abbauleistung festzustellen.

Tab. 5.4-1: Behandelte Schmutzfracht der Abwasserbehandlungsanlagen in Baden-Württemberg. Stand: 31.12.2016.

Größenklasse in EW	Anzahl Kläranlagen	behandelte Schmutzfracht ¹⁾ in EW
< 2 000	269	195 659
2 000 - 10 000	307	1 447 587
10 001 - 10 0000	305	7 843 281
> 100 000	36	6 630 213
Gesamtergebnis	917	16 116 740

EW: Einwohnerwert

1) insgesamt behandelte Schmutzfracht in der jeweiligen Größenklasse der Abwasserbehandlungsanlagen

LU:W

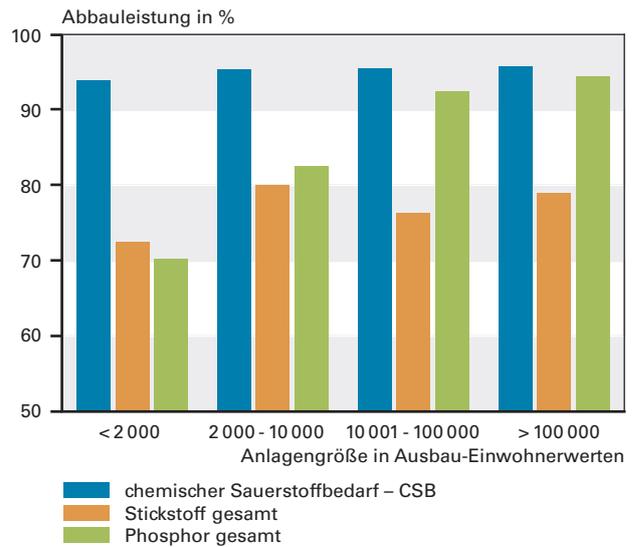


Abb. 5.4-1: Abbauleistung für unterschiedliche Anlagengrößen der Kläranlagen in Baden-Württemberg zum 31.12.2016.

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. den Zutritt von Grundwasser in die Kanalisation durch undichte Kanäle oder die Zuleitung von Quellen bzw. Wasser aus Hausdrainagen in die Kanalisation. Dieses, i. d. R. unbelastete Wasser führt zu einer Verdünnung des Abwassers und kann somit zu einer Absenkung der theoretischen Reinigungsleistung der Kläranlage führen. Deshalb stellen Maßnahmen zu Fremdwasserbeseitigung eine wichtige Daueraufgabe der Siedlungsentwässerung dar.

Baden-Württemberg hat unter dem Gesichtspunkt der Vorsorge bereits vor einigen Jahren damit begonnen, Kläranlagen an besonders empfindlichen Gewässern oder an Belastungsschwerpunkten mit einer 4. Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination auszurüsten. Das Konzept verfolgt

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

Größenklasse \ Jahr	2004	2007	2010	2013	2016
< 2 000	394	348	326	297	269
2 000 - 10 000	357	343	331	323	307
10 001 - 100 000	295	296	296	300	305
> 100 000	36	36	36	36	36
Summen	1 082	1 023	989	956	917

LU:W

einen konsensorientierten Ansatz mit den Betreibern unter Einsatz von Fördermitteln.

Insgesamt sind in Baden-Württemberg bereits 13 Kläranlagen (einschließlich einer Anlage in Bayern, die überwiegend baden-württembergisches Abwasser behandelt) mit einer Aktivkohleadsorptionsstufe in Betrieb. Weitere fünf Anlagen sind derzeit in Bau oder Planung. Nach deren Inbetriebnahme werden ca. 20 % der gesamten Abwassermenge in Baden-Württemberg mit einer 4. Reinigungsstufe behandelt.

Zur Unterstützung und Beratung von Kläranlagenbetreibern, Behörden und Planern bei der Einführung der neuen Technologien wurde in Baden-Württemberg im Jahr 2012 das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg (koms-bw.de/) gegründet.

5.4.2 Kanalisation und Regenwasserbehandlung

In Baden-Württemberg sind rund 74 000 km öffentliche Kanäle verlegt (Statistisches Landesamt 2013). Bei etwa zwei Dritteln handelt es sich um Mischwasserkanäle, in denen Schmutz- und Niederschlagswasser gemeinsam abgeleitet werden. Daneben kommen mit regionalen Schwer-

punkten 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 nunmehr 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 i. d. R. bei Neubaugebieten, aber auch in bestehenden Siedlungsgebieten kann durch Entseglung 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 Regenüber-

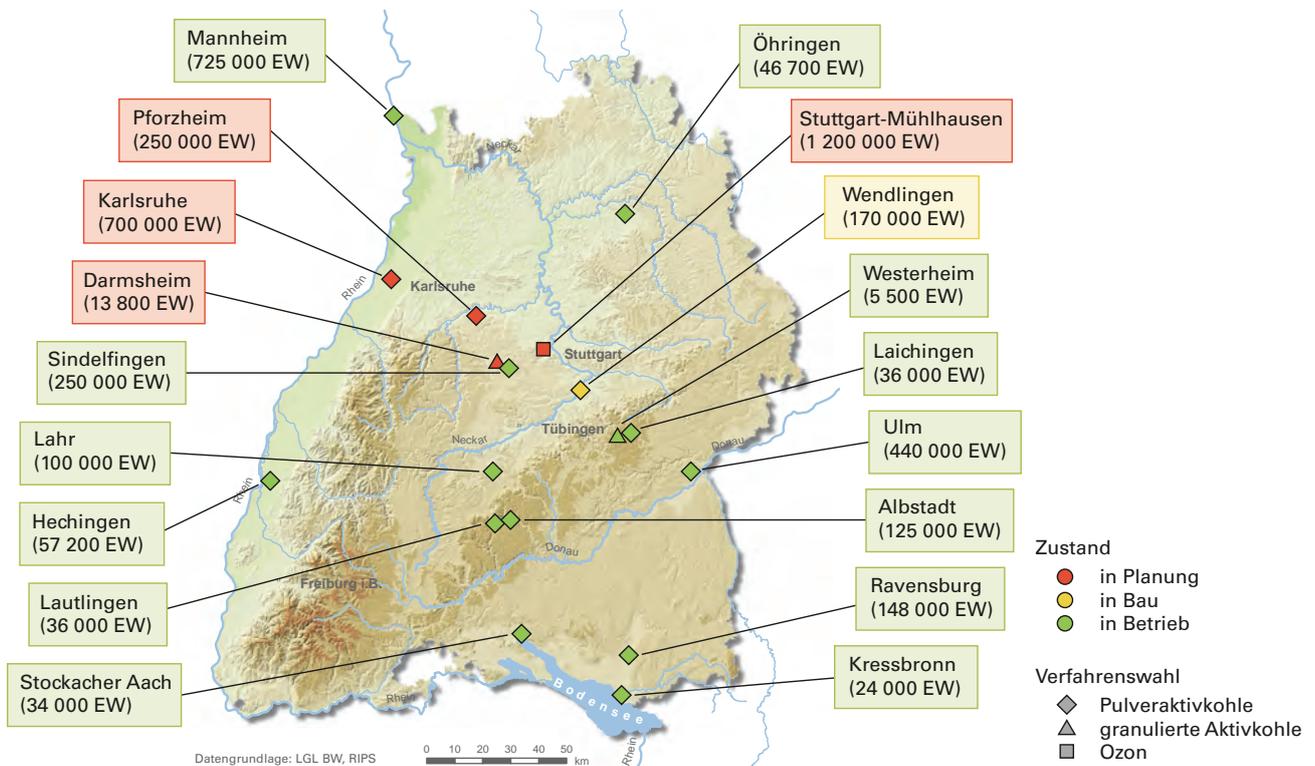


Abb. 5.4-2: Übersicht der Kläranlagen in Baden-Württemberg mit der 4. Reinigungsstufe. Quelle: Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg. Stand: 04/2017.

laufbecken 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. 5.4-3). Derzeit stehen etwa 3,7 Mio. m³ Beckenvolumen zur Verfügung. Dies ergibt einen durchschnittlichen Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung in Baden-Württemberg von ca. 96 %.

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. 5.4-4).

Derzeit sind rund 64 000 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. Nach derzeitiger Einschätzung werden etwa 48 000 Einwohner von Baden-Württemberg ihr anfallendes Abwasser auch in Zukunft dezentral entsorgen.

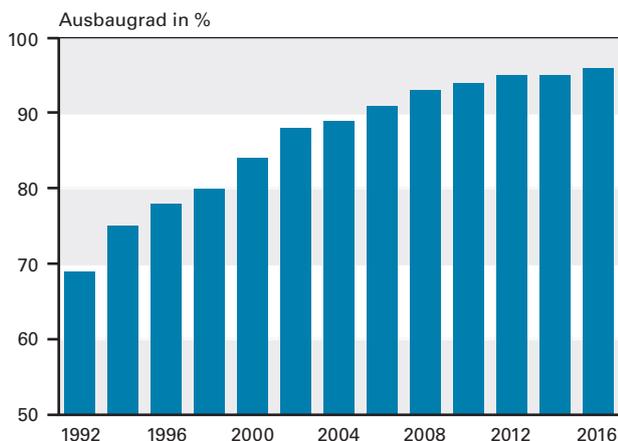


Abb. 5.4-3: Entwicklung des Ausbaugrads der Regenwasserbehandlung in Baden-Württemberg [UM 2016].

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.

Seit 2001 sind große Betriebe nach der europäischen Verordnung zur Schaffung eines Schadstofffreisetzungs- und Verbringungsregisters (EPER) verpflichtet, ihre Direkteinleitungen in Gewässer und Indirekteinleitungen in externe Kläranlagen über die zuständigen Landesbehörden an den Bund und die EU zu berichten. Mit der Erweiterung des EPER im Jahr 2006 (EG 1666/2006 – PRTR-Verordnung, PRTR für „Pollutant Release and Transfer Register“) sind seit 2007 weitere Industriebereiche und auch kommunale Kläranlagen über 100 000 EW von dieser Berichtspflicht erfasst. Betriebe müssen nun jährlich Informationen über Schadstofffreisetzungen in Luft, Wasser und Boden sowie über die Verbringung des Abfalls und des Abwassers außerhalb des Standortes berichten, sofern festgelegte Kapazitäts- und Schadstoffschwellenwerte überschritten sind. Diese Informationen sind für die Öffentlichkeit im Internet zugänglich, sodass sich jeder schnell und einfach über Emissionen, beispielsweise am eigenen Wohnort, informieren kann (www.thru.de).

In Baden-Württemberg unterliegen aufgrund ihrer Tätigkeit potenziell knapp 700 Betriebseinrichtungen der euro-

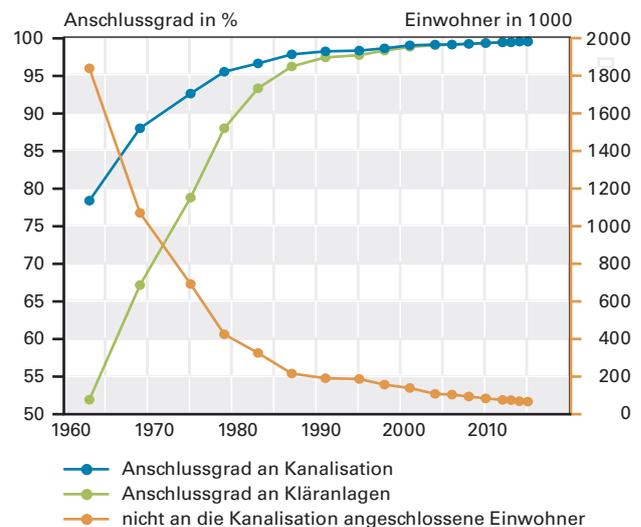


Abb. 5.4-4: Anschlussgrad an die Kanalisation und an kommunale Kläranlagen in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt BW ergänzt durch LUBW. Stand: 31.12.2015.

päischen PRTR-Verordnung. Im sechsten Berichtsjahr haben für das Jahr 2015 insgesamt 79 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 gefolgt von TOC (Total Organic Carbon = gesamter organisch gebundener Kohlenstoff) (Abb. 5.4-5). Für die Indirekteinleitungen sind die höchsten Frachten TOC und Gesamtstickstoff (Abb. 5.4-6). 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. 5.4-7).

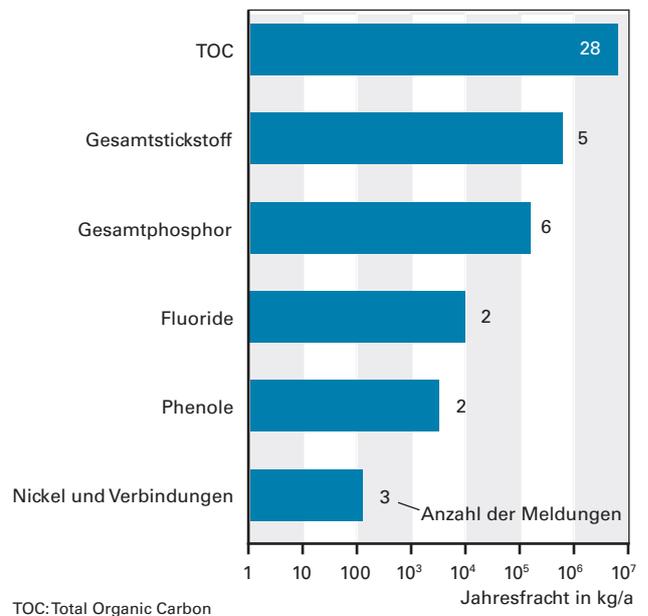


Abb. 5.4-6: Durch PRTR-pflichtige Betriebe in das Abwasser verbrachte Frachten, die in externen Kläranlagen behandelt werden (Indirekteinleitungen) und die jeweilige Anzahl der Betriebe im Jahr 2015 in Baden-Württemberg. Stand: 2018.

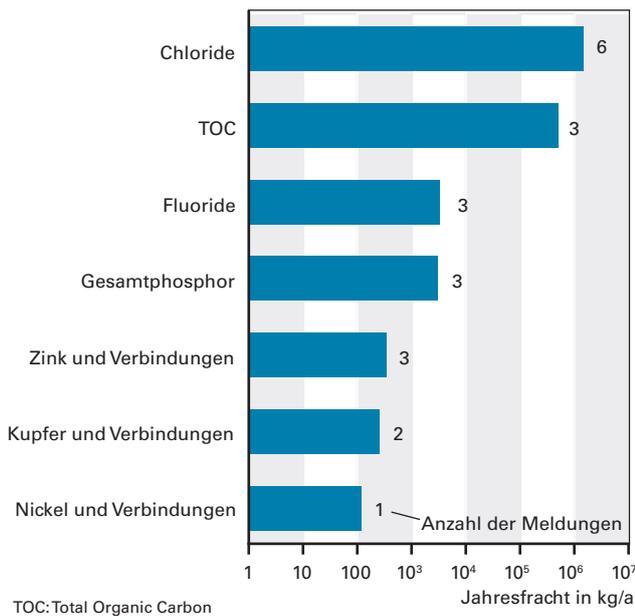


Abb. 5.4-5: In das Gewässer freigesetzte Frachten (Direkteinleitungen, ohne kommunale Kläranlagen) PRTR-pflichtiger Betriebe und jeweilige Anzahl der Betriebe im Jahr 2015 in Baden-Württemberg. Stand: 2018.



Abb. 5.4-7: Frachten kommunaler Kläranlagen > 100 000 EW und Anzahl der Meldungen im Jahr 2015 in Baden-Württemberg. Stand: 2018.

5.5 Hydrologie der Oberflächengewässer

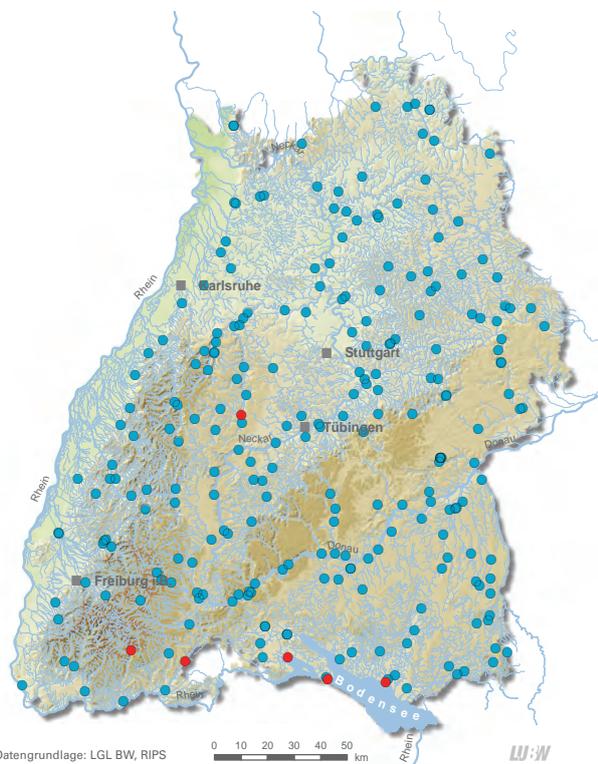
5.5.1 Pegelmessnetz

Zum hydrologischen Pegelmessnetz zählen derzeit 245 Landespegel. Darüber hinaus gibt es elf Landespegel mit speziellen Anforderungen (Abb.5.5.1). Im Regelfall liefern diese Pegel Wasserstands- und Abflussdaten, Seepegel nur Wasserstände.

Die Landespegel sollen die Messbereiche Niedrigwasser, Mittelwasser und Hochwasser abdecken. Sie müssen mehrere übergeordnete Aufgaben erfüllen, z. B. für den Hochwassermeldedienst („HMO-Pegel“) (Tab. 5.5-1)

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 im hydrologischen Messnetz spielen bei der Konzeption auch lokale Anforderungen eine Rolle, wie z. B. die Überwachung von rechtlichen Regelungen. Für Fragestellungen der Landesbetriebe



Hydrologisches Pegelmessnetz

- Pegel für Wasserstand
- Pegel für Wasserstand und Abfluss

Abb. 5.5-1: Hydrologisches Pegelmessnetz Baden-Württemberg. Stand: 2018.

Tab. 5.5-1: Aufgaben hydrologisches Pegelmessnetz. Stand: 2018

Konzeptionelle Anforderung	Anzahl Pegel
Hochwassermeldepegel	47
Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch (geprüfte Daten)	83
Messwertveröffentlichung durch die Hochwasservorhersagezentrale (Rohdaten)	245
Hochwasservorhersagepegel	79
Kooperationsvorhaben KLIWA (Klimawandel)	30
Abdeckung kleiner Einzugsgebiete	13
Quellmessnetz	11
Regelmäßiger Bund-Länder-Datenaustausch	25

LUBW

Gewässer bei den Regierungspräsidien gibt es ein weiteres Messnetz mit 60 Betriebspegeln.

An jeder Pegelanlage ist die Messtechnik 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, Abflussmessungen sowie Instandsetzungs- oder Modernisierungsmaßnahmen werden von den Regierungspräsidien durchgeführt.

Pegeldaten werden im Daten- und Kartendienst der LUBW zum Download bereitgestellt: www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Wasser > Hoch- und Niedrigwasser > Pegel- und Datendienst.

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 stellen hydrologische Kenngrößen eine wichtige Grundlage dar. An Pegelmessstellen können diese Kenngrößen anhand von Messdaten und Zeitreihen abgeleitet werden. Da auch abseits von Pegelmessstellen ein flächenhaft Bedarf an hydrologischen Kenngrößen in hoher räumlicher Auflösung an zahlreichen Gewässerstellen vor Ort besteht, stellt die LUBW den interaktiven Dienst „Abfluss-BW – regionalisierte Abflusskennwerte Baden-Württemberg“ zur Verfügung (www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

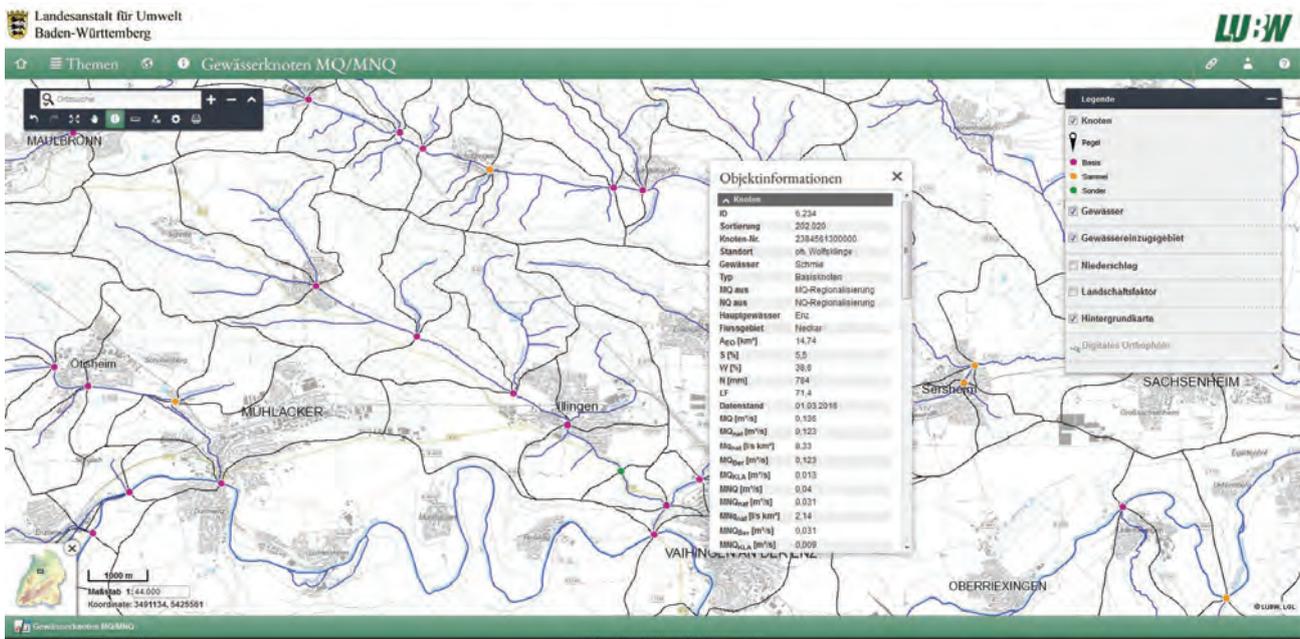


Abb. 5.5-2: Beispieldarstellung der Anwendung Abfluss-BW – regionalisierte Abfluss-Kennwerte Baden-Württemberg.

lubw.de/abfluss-bw). Damit ist eine räumliche und sachdatenbezogene Recherche der wichtigsten hydrologischen Kennwerte möglich (Abb. 5.5-2).

Bei der Regionalisierung handelt es sich um ein Verfahren, das auf multiplen Regressionsmodellen basiert. Mit dem Verfahren werden seit 1999 die regionalisierten Abfluss-Kennwerte Baden-Württemberg – Abfluss-BW erstellt und fortgeschrieben. Inzwischen werden die wichtigsten hydrologischen Abflusskennwerte, wie mittlere Abflüsse (MQ), Mittelwerte und Jährlichkeiten von Höchstabflüssen (MHQ, HQT), extreme Bemessungsabflüsse gemäß DIN 19700 sowie mittlere Niedrigwasserabflüsse (MNQ) abgeleitet.

Aktuell werden die regionalisierten Abflusskennwerte für über 13 000 Gewässerstellen bereitgestellt und sind damit

nahezu flächendeckend verfügbar. Im Zuge der jüngsten Fortschreibung der Mittleren Abflüsse (MQ) und der Mittleren Niedrigwasserabflüsse (MNQ) werden für die Anpassung des Regionalisierungsmodells die Pegeldata für den einheitlichen Zeitraum 1981 bis 2010 ausgewertet. Methodisch neu ist, dass durch die Ermittlung dynamischer Trockenwetterabflüsse für alle Kläranlagen in Baden-Württemberg eine detailliertere Berücksichtigung natürlicher und anthropogener Abflussanteile in den Einzugsgebieten vorgenommen werden kann. Mit dem Auftrennen in natürliche und anthropogen geprägte Abflussanteile kann die Zuverlässigkeit einer Beurteilung von Niedrigwassersituationen in Einzugsgebieten Baden-Württembergs erheblich verbessert werden.



Natur und Landschaft

6

Das Wichtigste in Kürze

In Baden-Württemberg gibt es 302 nach europäischen Naturschutzrichtlinien geschützte **Natura 2000-Gebiete**. Sie nehmen über 17 % der Landesfläche ein. Über 50 % der Lebensraumtypen und Arten der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie befinden sich in einem ungünstigen Erhaltungszustand. Zur Verbesserung der Erhaltungszustände werden Managementpläne erstellt, die inzwischen für 187 Natura 2000-Gebiete vorliegen. Bei der seit 2010 laufenden Aktualisierung der Offenland-Biotopkartierung werden neben den gesetzlich geschützten Biotopen auch europaweit gefährdete Lebensraumtypen der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie erfasst. Bisher wurden 14 Landkreise und 4 Stadtkreise in Baden-Württemberg erneut kartiert.

Im Rahmen der **landesweiten Artenkartierung** konnten mit Hilfe von ehrenamtlichen Kartierern Amphibien- und Reptilienarten in 73 % der 1581 UTM5-Raster Baden-Württembergs erfasst werden. Mehr als 320 Ehrenamtliche haben von 2014 bis Anfang 2018 über 18 500 Fundorte mit insgesamt über 51 000 Datensätzen erhoben.

Das **Brutvogelmonitoring** in Baden-Württemberg erfasst die Bestandsveränderungen der Vogelarten auf Landesebene. Beim Monitoring häufiger Brutvögel wurden Bestandstrends von 30 häufigen Vogelarten berechnet. Die Daten dokumentieren zum Beispiel den Bestandsrückgang vieler Vogelarten der offenen Agrarlandschaft. Das Monitoring zum Weißstorch zeigt auf, dass sich der Brutbestand nach dem drastischen Rückgang seit 1960 erholt hat. Im Jahr 2016 brüteten 918 Weißstorchpaare im Land.

Im Vollzug der **naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung** wurden bis 01. Juni 2018 in Baden-Württemberg insgesamt über 1300 Ökokonto-Maßnahmen anerkannt.

Im Rahmen der **Medienübergreifenden Umweltbeobachtung** ist seit Mitte der 1980er-Jahre in Bächen des Odenwaldes und des Schwarzwaldes eine Verbesserung des Säurezustandes erkennbar, alle elf untersuchten Bäche weisen jedoch noch immer deutliche Defizite auf. Untersuchungen von Fischen und Muscheln in Rhein, Neckar und Donau belegen Überschreitungen der Umweltqualitätsnormen für Quecksilber und einige organische Schadstoffe. In Regenwürmern findet eine beträchtliche Anreicherung von Per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) statt. Da Regenwürmer Nahrung zahlreicher Fressfeinde wie Vögel, Maulwürfe und Wildschweine sind, ist eine weitere Anreicherung in der Nahrungskette nicht auszuschließen.

Über technische und biologische Prozesse wird mehr Stickstoff in die Umwelt eingebracht, als diese auf Dauer verträgt. Die **Stickstoffgesamtdeposition** liegt in Baden-Württemberg bei rund 15 kg/(ha-a), der Stickstoffüberschuss der Landwirtschaft liegt aktuell im Mittel bei rund 100 kg/(ha-a).

Der **Waldzustand** in Baden-Württemberg zeigt sich im Jahr 2017 trotz einer regional sehr angespannten Wasserversorgung der Waldbestände im Vergleich zu den Vorjahren leicht verbessert.

6.1 Flächenschutz

6.1.1 Gebiets- und Biotopschutz

Zu den Instrumenten des Flächenschutzes gehört die Ausweisung von Schutzgebieten. Sie bilden das Rückgrat des Biotop- und Artenschutzes mit dem Ziel, die Schönheit, Eigenart und Vielfalt der Natur des Landes Baden-Würt-

Tab. 6.1-1: Schutzgebiete und gesetzlich geschützte Biotope in Baden-Württemberg. Naturparke, Biosphärengebiete und gesetzlich geschützte Biotope können die anderen Schutzkategorien überlagern¹⁾. Quellen: LUBW - BRS. Stand: Februar 2018.

	Anzahl	Fläche in ha	Anteil an der Landesfläche
Nationalpark	1	10 059	0,28 %
Naturschutzgebiete	1 041	87 326	2,44 %
Biosphärengebiete	2	148 505	4,16 %
Landschaftsschutzgebiete	1 451	808 015	22,65 %
Naturdenkmale	14 600	6 548	0,18 %
Naturparke	7	1 206 742	33,82 %
gesetzlich geschützte Biotope	229 956	156 839	4,40 %

1) Natura 2000-Gebiete sind naturschutzrechtlich keine Schutzgebietskategorie und daher nicht enthalten.

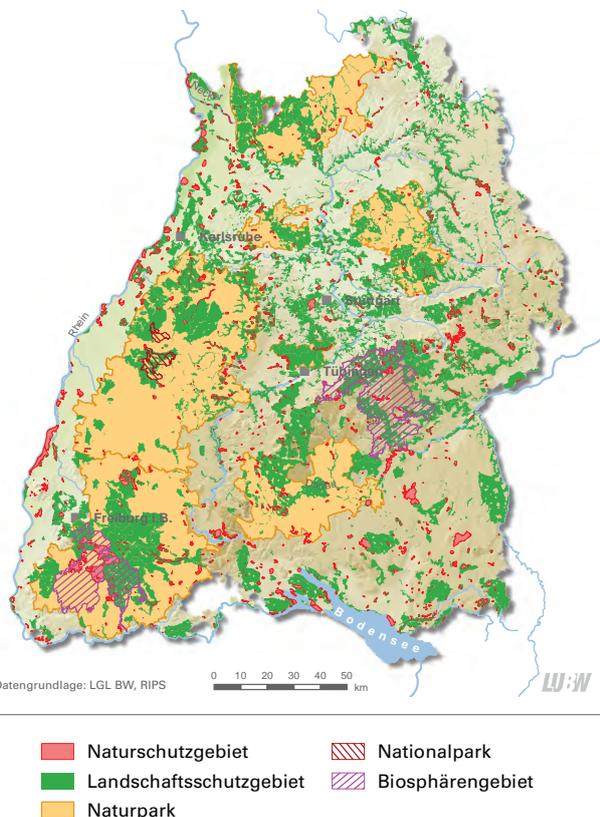


Abb. 6.1-1: Schutzgebiete in Baden-Württemberg (ohne Naturdenkmale). Stand: Januar 2018.

temberg und die Tier- und Pflanzenwelt zu erhalten. Aktuelle Daten zur Anzahl und Fläche der in Baden-Württemberg ausgewiesenen Schutzgebiete sowie der gesetzlich geschützten Biotope können der Tabelle 6.1-1 und Abbildung 6.1-1 entnommen werden.

Nationalpark

Zum 01.01.2014 wurde per Gesetz der erste Nationalpark Baden-Württembergs, der „Nationalpark Schwarzwald“, mit einer Fläche von 10 059 ha errichtet. Der Nationalpark ist in drei Zonen aufgeteilt:

Kernzone: Die Waldgebiete der Kernzone werden komplett sich selbst überlassen, hier gilt das Motto: Natur Natur sein lassen. Nach den internationalen Richtlinien für Nationalparks müssen in 30 Jahren drei Viertel der Fläche des Nationalparks Schwarzwald zur Kernzone zählen.

Entwicklungszone: Die Wälder und Moore der Entwicklungszone werden durch unterstützende Lenkungsmaßnahmen darauf vorbereitet, im Laufe von 30 Jahren in die Kernzone überzugehen.

Managementzone: Bis maximal ein Viertel der Fläche des Nationalparks bleibt dauerhaft Managementzone, in der Biotop- und Artenschutzziele gesichert sowie die Ausbreitung des Borkenkäfers verhindert werden sollen. Auch die Grindenflächen, das sind baumfreie Feuchtweiden auf den Höhen des Nordschwarzwaldes, liegen in der Managementzone. Sie werden dauerhaft erhalten und miteinander vernetzt.

Tab. 6.1-2: Zielsetzung und Anteil der Zonen an der Gesamtfläche des „Nationalparks Schwarzwald“. Stand: Dezember 2017.

Nationalparkzone	Zielsetzung der Zonen	Fläche	Anteil an Gesamtfläche
Kernzone	ungestörte Naturentwicklung	3 280 ha	32,6 %
Entwicklungszone	Entwicklung zu Kernzonen	4 701 ha	46,7 %
Managementzone	Sicherung von Biotop- und Artenschutzzielen	2 078 ha	20,7 %
Gesamtfläche		10 059 ha	100,0 %

Naturschutzgebiete

Ende 2017 gab es in Baden-Württemberg 1041 Naturschutzgebiete (NSG) mit einer Fläche von 87 326 ha, das sind 2,44 % der Landesfläche (Abb. 6.1-2). Die Durchschnittsgröße aller NSG beträgt knapp 83 ha, wobei die Mehrzahl Flächengrößen zwischen 50 ha und 250 ha aufweist. Inzwischen gibt es zehn NSG, die größer als 1000 ha sind.

Biosphärengebiete

Biosphärengebiete sind Schutzgebiete mit dem Ziel, großräumige Kulturlandschaften mit charakteristischer und reicher Naturausstattung zu erhalten, zu fördern und zu entwickeln. Zum 01.02.2016 ist das Biosphärengebiet „Schwarzwald“ (www.biosphaerengebiet-schwarzwald.de) neben dem Biosphärengebiet „Schwäbische Alb“ (biosphaerengebiet-alb.de) als zweites Biosphärengebiet in Baden-Württemberg errichtet worden und seit Juni 2017 von der UNESCO international anerkannt. Die Biosphärengebiete sind räumlich in drei Zonen unterschiedlicher Schutzintensität gegliedert (Tab. 6.1-3).

Durch Fördermittel des Landes werden modellhafte und nachhaltig wirkende Projekte der verschiedenen Handlungsfelder in den Biosphärengebieten unterstützt.

Landschaftsschutzgebiete

Die Gesamtfläche der Landschaftsschutzgebiete (LSG) ist seit 1975 von 540 143 ha auf 808 015 ha im Dezember 2017 angestiegen. Somit stehen fast 23 % der Landesfläche unter Landschaftsschutz (Abb. 6.1-3). Nach wie vor sind 12 % der LSG als Bestandteil kombinierter Natur- und Landschaftsschutzgebiete ausgewiesen. Sie erfüllen dabei die Funktion einer Pufferzone zwischen intensiv genutzten Flächen und den NSG und fördern damit deren Schutzziele.

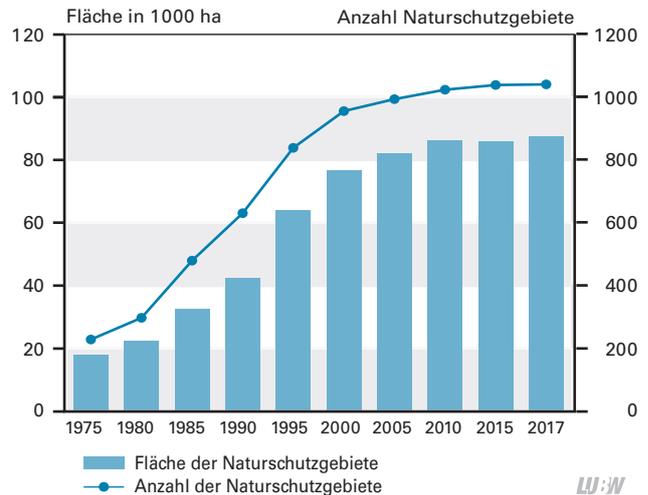


Abb. 6.1-2: Naturschutzgebiete nach Anzahl und Flächen. Stand: Dezember 2017.

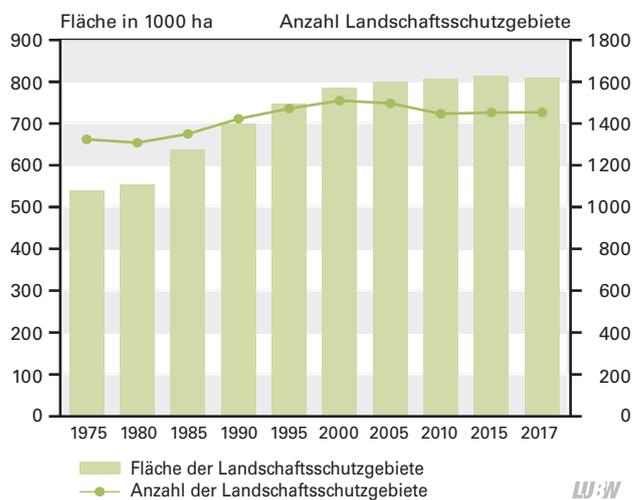


Abb. 6.1-3: Landschaftsschutzgebiete nach Anzahl und Flächen. Stand: Dezember 2017.

Tab. 6.1-3: Zielsetzung und Anteil der Zonen an der Gesamtfläche der Biosphärengebiete „Schwäbische Alb“ und „Schwarzwald“
Quelle: biosphaerengebiet-alb.de > Biosphärengebiet Leben > Basisinformationen > Karten & Daten,
BSG Schwarzwald: LUBW - BRS. Stand: Dezember 2017.

Biosphärengebietszone	Zielsetzung	Schwäbische Alb		Schwarzwald	
		Fläche	Anteil an Gesamtfläche	Fläche	Anteil an Gesamtfläche
Kernzone	ungestörte Naturentwicklung	2 645 ha	3,1 %	1 905 ha	3,0 %
Pflegezone	Entwicklung wertvoller Kulturlandschaften	35 410 ha	41,5 %	18 523 ha	29,3 %
Entwicklungszone	nachhaltige Wirtschaftsweisen	47 214 ha	55,4 %	42 808 ha	67,7 %
Gesamtfläche		85 269 ha	100,0 %	63 236 ha	100,0 %

Naturdenkmale

Als Naturdenkmale können sowohl Einzelgebilde, wie Bäume oder Felsen, als auch naturschutzwürdige Flächen bis zu 5 ha Größe ausgewiesen werden. Sie sind aus bestimmten Gründen, z. B. wegen ihrer Seltenheit, Eigenart oder Schönheit, besonders geschützt. Landesweit existieren 14 600 Naturdenkmale mit rund 6548 ha Fläche (Abb. 6.1-4).

Naturparke

Im Dezember 2017 gab es in Baden-Württemberg sieben Naturparke (Tab. 6.1-4). Der Naturpark Südschwarzwald ist aktuell mit einer Fläche von 393 372 ha der größte deutsche Naturpark. Zusammen mit dem Naturpark Schwarzwald Mitte/Nord ist damit fast der gesamte Schwarzwald als Naturpark ausgewiesen. Als Naturparke können Gebiete ausgewiesen werden, die sich aufgrund ihrer Großräumigkeit und ihrer naturräumlichen Ausstattung für die Erholung besonders eignen.

Gesetzlich geschützte Biotope

Besonders wertvolle und gefährdete Biotope, wie Moore, Nasswiesen oder Trockenrasen, genießen gesetzlichen Schutz. In § 30 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) werden die bundesgesetzlich geschützten Biototypen aufgeführt. § 33 des Naturschutzgesetzes Baden-Württemberg (NatSchG) ergänzt die nach Landesrecht gesetzlich geschützten Biotope. Seltene Waldgesellschaften sowie Lebensräume seltener wild wachsender Pflanzen und wild lebender Tiere im Wald werden nach § 30a Landeswaldgesetz (LWaldG) als Biotopschutzwald unter besonderen Schutz gestellt. Insgesamt sind in Baden-Württemberg 4,4 % der Landesfläche als Biotop gesetzlich geschützt (Tab. 6.1-5).

Die gesetzlich geschützten Biotope werden mittels **Kartierungen** erfasst. Im Wald erfolgt die Kartierung im Rahmen der Waldbiotopkartierung im Auftrag der Forstverwaltung. Im Offenland koordiniert die LUBW die Kartierung durch geschulte Büros.

Bei der zurzeit laufenden Aktualisierung der Offenland-Biotopkartierung werden neben den nach Bundes- und Landesrecht gesetzlich geschützten Biotopen auch europaweit gefährdete FFH-Lebensraumtypen erfasst. Damit kann kostengünstig und mit geringerem Aufwand der Berichtspflicht der FFH-Richtlinie nachgekommen werden. Seit 2010 wurden im Rahmen dieser Aktualisierung 14 Landkreise und 4 Stadtkreise kartiert (Tab. 6.1-6).

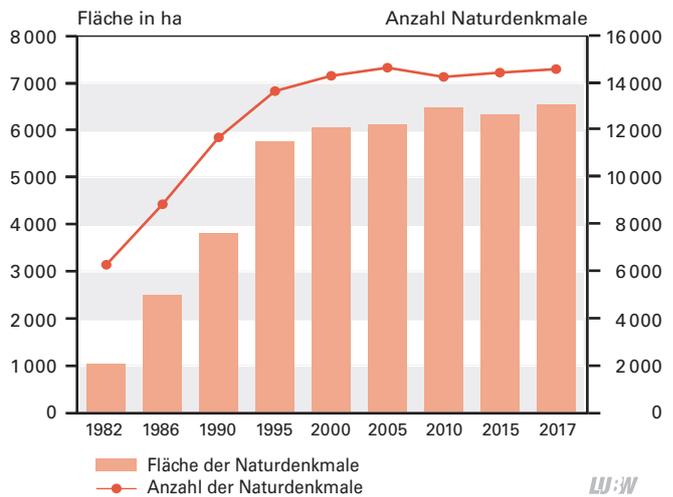


Abb. 6.1-4: Naturdenkmale nach Anzahl und Flächen. Stand: Dezember 2017.

Tab. 6.1-4: Naturparke in Baden-Württemberg. Quelle: LUBW-BRS. Stand: Dezember 2017.

Name	NP-Fläche	Anteil an der Landesfläche
Schönbuch	15 507 ha	0,43 %
Stromberg-Heuchelberg	33 209 ha	0,93 %
Neckartal-Odenwald	128 454 ha	3,59 %
Obere Donau	135 089 ha	3,78 %
Schwäbisch-Fränkischer Wald	126 853 ha	3,55 %
Südschwarzwald	393 372 ha	11,00 %
Schwarzwald Mitte/Nord	374 258 ha	10,47 %
Baden-Württemberg	1 206 742 ha	33,82 %

Tab. 6.1-5: Geschützte Biotope in Baden-Württemberg. Stand: Dezember 2017.

	Anzahl Biotope	Fläche Biotope	Anteil an der Landesfläche
Offenland-Biotopkartierung	168 908	78 390 ha	2,2 %
Waldbiotopkartierung	61 048	78 448 ha	2,2 %
gesamt	229 956	156 839 ha	4,4 %

Verschlechtert hat sich vor allem die Situation von Offenland-Biotopen, die auf eine regelmäßige Bewirtschaftung oder Pflege angewiesen sind. Dazu zählen Nasswiesen, Magerrasen und Feldhecken. Viele Flächen dieses Typs sind nicht mehr vorhanden. Der landwirtschaftliche Druck auf nutzbare Flächen steigt und schwer zu bewirtschaftende Wiesen werden oftmals aufgegeben. Zahlreiche Gehölzbiotope sind mittlerweile gealtert oder mit Waldbeständen verwachsen, Feldhecken sind in die Breite gewachsen. Im Gegensatz dazu wurden aber auch Gehölzbiotope (Feldhecken und Feldgehölz) am häufigsten neu erfasst,

Tab. 6.1-6: Überblick über Biotopanzahl und Biotopfläche der Stadt- und Landkreise, in denen seit 2010 die erste Wiederholungskartierung stattgefunden hat. Stand: November 2017.

Kreis	Biotopanzahl			Biotopfläche in ha			Anteil Biotopfläche an der Kreisfläche
	aktuell	davon neu	nicht mehr vorhanden	aktuell	davon neu	nicht mehr vorhanden	
Alb-Donau-Kreis	5 331	1 111	471	2 151	600	50	1,6 %
Baden-Baden	515	163	87	355	83	33	2,5 %
Esslingen	3 622	799	448	1 335	264	69	2,1 %
Freiburg	525	12	11	258	5	7	1,7 %
Freudenstadt	4 098	1 098	233	1 020	294	31	1,2 %
Karlsruhe, Land	7 672	2 032	980	2 795	437	254	2,6 %
Karlsruhe, Stadt	490	318	97	313	133	29	1,8 %
Konstanz	4 713	1 007	596	3 685	248	286	4,5 %
Mannheim	252	146	42	196	66	5	1,4 %
Ortenaukreis	10 317	3 432	1 695	3 872	1 053	319	2,1 %
Ostalbkreis	6 510	1 423	883	2 280	634	106	1,5 %
Rastatt	2 800	1 105	260	1 454	386	64	2,0 %
Reutlingen	5 250	1 107	95	2 666	464	25	2,6 %
Schwäbisch Hall	9 296	2 116	1 365	2 242	362	148	1,5 %
Schwarzwald-Baar-Kreis	4 520	1 429	402	2 822	576	96	2,8 %
Sigmaringen	6 732	727	890	2 896	329	148	2,4 %
Tuttlingen	2 449	944	327	1 336	416	145	1,8 %
Zollernalbkreis	5 906	1 189	1 063	2 744	665	207	3,0 %
gesamt	80 998	20 158	9 945	34 420	7 015	2 022	2,2 %

LUBW

die durch Nutzungsaufgabe und Sukzession oder durch das Neuaufwachsen bzw. Verdichtung vormals lückiger Bestände entstanden sind. Am zweithäufigsten wurden Nasswiesen kartiert, wobei hier angenommen wird, dass die Neuaufnahme einer verbesserten Kartiermethodik geschuldet ist. Bei der in der Vergangenheit erfolgten Kartierung nach § 24a NatSchG a.F. in den 1990er-Jahren waren die Kartiervorgaben für Nasswiesen etwas enger ausgelegt, es wurden nur äußerst binsen- und seggenreiche Bestände erhoben.

Biotopverbund

Zahlreiche Biotope sind für das Überleben von Arten zu klein und ihre Isolation erschwert die Ausbreitung und den Austausch zwischen den Populationen. Veränderungen in den Lebensbedingungen der heimischen Tier- und Pflanzenwelt, nicht zuletzt verursacht durch den Klimawandel, machen jedoch Anpassungsmöglichkeiten der Arten durch Wanderung und Genaustausch für deren Überleben zwingend erforderlich.

Um funktionsfähige ökologische Wechselbeziehungen in der Kulturlandschaft zu gewährleisten, sind Maßnahmen zum Verbund und zur Vernetzung der vorhandenen Lebensräume wichtig.

Aufgrund § 20 Abs. 1 und § 21 BNatSchG sind die Bundesländer rechtlich verpflichtet, einen Biotopverbund zu schaffen, der 10 % der Landesfläche umfassen und aus Kernflächen, Verbindungsflächen und -elementen bestehen soll.

Die seit 2012 im Fachplan „Landesweiter Biotopverbund“ formulierten Ziele und Planungsgrundlagen wurden mit der Novelle des baden-württembergischen Naturschutzgesetzes im Juni 2015 rechtlich verankert. Alle öffentlichen Planungsträger haben seither die Belange des Biotopverbunds bei ihren Planungen und Maßnahmen zu berücksichtigen (§ 22 NatSchG).

Die im Fachplan „Landesweiter Biotopverbund“ ausgearbeitete Planungsgrundlage besteht aus verschiedenen Planungselementen:

- Übergeordnete Verbundachsen für das Offenland,
- Kernflächen (differenziert in drei Wertstufen),
- Kernräume (Distanzwert 200 m um Kernflächen),
- Suchräume für den Biotopverbund (differenziert in die Distanzklassen 500 m und 1000 m zwischen den Kernflächen) und
- Generalwildwegeplan.

Als „übergeordnete Verbundachsen für das Offenland“ werden die großräumigen, über die Landesgrenzen hinausreichenden **Verbundachsen** für Offenlandbiotope bezeichnet (Abb. 6.1-5).

Als **Kernflächen** wurden landesweit wertvolle Biotope und Flächen mit besonderen Artvorkommen ausgewählt. Sie enthalten Quellpopulationen von Tieren und Pflanzen, die sich von hier aus ausbreiten und austauschen sollen. Der Erhalt und die Pflege der Kernflächen und **Kernräume** ist der Ausgangspunkt für die Stärkung des Biotopverbundes (Abb. 6.1-6).

In den **Suchräumen** werden Verbindungsflächen und -elemente gesucht und optimiert oder gegebenenfalls neu entwickelt. Dabei müssen Biotope nicht unbedingt „lückenlos“ durch Korridore verbunden sein. Als Verbindungselemente können auch beispielsweise kleine Tümpel oder Blühstreifen entlang von Wegen oder Steinriegel dienen. Sie müssen auf die Bedürfnisse der jeweiligen Zielarten und deren Ausbreitungspotential abgestimmt sein. Solche Trittsteinbiotope sind zwar allein nicht ausreichend für den Erhalt einer Population, können aber von Pflanzen und Tieren genutzt werden, um weiter entfernt gelegene Lebensräume zu erreichen und sich mit anderen Populationen auszutauschen.

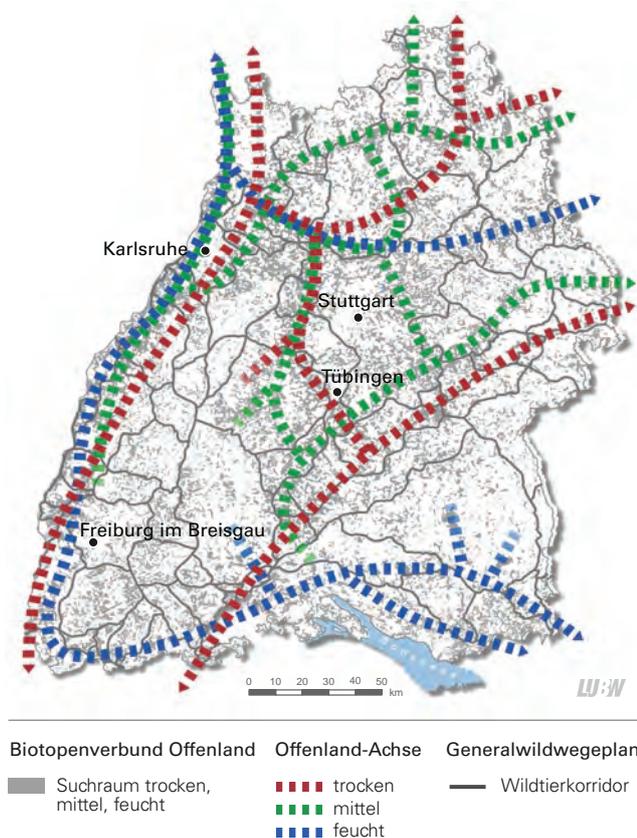


Abb. 6.1-5: Fachplan Landesweiter Biotopverbund Baden-Württemberg – Offenland-Achsen und Wildtierkorridore. Stand: 04.10.2011.

Die Planung für den Biotopverbund im Offenland wird ergänzt durch die Wildtierkorridore des Generalwildwegeplans (Abb. 6.1-5). Der Generalwildwegeplan zeigt die für die Vernetzung der vor allem im Wald lebenden heimischen Säugetiere, wie Schwarz- und Rotwild oder Wildkatze, notwendigen Korridore. Durch die Infrastruktur wie Verkehr und Siedlung entstandene Barrieren werden durch geeignete, auf die jeweilige Art oder den Lebensraum ausgerichtete Maßnahmen aufgelöst. Bei Straßen kann dies beispielsweise durch Grünbrücken erfolgen.

Der Biotopverbund wird von öffentlichen Planungsträgern (Regierungspräsidien, Landratsämter, Gemeinden), aber auch von Privat-Initiativen, Vereinen oder Naturschutzverbänden umgesetzt. Konkrete Zahlen zum genauen Stand der Umsetzung sind deshalb nicht verfügbar. Rund 8,3 % der Offenlandfläche des Landes sind als gesetzlich geschützte Biotope oder als Flächen des FFH-Grünlands (Flachland- und Bergmähwiesen) mit einem Schutzstatus durch die FFH-Richtlinie im Biotopverbund enthalten und damit rechtlich gesichert. Hinzu kommen Flächen zu Vorkommen ausgewählter, biotopverbundrelevanter Arten des Artenschutzprogramms mit 1,4 % der Offenlandfläche des Landes. Die Arten des Artenschutzprogramms haben dabei einen unterschiedlichen Schutzstatus.

Vom Land Baden-Württemberg initiierte Modellvorhaben und Modellprojekte setzen den Biotopverbund planerisch als auch konkret durch Maßnahmen auf regionaler und kommunaler Ebene um [LUBW 2017]. Modellvorhaben

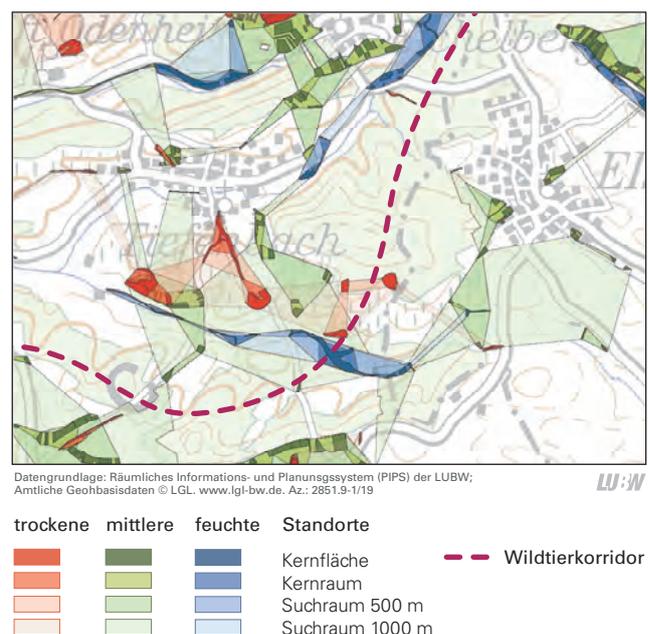


Abb. 6.1-6: Beispiel für Kernflächen, Kernräume und Suchräume für die drei Offenland-Standortarten feuchter Standort und mittlerer Standort und Darstellung des Wildtierkorridors.

und Modellprojekte sind in der Fachzeitschrift *Naturschutz-Info* 2/2017 Schwerpunkt „Biotopverbund in Baden-Württemberg“ zusammenfassend dargestellt.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Natur und Landschaft > Flächenschutz > Biotopverbund

6.1.2 Ramsar-Gebiete

Die Ramsar-Konvention ist ein internationales Übereinkommen zum Schutz von Feuchtgebieten internationaler Bedeutung aus dem Jahr 1971. Deutschland ist der Konvention 1976 beigetreten und hat bisher 34 Ramsar-Gebiete mit einer Fläche von insgesamt ca. 870 000 ha benannt. In Baden-Württemberg liegen zwei Ramsar-Gebiete. 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. Das Ramsar-Gebiet „Wollmatinger Ried – Giehrenmoos & Mindelsee“ liegt am Bodensee und umfasst, verteilt über mehrere Naturschutzgebiete, eine Gesamtfläche von etwa 1300 ha.

www.um-baden-wuerttemberg.de > Umwelt & Natur > Naturschutz > Schutzgebiete – Vom Nationalpark bis zur Biosphäre > Ramsar-Schutzgebiete

6.1.3 Naturschutzförderprojekte

Landschaftspflegeberichtlinie

Die Landschaftspflegeberichtlinie (LPR) ist das zentrale, integrierte Förderinstrument für Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege in Baden-Württemberg. Sie dient zum einen dem Ziel, die Vielfalt, Eigenart, Schönheit und den Erholungswert von Natur und Landschaft zu bewahren. Zum anderen trägt sie dazu bei, frei lebende Tiere und Pflanzen, insbesondere gefährdete Arten, zu schützen und ihre Lebensräume zu erhalten und zu entwickeln. Die LPR beinhaltet dazu ein breites Förderspektrum. Neben dem Vertragsnaturschutz sind der Arten- und Biotop-schutz, der Grunderwerb sowie Investitionen und Dienstleistungen für Zwecke des Naturschutzes und der Landschaftspflege wesentliche Bestandteile der LPR.

Aktuell wurden im Jahr 2017 rund 16 000 Vorhaben mit einem Fördervolumen von ca. 60 Mio. Euro gefördert.

Bundesprogramm Biologische Vielfalt

Seit Anfang 2011 unterstützt das Bundesprogramm Biologische Vielfalt die Umsetzung der nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. Gefördert werden Projekte, für die ein nationales 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, unter finanzieller Beteiligung des Landes, umgesetzt, ein weiteres wurde 2018 abgeschlossen:

- Stärkung und Vernetzung von Gelbbauchunken-Vorkommen in Deutschland (2018 abgeschlossen),
- Lebensader Oberrhein – Naturvielfalt von nass bis trocken,
- Standardisierte Erfassung von Wildbienen zur Evaluierung des Bestäuberpotenzials in der Agrarlandschaft (BienABest) und
- Schutz und Förderung der Mopsfledermaus in Deutschland.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Natur und Landschaft > Flächenschutz > Naturschutzgroßprojekte und LIFE

Chance.natur – Naturschutzgroßprojekte des Bundes in Baden-Württemberg

Mit dem Programm „chance.natur – Bundesförderung Naturschutz“ fördert der Bund 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 Nutzungseinschränkungen, Wiedervernässungsmaßnahmen, Öffentlichkeitsarbeit und Personal- und Sachkosten der Projektverwaltung. In Baden-Württemberg sind bisher fünf Projekte abgeschlossen worden. In der Umsetzung ist derzeit das Naturschutzgroßprojekt Baar mit 4690 ha. Projekt I (Erstellung des Pflege- und Entwicklungsplans) wurde im Mai 2017 abgeschlossen. Projekt II (Umsetzungsphase 2018 bis 2028) hat im Mai 2018 begonnen.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Natur und Landschaft > Flächenschutz > Naturschutzgroßprojekte und LIFE

LIFE-Förderprojekte in Baden-Württemberg

Die Europäische Union fördert mit dem Programm LIFE (L' Instrument Financier pour l'Environnement) von 2014 bis 2020 Umwelt- und Naturschutzvorhaben sowie Klimaschutzprojekte in der Europäischen Gemeinschaft. In Baden-Württemberg wurden bisher 15 spezielle Natur- und Artenschutzprojekte über LIFE und dessen Vorgängerprogramme LIFE Natur (1992 bis 2006) und LIFE+ (LIFE-plus, 2007 bis 2013) gefördert. Insgesamt sind EU-Fördermittel in Höhe von ca. 18 Millionen Euro und Gesamtmittel in Höhe von knapp 36 Millionen Euro in die Naturschutzmaßnahmen der baden-württembergischen LIFE-Projekte geflossen (Tabelle 6.1-7). Alle baden-württembergischen Projekte sind abgeschlossen.

PLENUM

PLENUM ist das „Projekt des Landes zur Erhaltung und Entwicklung von Natur und Umwelt“. Die Kerngebiete von PLENUM-Projektgebieten sind naturschutzfachlich besonders wertvolle Natur- und Kulturlandschaften, die erhalten und in Wert gesetzt werden sollen.

Als Förderprogramm des Ministeriums Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg kann PLENUM Projekte aus der Region, die positive Naturschutzwirkungen 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. Zwischen 2001 und 2016 gab es insgesamt sechs PLENUM-Gebiete, wovon mittlerweile fünf nach jeweils 14 Jahren-Förderung

Tab. 6.1-7: Übersicht über die in der letzten und derzeitigen LIFE-Förderperiode geförderten Projekte in Baden-Württemberg. Quelle: EU. Stand November 2017.

Name	Projektsumme	EU-Förderung	Laufzeit
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

ausgelaufen sind (Allgäu-Oberschwaben, Westlicher Bodensee, Schwäbische Alb, Naturgarten Kaiserstuhl und Heckengäu). Im Juni 2013 wurde das aktuelle PLENUM-Gebiet Landkreis Tübingen eingerichtet. Die PLENUM-Konzeption wird damit derzeit auf etwa 1,5 % der Landesfläche umgesetzt, das entspricht 52 000 ha.

www.plenum-bw.de

Sonderprogramm zur Stärkung der biologischen Vielfalt

Mit dem Sonderprogramm zur Stärkung der biologischen Vielfalt übernimmt die Landesregierung eine besondere Verantwortung zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität als gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Das Sonderprogramm vereint die Anstrengungen des Umweltministeriums, des Ministeriums für Ländlichen Raum und des Verkehrsministeriums. Wichtige Bausteine im Bereich des Umweltministeriums sind der Erhalt und die Entwicklung von Natura 2000-Gebieten, Extensivierungsmaßnahmen in der Kulturlandschaft zur Schaffung von Lebensräumen für bedrohte Arten, der Moorschutz, der Biotopverbund und die Qualitätssicherung der Naturschutzgebiete. Die Maßnahmen werden durch verschiedene Monitoring-Programme insbesondere für den Bereich Insekten begleitet. Erste Ergebnisse sind Ende 2018 zu erwarten.

6.2 Artenschutz

6.2.1 Arten- und Biotopschutzprogramm

Von der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg wird unter Beteiligung anderer betroffener Landesbehörden sowie der Hochschulen des Landes, Naturschutzvereinigungen, sachkundiger Verbände und sachkundiger Bürgerinnen und Bürgern ein Arten- und Biotopschutzprogramm (§ 39 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 Schutz von Arten. Aus den bisher veröffentlichten Roten Listen folgt, dass etwa 40 % der Arten



Abb. 6.2-1: Anteil gefährdeter Arten ausgewählter Artengruppen. Stand: Januar 2018.

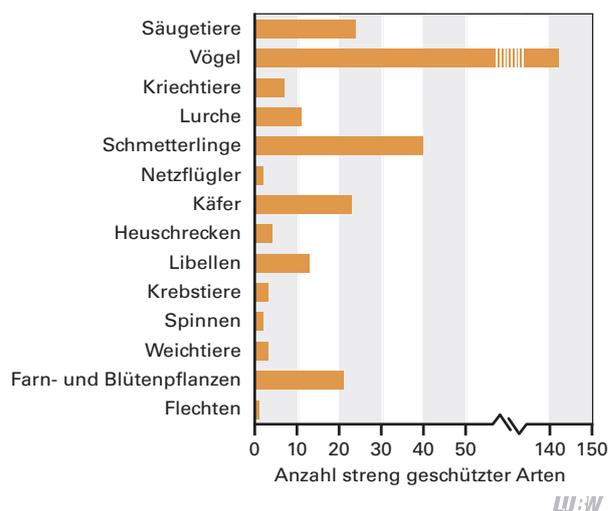


Abb. 6.2-2: Anzahl der aktuell in Baden-Württemberg vorkommenden streng geschützten Arten. Stand: Januar 2018.

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 > Themen > Natur und Landschaft > Artenschutz > Arten-Wissen > Rote Listen

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 alle streng geschützten 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 Grafik nicht berücksichtigt.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Natur und Landschaft > Artenschutz > Arten-Wissen > 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. Die Durchführung des Artenschutzprogramms erfolgt in enger Zusammenarbeit mit allen Ebenen der Naturschutzverwaltung und weiteren betroffenen Behörden, den Naturkundemuseen, Naturschutz- und Landschaftserhaltungsverbänden, den Artenexperten im Land und nicht zuletzt den Grundstückseigentümern und Bewirtschaftern von Flächen mit Vorkommen der gefährdeten Arten.

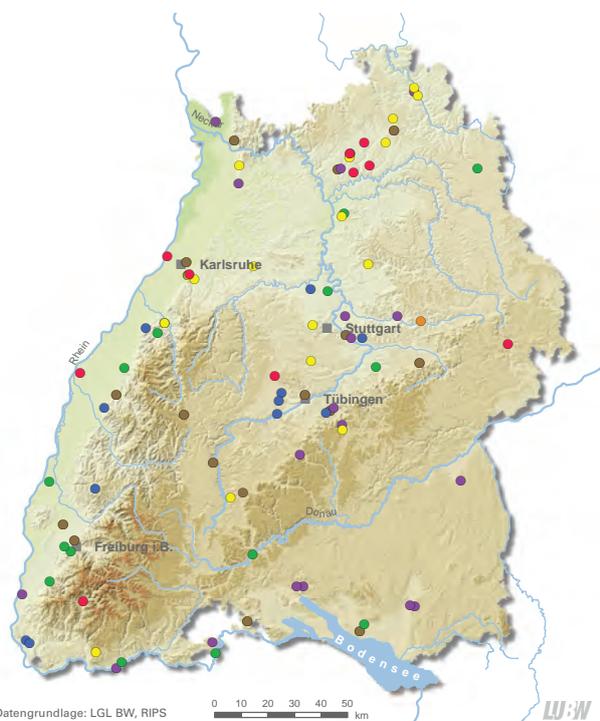
Zunächst erfolgt eine gezielte Erfassung von ausgewählten Vorkommen der am stärksten gefährdeten Arten mit dem Ziel, jeweils geeignete Maßnahmen zu entwickeln. Inzwischen liegen Erfassungen von rund 1000 Arten aus elf Artengruppen (Amphibien, Farn- und Blütenpflanzen, Heuschrecken, Käfer, Libellen, Moose, Säugetiere, Schmetterlinge, Vögel, Weichtiere, Wildbienen) vor. Die hierbei vorgeschlagenen Maßnahmen werden vor Ort in Zusammenarbeit mit den beteiligten Behörden, Institutionen und Bewirtschaftern umgesetzt.

6.2.2 Öffentlichkeitskampagne des Landes „Aktiv für die Biologische Vielfalt“

„Aktiv für die Biologische Vielfalt“ ist eine Initiative der Landesregierung, die bereits 2008 in Zusammenarbeit mit der LUBW und Naturschutzverbänden des Landes entwickelt wurde. Mit dieser Öffentlichkeitskampagne soll die Naturschutzarbeit ergänzt werden. In erster Linie geht es darum, die Bevölkerung für die biologische Vielfalt vor der eigenen Haustür zu begeistern. Dabei werden besonders Kommunen, Vereine, Kirchen, Schulen, Privatpersonen oder aber auch Unternehmen angesprochen.

Teil dieser Öffentlichkeitskampagne ist der **111-Arten-Korb**. Er umschließt 111 in Baden-Württemberg vorkommende heimische Tier- und Pflanzenarten, die besonders auf Hilfe angewiesen sind. Mit Partnern aus unterschiedlichen Bereichen werden Aktionen und Projekte für diese Arten durchgeführt (Abb. 6.2-3). In den vergangenen sieben Förderjahren wurden so im Rahmen einer größeren Kooperation für Amphibien und Reptilien insgesamt 101 Projekte mit Maßnahmen in Baden-Württemberg unterstützt. Dazu zählen z. B. die Anlage von Laichgewässern oder das Offenhalten von Rohbodenstellen.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de/Themen > Natur und Landschaft > Artenschutz > Arten schützen



Projektanträge
 2011 (orange) 2012 (brown) 2013 (blue) 2014 (purple)
 2015 (green) 2016 (yellow) 2017 (red)

Abb. 6.2-3 Maßnahmen der Unternehmenskooperation für Amphibien und Reptilien von 2011 bis 2017. Stand: November 2017.

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 Planungen oder Vorhaben fachlich beurteilen zu können. Aktuell stehen dem Land Baden-Württemberg jedoch bei den weiter verbreiteten Arten häufig nur veraltete und lückenhafte Daten zur Verfügung. Von der LUBW wurde zusammen mit dem Staatlichen Museum für Naturkunde Stuttgart und den Naturschutzverbänden im Jahr 2014 ein Projekt zur Kartierung der Reptilien und Amphibien in Baden-Württemberg gestartet. 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 1581, jeweils 5 km x 5 km großen Rasterfelder des UTM-Koordinatensystems (UTM5-Raster) (Abb. 6.2-5). Seit 2014 haben mehr als 320 Ehrenamtliche an der Artenkartierung teilgenommen und von 1581 UTM5-Rasterfeldern wurden 73 % kartiert. Bis Januar 2018 wurden in der Online-Dateneingabe über 18 500 Fundorte mit insgesamt über 51 000 Datensätzen eingerichtet. Die erhobenen Daten werden in einer zentralen Datenbank gespeichert und die Ergebnisse der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

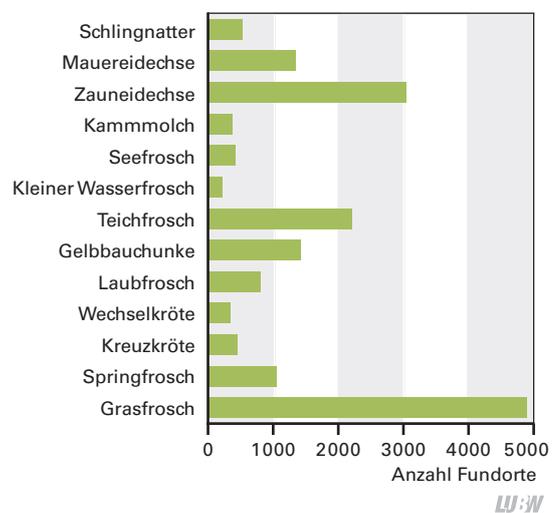


Abb. 6.2-4: Anzahl der Fundorte der Projektarten bei der landesweiten Artenkartierung (LAK) der Reptilien und Amphibien in Baden-Württemberg. Stand: Januar 2018.

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.

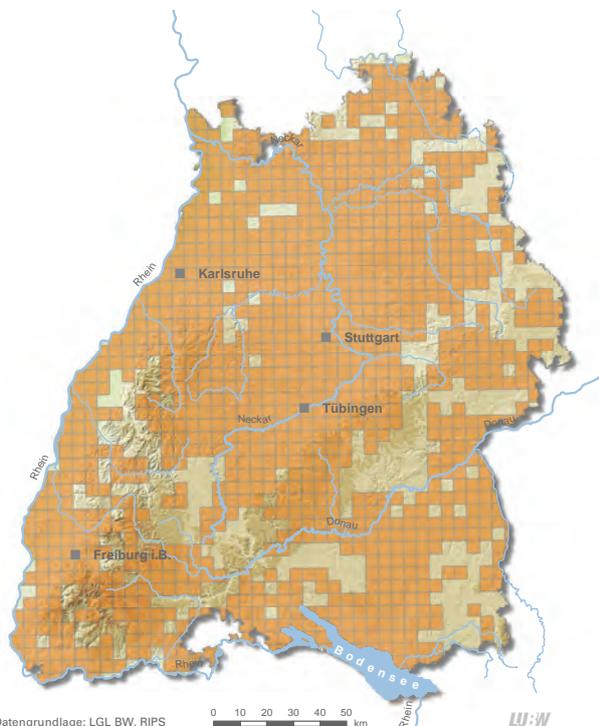
Das Brutvogelmonitoring in Baden-Württemberg erfasst die Bestandsveränderungen der Vogelarten auf Landesebene. Damit hat es eine herausragende Bedeutung als Frühwarnsystem für Veränderungen und Gefährdungen der Artenvielfalt. Handlungsbedarf zum Ergreifen von Schutzmaßnahmen wird so frühzeitig erkennbar.

Das **Monitoring häufiger Brutvögel (MhB)** 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 Vogelschutzrichtlinie. Die Daten bilden auch die Basis für den in der Entwicklung begriffenen landesweiten Nachhaltigkeitsindikator „Artenvielfalt und Land-

schaftsqualität“ als einen umfassenden Gradmesser für den Zustand von Natur und Landschaft in Baden-Württemberg. In Kapitel 1.1 wird in Abbildung 1.1-5 beispielhaft die Bestandsentwicklung von drei Vogelarten der Agrarlandschaft, die durch das MhB 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. Da mit dem bisherigen Aufwand längerfristige Bestandstrends für lediglich 30 häufige Vogelarten berechnet werden können, ist derzeit ein Ausbau des MhB in Planung.

Der **Weißstorch** ist eine im Naturschutz symbolträchtige und langjährig gefährdete Art. Deshalb wird der Brutbestand jährlich durch ein gesondertes Monitoring erfasst. Die Entwicklung des Brutbestandes in Baden-Württemberg ist seit den 1940er Jahren fast vollständig dokumentiert (Abb. 6.2-6). Die Anzahl der Paare nahm, nach einem Brutbestand von 180 Paaren Ende der 1940er-Jahre, seit 1960 drastisch ab. Seit Ende der 1980er-Jahre hat sich der Bestand inklusive halbwilder, fütterungsabhängiger Paare 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. Im Jahr 2015 brüteten in Baden-Württemberg bereits 803 und im Jahr 2016 918 Weißstorchpaare.

Auf Grundlage von § 6 der Kormoranverordnung des Landes vom 20.07.2010 (KorVO) wurden in den Jahren 2015



LAK Amphibien und Reptilien

■ UTM5-Raster bereits zur Kartierung vergeben
Rasterfelder: 1159

Abb. 6.2-5: Landesweite Artenkartierung (LAK) – Amphibien und Reptilien. Stand: Januar 2018.

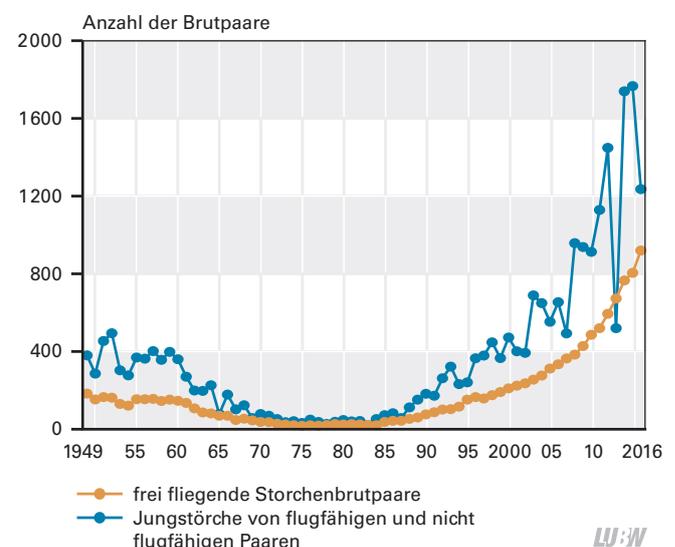


Abb.6.2-6: Entwicklung des Weißstorch-Brutbestandes 1949 bis 2016 in Baden-Württemberg.



Abb.6.2-7: Kormoran (*Phalacrocorax carbo*). Foto: J. Rathgeber 2011

und 2016 das **Kormoranbrutvogelmonitoring** fortgesetzt, um die Bestandsentwicklung der Art zu dokumentieren. Dabei zählten Vogelschützer mit Beteiligung von Vertretern des Landesfischereiverbandes in den Grenzen von Baden-Württemberg im Jahr 2016 mindestens 1126 Paare an 17 Brutstandorten, während im Jahr 2015 mindestens 993 Paare an ebenfalls 17 Standorten brüteten. Damit hat der Brutbestand in den letzten drei Jahren kontinuierlich zugenommen. Erst seit 1994 ist der Kormoran wieder regelmäßiger Brutvogel in Baden-Württemberg.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Natur und Landschaft > Artenschutz > Brutvogelmonitoring > Kormoranmonitoring.

6.2.5 Landesweite Kartierung der Brutvorkommen des Schwarzstorchs in Baden-Württemberg

Der Schwarzstorch (*Ciconia nigra*) gilt als sehr störungsempfindlich und kommt bevorzugt in unzerschnittenen, störungsarmen und naturnahen Laub- und Mischwäldern mit geeigneten Nahrungsgewässern vor. Aufgrund seiner Lebensweise ist der Schwarzstorch schwer zu erfassen. Nach letzten Brutnachweisen aus dem Jahr 1925 galt der

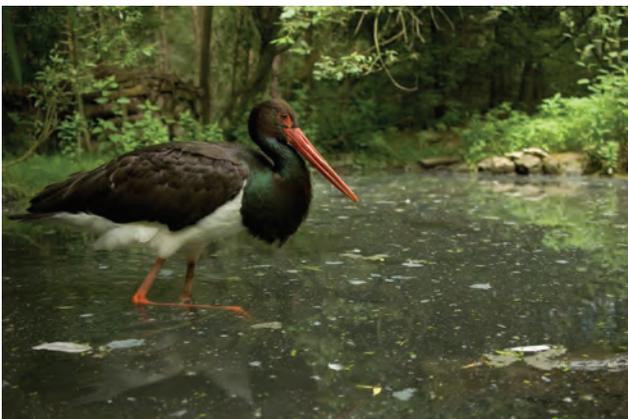


Abb.: 6.2-8: Schwarzstorch (*Ciconia nigra*). Foto: D. Nill 2004.

Schwarzstorch in Baden-Württemberg als ausgestorben. Erst 2003 erfolgte im Zuge allgemeiner Arealausweitungen die dokumentierte Wiederbesiedelung Baden-Württembergs, wo der Schwarzstorch heute zu den sehr seltenen Arten zählt [JANSSEN 2004].

Eine im Auftrag der LUBW von der Ornithologischen Gesellschaft Baden-Württemberg e.V. (OGBW) durchgeführte Analyse der von 2009 bis 2014 vorliegenden Schwarzstorchbeobachtungen ergab 2085 Sichtungen. Auf Grundlage dieser Recherchen hielt die OGBW einen Brutbestand von bis zu 50 Revierpaaren für realistisch.

Für die Abgrenzung potenzieller Brutgebiete und auch zur Suche von Revier- und Horststandorten des Schwarzstorches wurden ab 2015 im Auftrag der LUBW Suchräume kartiert. Ziel der Kartierung war es, mit vertretbarem Aufwand einen aktuellen Überblick über die Revier- und nach Möglichkeit auch Horststandorte des Schwarzstorches in Baden-Württemberg zu erhalten.

Insgesamt wurden zwischen 2015 und 2017 18 Lose mit insgesamt 419 063 ha erfasst (Abb. 6.2-9).

Bislang konnten durch die LUBW-Kartierung 21 bis 25 Reviere des Schwarzstorches belegt werden, wobei einzelne

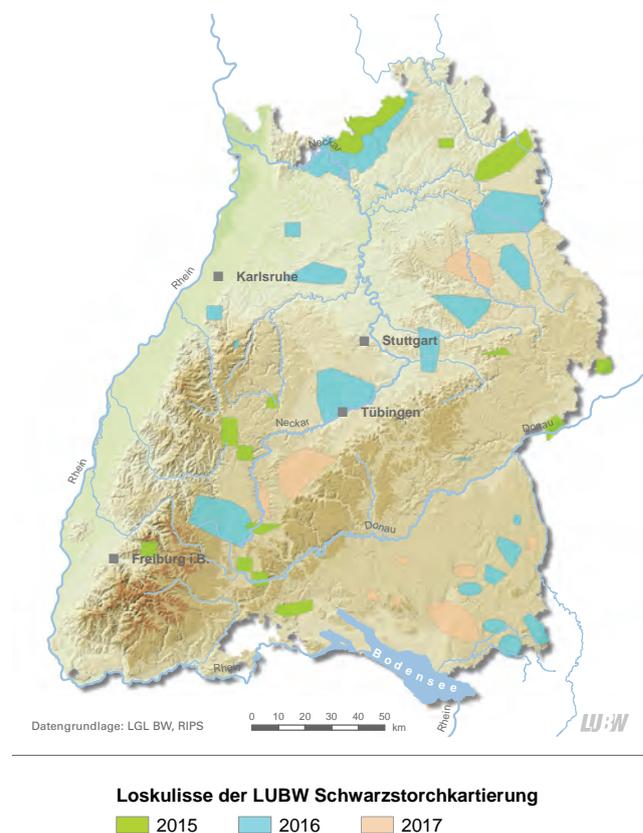


Abb. 6.2-9 : Loskulisse der LUBW_Schwarzstorchkartierung 2015 bis 2017. Stand: Juni 2018.

Auswertungen noch ausstehen. Zusammen mit den bereits vorher bekannten Revierpaaren beläuft sich der erfasste Bestand auf ca. 35 bis 40 Paare. Die Arbeitsgruppe für Seltene Brutvögel Baden-Württembergs (SBBW) der OGBW schätzt die Bestandszahlen für 2016 auf 29 bis 49 Reviere [SBBW 2017]. Die Verbreitungsschwerpunkte liegen im Odenwald sowie in Oberschwaben.

Da die Kartierung der LUBW jedoch nicht flächendeckend erfolgte und angenommen werden kann, dass in geeigneten Lebensräumen außerhalb der Suchräume ebenfalls Schwarzstörche vorkommen, dürfte der tatsächliche Ge-

samtbestand der Schwarzstörche in Baden-Württemberg noch etwas darüber liegen.

Die erhobenen Daten wurden der Naturschutz- sowie der Forstverwaltung punktgenau zur Verfügung gestellt. Planer und Projektierer erhalten Informationen zu Brutvorkommen aufgrund der besonderen Störfähigkeit und Schutzbedürftigkeit der Art nur auf Basis von TK25-Quadranten-Mittelpunkten. Die Daten finden z. B. bei Planungen von Windenergieanlagen Berücksichtigung und können über Artdaten.Windenergie@lubw.bwl.de abgefragt werden.

6.3 Europäischer Naturschutz

Das nationale Naturschutzrecht ist von zwei Richtlinien der Europäischen Union geprägt: der 1979 verabschiedeten und 2009 novellierten Vogelschutzrichtlinie (2009/147/EG) und der 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 aktuell 302 Natura 2000-Gebiete, die über 17 % der Landesfläche einnehmen (Tab. 6.3-1) (www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Natur und Landschaft > Europäische Naturschutzrichtlinien). Die Schutzgebiete nach europäischem

Naturschutzrecht überlagern sich teilweise mit dem Flächenschutz nach nationalen Schutzgebietskategorien.

6.3.1 Umsetzung der Vogelschutz-Richtlinie: Vogelschutzgebiete

76 Vogelarten der Vogelschutzrichtlinie sind in Baden-Württemberg für die Ausweisung der 90 Vogelschutzgebiete mit einer Gesamtfläche von insgesamt 398 218 ha relevant (Tab. 6.3-1). Die Gebietsabgrenzungen, die geschützten Vogelarten und die Erhaltungsziele für die Vogelschutzgebiete wurden in Baden-Württemberg durch die Vogelschutzgebietsverordnung (VSG-VO) vom 5. Feb-

Tab. 6.3-1: Natura 2000-Gebiete: Flächen- und Schutzgebietsanteile. Stand: Februar 2018.

	212 FFH-Gebiete		90 Vogelschutzgebiete		302 Natura 2000-Gebiete ¹⁾	
	Fläche in ha	Anteil an der Landesfläche ²⁾	Fläche in ha	Anteil an der Landesfläche ²⁾	Fläche in ha	Anteil an der Landesfläche ²⁾
Baden-Württemberg ²⁾	416 625	11,7 %	392 157	11,0 %	623 223	17,4 %
davon u. a. durch nachfolgenden Schutzstatus ³⁾ gesichert		Anteil an FFH-Gebieten		Anteil an Vogelschutzgebieten		Anteil an Natura 2000-Gebieten
Nationalpark	2 748	0,7 %	7 782	2,0 %	7 802	1,3 %
Naturschutzgebiete	79 311	19,04 %	51 986	13,3 %	80 973	13,0 %
Landschaftsschutzgebiete	161 842	38,8 %	142 278	36,3 %	227 266	36,5 %
Naturpark	58 913	14,1 %	83 674	21,3 %	127 849	20,5 %
sonstige Flächen ⁴⁾	113 812	27,3 %	106 438	27,1 %	179 333	28,8 %
zusätzlich Bodensee ⁵⁾	12.155		6 061		12 317	
Gesamt-Meldefläche¹⁾	428 780		398 218		635 540	

* Stand September 2015 für FFH-Gebietsanzahl infolge von Gebietszusammenlegung.

1) Überlagerung Vogelschutzgebiete mit FFH-Gebieten 191 459 ha, verbleiben 206 759 ha reine Vogelschutzgebiete und 237 322 ha reine FFH-Gebiete.

2) Landesfläche Baden-Württemberg 3 575 133 ha exkl. Bodensee.

3) Die Schutzgebietstypen sind absteigend nach der Höhe ihres Schutzstatus aufgelistet. Bei den angegebenen Schutzgebietsflächen wurde die Summe der Überlagerungsflächen aller jeweils dar- überstehenden, höherwertigen Schutzgebietstypen abgezogen.

4) Verbleibende Fläche der FFH-, Vogelschutz-, bzw. Natura 2000-Gebiete abzüglich der Flächen unter oben genanntem Schutzstatus.

5) Wasserfläche des Bodensees wird in der Statistik des Landes Baden-Württemberg nicht berücksichtigt.

Quellen: Stat. Bundesamt, Stand 31.12.2015 (Landesfläche Baden-Württemberg); LUBW, Stand Februar 2018 (Natura 2000-Gebiete, Flächen- und Schutzgebietsanteile).

Tab. 6.3-2 Übersicht über die Anhänge und die Anzahl der in Baden-Württemberg vorkommenden Lebensräume und Arten der FFH-Richtlinie. Stand: November 2017.

Anhang	Inhalt der FFH-Richtlinie	Anzahl der Arten bzw. LRT mit Vorkommen in Baden-Württemberg	Beispielart oder -LRT mit Vorkommen in Baden-Württemberg ¹⁾
Anhang I	Natürliche Lebensraumtypen von gemeinschaftlichem Interesse, für deren Erhaltung besondere Schutzgebiete ausgewiesen werden müssen (insgesamt 231 LRT).	53 LRT (davon 14 prioritäre)	Wacholderheiden Naturnahe Hochmoore Hainsimsen-Buchenwälder
Anhang II	Tier- und Pflanzenarten von gemeinschaftlichem Interesse, für deren Erhaltung besondere Schutzgebiete ausgewiesen werden müssen (insgesamt 911 Arten).	49 Tierarten (davon 4 prioritäre) 12 Pflanzenarten (davon eine prioritäre)	Bechsteinfledermaus Gelbbauchunke Strömer Dohlenkrebs 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 1026 Arten).	67 Tierarten 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).	21 Tierarten 51 Pflanzenarten	Illis Edelkrebs Gelber Enzian
Anhang VI	Verbotene Methoden und Mittel des Fangs, der Tötung und Beförderung		

LRT: Lebensraumtyp

1) Viele Arten der FFH-Richtlinie sind in mehreren Anhängen gelistet. In Baden-Württemberg kommen aktuell 170 Arten von gemeinschaftlichem Interesse vor.
Quellen: Europäische Kommission, Stand Januar 2007; LUBW, Stand Oktober 2013; BfN, November 2017.

LUBW

ruar 2010 festgelegt (www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Natur und Landschaft > Europäische Naturschutzrichtlinien > EG-Vogelschutzrichtlinie > Vogelschutzgebiete). Im Rahmen von Managementplänen werden die Erhaltungs- und Entwicklungsziele für die Gebiete dargestellt.

6.3.2 Umsetzung der FFH-Richtlinie: Gebiets- und Artenschutz

Die Umsetzung der FFH-Richtlinie soll die biologische Vielfalt in Europa langfristig sichern. Dafür müssen die EU-Mitgliedsstaaten für alle Lebensräume und Arten der FFH-Richtlinie einen 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.

In Baden-Württemberg gibt es insgesamt 212 FFH-Gebiete mit einer Gesamtfläche von 428 780 ha. Die FFH-Gebietsabgrenzungen, die geschützten Lebensraumtypen und Arten sowie die Erhaltungsziele sollen durch FFH-Verordnungen der Regierungspräsidien in Baden-Württemberg nunmehr rechtsverbindlich festgelegt werden. Informationen zu den Verordnungsverfahren sind einzusehen unter

www.ffh-bw.de. Weitere Grundlage für die Sicherung der FFH-Gebiete sind die Managementpläne, die für jedes FFH-Gebiet bis 2020 erstellt werden müssen.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Natur und Landschaft > Europäische Naturschutzrichtlinien > Management und Sicherung

6.3.3 FFH-Berichtspflicht

Die EU-Mitgliedsstaaten 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. Die Ergebnisse der neuen Berichtspflicht 2019 werden Mitte des Jahres 2019 auf den LUBW-Internetseiten veröffentlicht (www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Natur und Landschaft > Europäische Naturschutzrichtlinien > Berichtspflichten und Monitoring > FFH-Richtlinie). Berichtet wird 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“

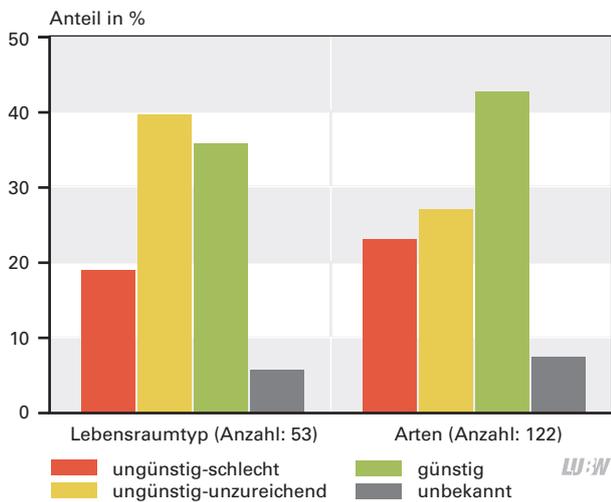


Abb. 6.3-1: Erhaltungszustand der Lebensraumtypen und Arten in Baden-Württemberg. Stand: 2012.

einen günstigen, „gelb“ einen ungünstig-unzureichenden und „rot“ einen ungünstig-schlechten Erhaltungszustand widerspiegelt. Unbekannt („grau“) ist der Erhaltungszustand, wenn die Datenlage keine genaue Bewertung zulässt. In Baden-Württemberg befinden sich nach der Berichtspflicht 2013 über 50 % der Lebensräume und Arten in einem ungünstig-schlechten bzw. ungünstig-unzureichendem Erhaltungszustand (Abb. 6.3-1). Dies betrifft insbesondere die Lebensstätten und Lebensraumtypen, die auf extensive Nutzung und Pflege durch den Menschen angewiesen sind. Ein Beispiel dafür sind die **Trockenen Heiden** (Abb. 6.3-2). Bei diesem Lebensraumtyp handelt es sich um gehölzarme Heiden auf nährstoffarmem, silikatischem bzw. oberflächlich entkalktem Untergrund. Sie stellen einen wichtigen Lebensraum für zahlreiche hochspezialisierte und deshalb oft gefährdete Tier- und Pflanzenarten dar. Der Erhaltungszustand der trockenen Heiden ist als ungünstig-unzurei-



Abb. 6.3-2: Trockene Heide. Foto: C. Wagner 2017.

chend eingestuft, da sie aufgrund fehlender extensiver Landnutzung und fortschreitender Verbuschung, aber auch erhöhtem Nährstoffeintrag und Nutzungsintensivierung in vielen Bereichen zurückgehen. Schutzmaßnahmen für trockene Heiden sind u. a. Entbuschungsmaßnahmen sowie die Unterstützung der traditionellen, extensiven Bewirtschaftung über Förderprogramme.

Eine Art, deren Erhaltungszustand bei der letzten FFH-Berichtspflicht nur als ungünstig-unzureichend eingestuft werden konnte, ist beispielsweise der Berg-Wohlverleih (*Arnica montana*) (Abb. 6.3-3). Sie bevorzugt nährstoff- und kalkarme, saure Böden und kommt vorzugsweise auf Magerwiesen und -weiden, auf Heiden und in Moorrandbereichen vor. Düngung verträgt die Art nicht. Ihre Lebensräume sind traditionell nur extensiv beweidet. Nutzungsaufgabe, aber auch Nährstoffeinträge haben maßgeblich zu Habitatverlusten und damit zu ihrem Rückgang beigetragen.

6.3.4 Umsetzung von Natura 2000

Arten- und Biotophilfskonzepte

In Baden-Württemberg befinden sich zahlreiche Arten und Lebensräume in einem ungünstigen Erhaltungszustand, was unter anderem aus der Berichtspflicht 2013 an die Europäische Union zum Erhaltungszustand der Arten und Lebensräumen nach der FFH-Richtlinie hervorgeht. 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 Biotophilfskonzepte erarbeitet. Die Konzepte haben zum Ziel,



Abb. 6.3-3: Berg-Wohlverleih. Foto: M. Waitzmann 2007.

konkrete Maßnahmen zur Verbesserung des Erhaltungszustandes der Arten und Lebensräume aufzuzeigen und so zur dauerhaften Erhaltung und Entwicklung beizutragen. Biotophilfskonzepte 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 Biotophilfskonzepte für Kalkmagerrasen, Kalkpionierassen und Wacholderheiden im nordöstlichen Baden-Württemberg sowie für Borstgrasrasen, trockene Heiden, Wacholderheiden, Kalkmagerrasen und Kalkpionierassen 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. Derzeit werden für folgende Arten Hilfskonzepte erarbeitet:

- Moorfrosch (*Rana arvalis*) – Amphibie,
- Juchtenkäfer (*Osmoderma eremita*) – Käfer,
- Feldhamster (*Cricetus cricetus*) – Säugetier,
- Zierliche Moosjungfer (*Leucorrhinia caudalis*) – Libelle,
- Liegendes Büchsenkraut (*Lindernia procumbens*) – Blütenpflanze,
- Sand-Silberscharte (*Jurinea cyanooides*) – Blütenpflanze,
- Kleefarn (*Marsilea quadrifolia*) – Farn,
- Goldener Scheckenfalter (*Eurodryas aurinia*) – Schmetterling und
- Wald-Wiesenvögelchen (*Coenonympha hero*) – Schmetterling.

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 Kom-

Gebietsmanagement von Natura 2000-Gebieten

Neben den Schutzgebietsausweisungen und der dem gesetzlichen Schutz der Natura 2000-Gebiete durch das Bundesnaturschutzgesetz werden in Baden-Württemberg die FFH- und Vogelschutzgebiete vorrangig über vertragliche Vereinbarungen mit den Landnutzern gesichert. Dazu zählt z. B. der Vertragsnaturschutz nach der Landschaftspflegerichtlinie. Danach erhalten Landwirte für besondere Bewirtschaftungsauflagen zum Schutz von Arten oder Lebensräumen eine finanzielle Förderung. Grundlage für alle Sicherungsmaßnahmen sind die Managementpläne, die für jedes Natura 2000-Gebiet bis 2020 aufgestellt werden. Diese Fachpläne erfassen die Vorkommen der Lebensraumtypen und der Lebensstätten der Arten in den Natura 2000-Gebieten und stellen konkrete Erhaltungs- und Entwicklungsmaßnahmen dar. Die Managementpläne sind auch eine Grundlage für Verträge nach der Landschaftspflegerichtlinie (LPR) oder dem Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT) des Landes Baden-Württemberg. Aktuell sind die Managementpläne für 140 von 212 FFH-Gebieten und 47 von 90 Vogelschutzgebieten fertiggestellt (Stand: März 2018, www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Natur und Landschaft > Europäische Naturschutzrichtlinien > Management und Sicherung > MaP Bearbeitungsstand). Die methodisch einheitliche Erarbeitung der Managementpläne wird durch landesweit verbindliche Vorgaben sichergestellt.

pensationsverzeichnisses erleichtert. Die Ökokonto-Verordnung (ÖKVO) und die Kompensationsverzeichnisverordnung (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 entweder selbst als Kompensationsmaßnahme für einen natur-

schutzrechtlichen Eingriff einsetzen oder an einen anderen Kompensationspflichtigen veräußern.

Im Kompensationsverzeichnis werden Ökokonto-Maßnahmen und festgelegte Kompensationsmaßnahmen (Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen) transparent aufgeführt. Die mehrfache Zuordnung von naturschutzrechtlichen Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen zu verschiedenen Eingriffsvorhaben und die anderweitige Überplanung von Kompensationsflächen werden somit 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 veranschaulicht die zeitliche Entwicklung der Anzahl an Ökokonto-Einzelmaßnahmen in Baden-Württemberg. Ein anerkannter Maßnahmenkomplex kann aus einer oder mehreren solcher zusammengehörigen Einzelmaßnahmen bestehen. Bevor eine Maßnahme einem Eingriffsvorhaben zu Kompensationszwecken zugeordnet

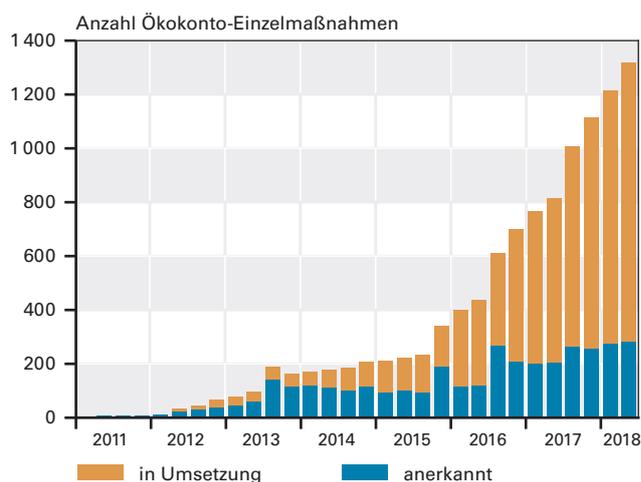


Abb. 6.4-1: Anzahl naturschutzrechtlicher Ökokonto-Maßnahmen in Baden-Württemberg. Quelle: UM, LUBW, Fachanwendung „Kompensationsverzeichnis & Ökokonto Baden-Württemberg“. Stand: 1. Juni 2018.

wird, kann sie der Maßnahmenträger jederzeit wieder aus dem Ökokonto löschen lassen. Dies erklärt die leichten Rückgänge der Maßnahmenzahlen im vierten Quartal 2013. In der Darstellung sind sämtliche Ökokonto-Maßnahmen mit Zustimmungsdatum seit dem Inkrafttreten der ÖKVO bis zum 1. Juni 2018 berücksichtigt.

6.5 Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Seit über 33 Jahren erfasst und bewertet die LUBW mit der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung (MUB) den „Gesundheitszustand“ von Ökosystemen im Land. Dazu werden u.a. an Dauerbeobachtungsflächen und -stellen in Wäldern, Grünland sowie an Fließ- und Stillgewässern, Untersuchungen hinsichtlich der folgenden Schwerpunktthemen vorgenommen:

- Wirkungen von Klimaveränderungen und Anpassungen der belebten Umwelt, wie die Ausbreitung wärmeliebender Insekten oder der frühere Eintritt von Wachstums- und Entwicklungsphasen bei Wildpflanzen (vgl. Kapitel 2 Klima),
- Toxizität und Anreicherung chemischer Stoffe in der Umwelt, z. B. Schwermetalle, organische Schadstoffe,
- Wirkungen des Einsatzes neuer Technologien auf die Umwelt, wie Gentechnik, Nanotechnologie und
- Analyse und Bewertung von Stoffhaushalten, z. B. die Anreicherung von Nährstoffen (Eutrophierung) aufgrund von Stickstoffeinträgen.

6.5.1 Nähr- und Schadstoffe an Waldstandorten

Waldbäume filtern aufgrund der großen Oberfläche von Blättern und Nadeln Schadstoffe und Feinstaub aus der Luft. Aufgrund der großen Kronenoberfläche kann dieser „Auskämmeffekt“ in Wäldern zwei- bis dreimal so hoch wie an Offenlandstandorten sein. Zusätzlich erfolgt eine (Nähr-)Stoffaufnahme über die Wurzeln.

Im Rahmen der medienübergreifenden Umweltbeobachtung werden an 16 Wald-Dauerbeobachtungsstandorten Buchenblattproben von mehreren Bäumen auf Nährstoff-, Stoff- und Schwermetallgehalte analysiert. Ziel ist es, die Auswirkungen der regionalen Immissionsbelastung der Vegetation am Beispiel von Buchen zu charakterisieren. Die Ergebnisse zeigen, dass die Anreicherung von Stoffen in den Buchenblättern zum Teil sehr deutlich ausfallen (Blei), für andere Stoffe (Schwefel) ist für die MUB-Untersuchungsflächen kein Trend festzustellen (Abb. 6.5-1).

Anfang der 1990er-Jahre wurden in den Buchenblättern mittlere **Stickstoffgehalte** (N) von etwa 23 000 mg/kg TM nachgewiesen. In den Folgejahren bis einschließlich 2004 lagen die Gehalte mit 28 500 mg/kg TM im Mittel aller Untersuchungsflächen deutlich höher. Der von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg im Mittel unter Fichten beobachtete Rückgang der Stickstoffdeposition ab 2005 zeigt sich auch in den Stickstoffgehalten der Buchenblätter der Standorte der medienübergreifenden Umweltbeobachtung [LUBW 2017]. Dabei können regionale, standortbedingte Unterschiede auftreten. Bei den letzten Untersuchungen im Jahr 2015 wurden an den Standorten Tauberbischofsheim (28 100 mg N/kg TM), Welzheim (28 100 mg N/kg TM) und Zwiefalten (27 600 mg N/kg TM) erneut die höchsten Werte gefunden.

Nationale und landesspezifische Luftreinhaltemaßnahmen zu Beginn der 1980er führten zu einem deutlichen Rückgang der Schwefelemissionen und damit der Schwefeinträge in die Wälder. In den Blattproben der Wald-Dauerbeobachtungsflächen lässt sich der Rückgang der Schwefelkonzentrationen in der Luft nicht nachweisen (Abb. 6.5-1). In den Untersuchungsjahren 2004 und 2011 erreichten die **Schwefelgehalte** (S) mit etwa 1800 mg/kg TM ein ähnlich hohes Niveau wie Mitte der 1980er-Jahre. Für 2015 ergab sich dagegen mit einem Mittelwert von 1525 mg S/kg TM wieder eine leichte Reduktion der Gehalte.

Zwischen 1988 und 2015 ging der **Bleigehalt** (Pb) in den Blattproben sehr stark zurück. Ende der 1980er Jahre und Anfang der 1990er-Jahre konnten noch hohe Konzentrationen dieses Schwermetalls in den Buchenblättern nachgewiesen werden. Sie betragen in den Jahren 1985/86 im Mittel 2,65 mg Pb/kg TM. Inzwischen sind die Bleigehalte an allen Standorten um über 90 % zurückgegangen. Grund hierfür sind die gesetzlichen Regelungen zum Verbot von Blei in Kraftstoffen.

Auch für **Cadmium** (Cd) wurde ein Rückgang der Gehalte festgestellt, wenngleich nicht in demselben Ausmaß. So lagen die Cd-Gehalte Mitte bis Ende der 1980er-Jahre im Mittel noch bei rund 0,19 mg Cd/kg TM, 2015 dagegen bei rund 0,10 mg Cd/kg TM.

Die Konzentrationen des wichtigen Nährelements **Magnesium** schwanken im Jahresdurchschnitt aller Untersuchungsflächen zwischen 1711 mg Mg/kg TM im Jahr 2015 und 2091 mg Mg/kg TM in den Jahren 1987/88. Für die er-

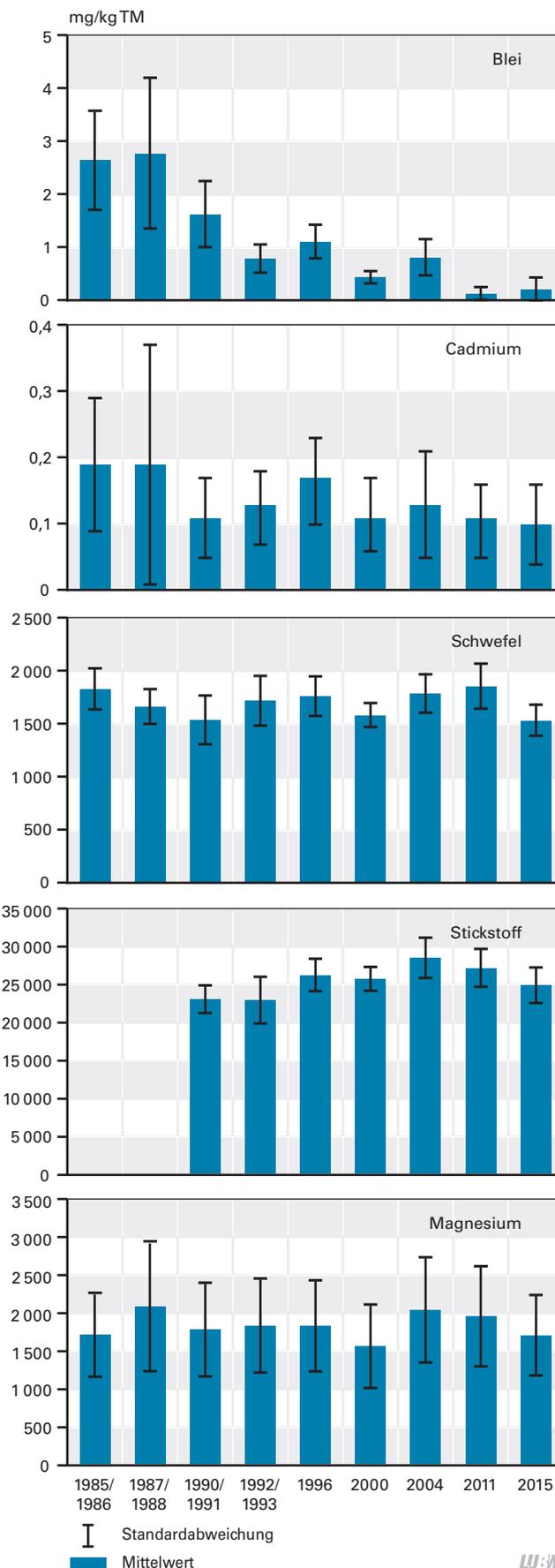


Abb. 6.5-1: Mittlere Gehalte von Stickstoff, Schwefel, Blei, Cadmium und Magnesium in Buchenblättern an den Wald-Dauerbeobachtungsflächen der LUBW angegeben in mg/kg Trockenmasse. Angegeben sind Mittelwert und Standardabweichung.

mittelten Mg-Gehalte zeichnen wahrscheinlich die weiträumigen Kalkungsmaßnahmen mit Dolomitskalk verantwortlich, dessen Inhaltsstoff Magnesium von den Buchen über die Wurzeln aufgenommen wird.

6.5.2 Versauerungserscheinungen bei Bächen und Seen des Schwarzwaldes und des Odenwaldes

Der sogenannte „Saure Regen“, verursacht durch luftgetragene Schadstoffe, führte zu Umweltschäden in Wäldern und Gewässern mit der Folge der biologischen Verarmung. Seit Mitte der 1980er-Jahre untersucht die LUBW mögliche Auswirkungen der Säureinträge in Bächen im Schwarzwald und Odenwald sowie in Karseen des Schwarzwaldes auf wirbellose Tiere, Amphibien und Fische (Abb. 6.5-2).

Die meisten quellennahen Bach-Probestellen sind nach aktuellen **pH-Wert**-Messungen überwiegend neutral bis episodisch schwach sauer (mittlerer pH meist > 6,0 und Minima bis 5,5, selten darunter). Blauenbach und Schleifenbach sind permanent neutral (pH > 6,5). Der Kaltenbach, permanent sauer (mittlerer pH < 5,5 mit Minima unter 4,5), ist der sauerste Bach. Die fünf untersuchten Karseen des Schwarzwaldes (Schurmsee, Huzenbachersee, Herrenwiesensee, Buhlbachsee, Ellbachsee) weisen mit Ausnahme von Zeiten mit Starkregen oder Schneeschmelze derzeit pH-Werte zwischen 4,5 und 6,2 auf. Seit Beginn der Untersuchungen Mitte der 1980er Jahre hat sich der pH-Wert in den Bächen nur wenig verändert (+/- 0,3 pH). Hierin zeigt sich der große Einfluss der pufferschwachen Ausgangsgesteine (z. B. Buntsandstein) im Schwarzwald und Odenwald, der Hochmoore und der Waldvegetation auf den pH-Wert in diesen versauerungsgefährdeten Gewässern.

Für die **wirbellosen Tiere** der Gewässersohle (Makrozoobenthos) wurde das Verfahren zur Erhebung und Bioindikation des Säurezustandes der Gewässer mit Untersuchungen ab 1985 in Baden-Württemberg begründet [UM 1992], seither aber mehrfach geändert. In den Jahren 2012 bis 2014 erfolgte im Rahmen der MUB die erneute Erfassung des Makrozoobenthos in elf kleinen, weitgehend naturnahen Fließgewässern. Alle Bäche wiesen eine relativ geringe Artenvielfalt wirbelloser Tiere auf. Der saure Kaltenbach ist mit durchschnittlich 11 Makrozoobenthos-Arten je Untersuchung sehr artenarm, der Vordere Seebach mit durchschnittlich 28 Arten ist der artenreichste der elf Bäche.

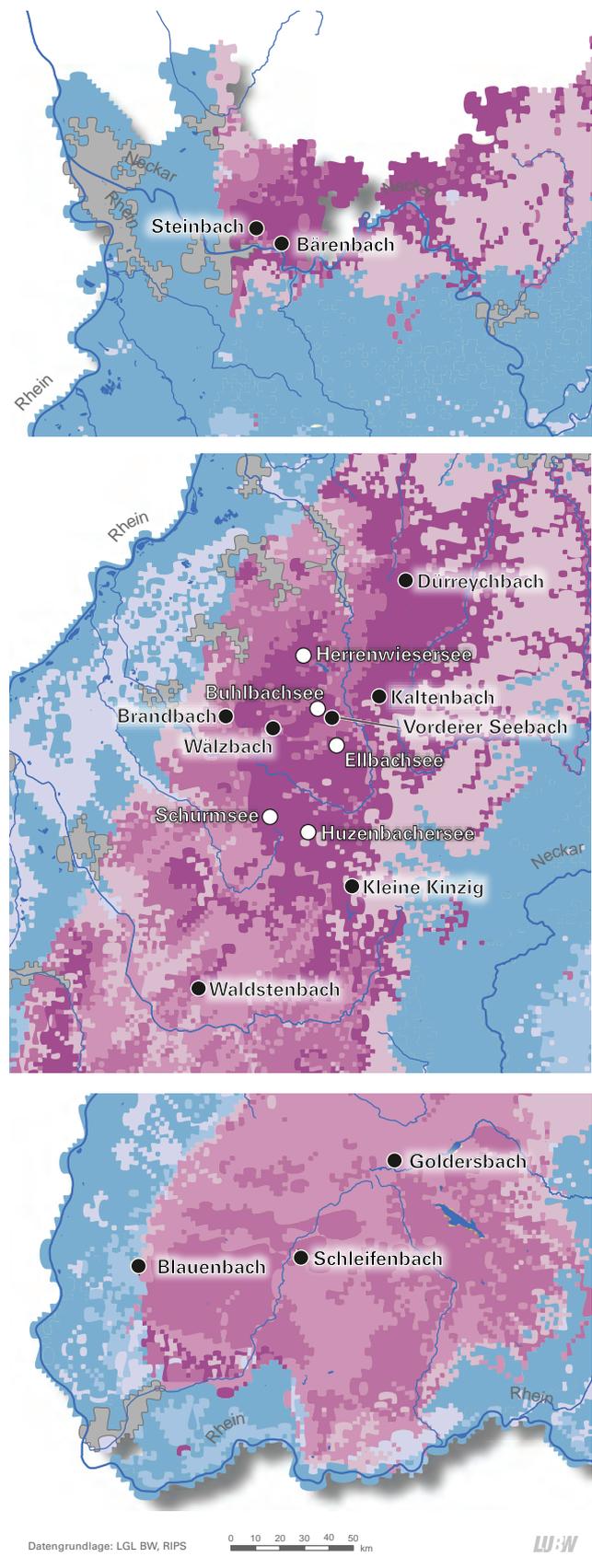


Abb. 6-5-2: Lage der untersuchten Bäche und Seen.

Die im Makrozoobenthos vorkommenden Arten lassen Rückschlüsse auf den **Säurezustand** eines Gewässers zu (Bioindikation des Säuregrades). Die Arten reagieren unterschiedlich empfindlich auf den Säurezustand und sind entsprechend eingestuft. Nach dem neu aufgestellten, vom methodischen Fehler unabhängigen Säureindex-Verfahren ist an sieben der elf Bäche mit probestellengleichen Erhebungen seit Mitte der 1980er-Jahre eine Verbesserung des Säurezustandes um eine halbe Klasse erkennbar, aber wegen der wenigen Altdaten statistisch nicht absicherbar (Abb. 6.5-3). Für den biologisch indizierten Säurezustand, wie auch für die Entwicklung des pH-Wertes, kann keine Entwarnung gegeben werden. Alle elf Bäche weisen noch immer deutliche Defizite auf, besonders der Kaltenbach, an dem sich beim Makrozoobenthos praktisch keine positive Entwicklung des indizierten Säurezustandes zeigt.

Für Amphibien hat sich die Situation aufgrund zurückgegangener Luftverschmutzung gebessert (Tab. 6.5-1).

Der **Laich von Molchen, Grasfröschen und Erdkröten** wies zwischen Ende der 1980er Jahre und Mitte der 1990er-Jahre in den fünf untersuchten Schwarzwald-Seen zum Teil sehr hohe Sterberaten auf, sofern es überhaupt zum Ablachen kam. Bereits in der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre wurden mehr Arten und mehr Laichballen nachgewiesen [LUBW 2012]. 2002 wurden erstmals auch am Schurmsee und am Herrenwiesersee einzelne Laichschnüre von Erdkröten gesichtet, wenn auch mit bis zu 80 % beim Grasfrosch noch sehr hohe Sterberaten zu beobachten waren. 2012 wurden zumindest kleinere Laichbestände von allen Amphibienarten, die typischerweise in den Hochlagen des Schwarzwaldes vorkommen, an allen fünf Seen nachgewiesen.

Bei der neuesten Untersuchung aus dem Jahr 2016 wurden an vier von fünf Karseen nur noch Laichschäden von weni-

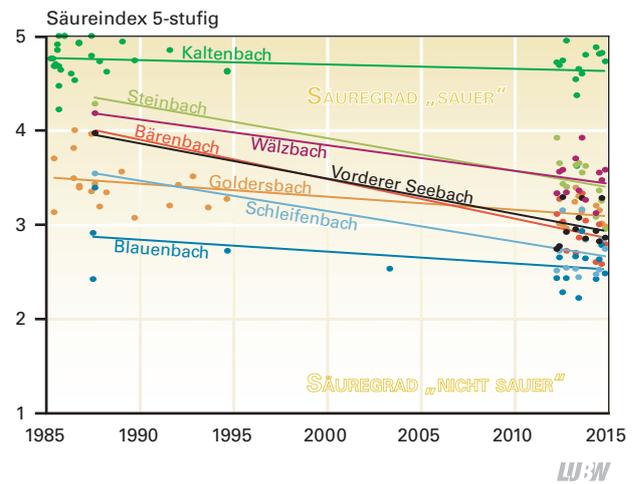


Abb. 6.5-3: Säureindex-Bewertung (Mittel aus den Makrozoobenthos-Indikatorwerten) über 7 Bäche mit probestellengleichen Altdaten und ohne sonstige Veränderungen, n = 114, sowie dem Kaltenbach (Altdaten an Nebenbach und unterhalb der aktuellen Probestelle, n = 41).

ger als 5 % bei Grasfrosch und Erdkröte beobachtet. Ausnahme bleibt der Schurmsee mit 5 % Laichschäden beim Grasfrosch und 40 % Laichschäden bei Erdkröten. Auswirkungen der Versauerung auf die Erhaltung der Populationen sind deshalb heute nicht mehr zu befürchten. Diese Entwicklung korrespondiert mit dem Rückgang der säurebildenden SO₄-Deposition, allerdings mit mehrjähriger zeitlicher Verzögerung. Daraus folgernd hat sich in den letzten Jahren die versauerungsbedingte Situation für Amphibien kontinuierlich verbessert.

An zwölf Fließgewässern werden seit Mitte der 1980er-Jahre die **Bachforellenpopulationen** erhoben. An einzelnen Bächen kam es in der Vergangenheit immer wieder zum Totalausfall eines ganzen Jungfischjahrgangs. Solche Schäden bei den Bachforellenpopulationen konnten seit Anfang des Jahrtausends nicht mehr nachgewiesen werden. In den Jahren 2012 bis 2015 wurden an drei unterschiedlich

Tab. 6.5-1: Abgeschätzte Populationsgrößen an fünf untersuchten Seen des Schwarzwaldes sowie deren Veränderungen gegenüber der vorangegangenen Untersuchung basierend auf Experteneinschätzung.

Gewässer	Amphibienpopulationen in Seen des Schwarzwaldes														
	1987-1990			1996			2002			2012			2016		
Buhlbachsee	M	F	K	M	F	K	M	F	K	M	F+	K++	M	F+	K
Eilbachsee	M	F	K	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++	M	F	K+
Huzenbachersee	M	F	K	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++	M	F	K+

grün = >200 Laichpaare
gelb = >10 bis 200 Laichpaare
rot = <10 Laichpaare
0 = kein Fund

M = Molche,
F = Grasfrosch
K = Erdkröte

+ = Zunahme
- = Abnahme
Doppelzeichen = starke Veränderung

LUBW



Abb. 6.5-4: Frisch geschlüpfte Bachforellenlarven aus dem Kaltenbach. Foto: LUBW.

sauren Bächen im Nordschwarzwald durch die LUBW Untersuchungen an Bachforelleneier zur Überprüfung der Fischentwicklung durchgeführt (Abb. 6.5-4).

Für die Fischentwicklung ist der pH-Wert des Gewässers von entscheidender Bedeutung. Aus diesem Grund wurde der pH-Wert der zwölf Bäche mehrmals im Jahr an verschiedenen Standorten erfasst.

Die meiste Zeit des Jahres wurden pH-Werte gemessen, die für Bachforellen nicht oder kaum schädlich sind. Bei Schneeschmelze und nach Starkregen wird das Bachwasser durch besonders sauren oberflächennahen Abfluss bestimmt und der pH-Wert kann um 1-2 Einheiten sinken, was einer 10- bis 100-fachen Säurebelastung entspricht. Entscheidend ist, ob der pH-Wert im Bachwasser einen Wert unterschreitet, der für Fische, Eiern oder Larven toxisch ist. So wurde am Kaltenbach im Jahr 2016 ein minimaler pH-Wert von 3,6 gemessen. Die wenigen in diesem Bachabschnitt lebenden, adulten Fische haben diesen extremen Säureschub dennoch überlebt. Allerdings konnte in diesem Jahr keine Reproduktion festgestellt werden. Die Bachforelleneier und -larven der Expositionsversuche wiesen an diesem stark sauren Bach Mortalitätsraten von 40 % bis 80 % auf. An neutralen bis schwach sauren Gewässern wie der Kleinen Kinzig betrug die Mortalitätsrate unter 10 %.

6.5.3 Quecksilber und organische Schadstoffe in Fischen und Muscheln

Die chemische Verschmutzung von Oberflächengewässern stellt eine Gefahr für die aquatische Umwelt und nicht zuletzt für die menschliche Gesundheit dar.

Mit der Richtlinie 2000/60/EG und den Änderungsrichtlinien 2008/105/EG und 2013/39/EU verfolgt die EU das Ziel, anhand von festgelegten Umweltqualitätsnormen (UQN) für bestimmte Schadstoffe einen guten chemischen Zustand der Oberflächengewässer zu erreichen (vgl. Kapitel 5.2). Für die Erreichung eines guten chemischen Zustands sollen die Ursachen der chemischen Gewässerverschmutzung ermittelt und die Schadstoffeinträge bereits an ihrer Quelle vermindert oder gar verhindert werden.

In Baden-Württemberg werden seit 2012 Fische und Muscheln auf Schadstoffe untersucht (Biotamonitoring). Dazu werden an insgesamt neun Untersuchungsstellen an Rhein, Neckar und Donau (Abb. 6.5-5) bestimmte Fische und Muscheln von definierter Größe entnommen und chemisch analysiert. Die in Fischen und Muscheln gemessenen Konzentrationen zeigen, dass bei einigen der untersuchten Schadstoffe eine Anreicherung über die Nahrungskette erfolgt (Bioakkumulation). Überschreitungen von UQN wer-



- Probenahmestellen von Fischen und Muscheln
- Probenahmestellen von Fischen

Abb. 6.5-5: Entnahmestellen von Fischen und Muscheln für den Zeitraum 2012 bis 2016.

Tabelle 6.5-2: Schadstoffe in Fischen und Muscheln des Rheins, des Neckars und der Donau für den Zeitraum 2012 bis 2016. Die Schadstoffgehalte sowie die Werte für die Umweltqualitätsnormen (UQN) sind in µg/kg Nassgewicht angegeben (n. u. = nicht untersucht).

untersuchte Biota	Stoff	UQN µg/kg	Rhein µg/kg	Neckar µg/kg	Donau µg/kg
Fische	Dioxine und dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle	0,0065	0,0003 - 0,001	0,0003 - 0,003	0,0003 - 0,0015
Fische	Hexachlorbenzol	10	<0,05 - 3,4	0,06 - 0,4	<0,05 - 0,4
Fische	Hexachlorbutadien	55	alle Werte <10	alle Werte <10	alle Werte <10
Fische	p,p'-Dicofol	33	alle Werte <10	alle Werte <10	alle Werte <10
Fische	Hexabromcyclododecan	167	alle Werte <18	alle Werte <18	alle Werte <18
Fische	cis-Heptachlorepoxid	0,0067 ¹⁾	alle Werte <0,02	<0,02 - 0,03	alle Werte <0,02
Fische	Heptachlor	0,0067 ¹⁾	alle Werte <0,05	alle Werte <0,05	alle Werte <0,05
Fische	Quecksilber	20	50 - 130	29 - 170	41 - 95
Fische	Perfluorooctansulfonsäure	9,1	3,7 - 29	2,9 - 25	0,9 - 18
Fische	Polybromierte Diphenylether	0,0085	0,3 - 1,5	0,3 - 3,9	0,2 - 1,1
Muscheln	Dioxine und dioxinähnliche polychloriert Biphenyle	0,0065	0,0003 - 0,002	0,0035 - 0,035	n. u.
Muscheln	Fluoranthen	30	0,4 - 23	1 - 270	n. u.
Muscheln	Benzo(a)pyren	5	<0,3 - 2,5	<0,3 - 9	n. u.

1) UQN < Bestimmungsgrenze

LUBW

den im Zeitraum 2012 bis 2016 bei Fischen durchgehend an allen Probenahmestellen für Quecksilber (bis zu 8,5-fach) und bromierte Diphenylether (BDE) (bis zu 462-fach) sowie in einzelnen Jahren bei einigen Probenahmestellen für cis-Heptachlorepoxid (bis zu 4,7-fach) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) (bis zu 3,2-fach) festgestellt. Bei Muscheln aus dem Neckar wurden zeitweise die UQN für Dioxine (bis zu 5,5-fach), Fluoranthen (bis zu 9fach) und Benzo(a)pyren (bis zu 1,8-fach) überschritten (Tab. 6.5-2).

6.5.4 PFC in Regenwürmern belasteter landwirtschaftlicher Flächen

Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) sind Stoffe, die breiten Einsatz finden und mittlerweile weltweit in allen Umweltmedien nachgewiesen werden. Einige der als persistent und toxisch beschriebenen Substanzen reichern sich in Mensch und Wildtier an und können dort negative Auswirkungen auf Leber, Immunsystem und Fortpflanzung ausüben.

Zuletzt wurden in den Kreisen Rastatt und Baden-Baden auf einer landwirtschaftlichen Fläche von rund 500 ha erhöhte Werte von PFC nachgewiesen. Am Beispiel der Regenwürmer, einer von diesem Schadensfall betroffenen Tiergruppe, wurde die Anreicherung von PFC in Organismen untersucht. Es wurden die Gehalte von 18 verschie-

denen PFC in Boden und Regenwürmern auf sieben landwirtschaftlich genutzten Flächen Mittelbadens gemessen, fünf PFC belastete Flächen und zwei unbelastete Referenzstandorte.

In den Regenwürmern aller sieben Probenahmestellen fand, verglichen mit den jeweiligen Bodenproben, eine beträchtliche Anreicherung statt. Die Bioakkumulationsfaktoren lagen zwischen 21 und 347 (Tab. 6.5-3). Aufgrund ihrer langen Halbwertszeit im Organismus reichern sich vor allem langkettige PFC-Verbindungen (> 6 Kohlenstoff-(C-)Atome) stark an. So machte auch in den Regenwür-

Tab. 6.5-3: PFC-Summengehalte der Regenwürmer und Bodenproben (0-30 cm) der einzelnen Probestellen.

Probestelle	PFC-Gehalt in µg/kg TS		Akku- mulations- faktor
	Boden	Regen- würmer	
Landkreis Karlsruhe			
Referenzstelle 1	< BG	137	137
Landkreis Rastatt			
Probestelle 1	465	45 430	98
Stadtkreis Baden-Baden			
Probestelle 2	383	12 752	33
Probestelle 3	306	67 994	222
Referenzstelle 2	1	347	347
Probestelle 4	51	1 086	21
Probestelle 5	343	35 133	102

TS: Trockensubstanz; <BG: Messwert unterhalb der Bestimmungsgrenze

LUBW

mern die Summe der gefundenen Verbindungen Perfluor-octansulfonsäure (C8), Perfluordecansäure (C10) und Perfluordodecansäure (C12) mit 59,9 % bis 91,4 % den Hauptanteil der gefundenen PFC aus.

6.5.5 Wanderfalkeneier als Zeiger für die Schadstoffbelastung der Umwelt

Als Endglieder der Nahrungskette reichern Wanderfalken Schadstoffe besonders an. Deshalb werden abgestorbene Falkeneier seit 1999 von der LUBW auf umweltrelevante Verdachtsstoffe untersucht. Von den durch die Stockholmer Konvention geächteten Organohalogen-Verbindungen, den polychlorierten Biphenylen (PCB) und den polychlorierten Dibenzodioxinen sowie -furanen dominieren in Wanderfalkeneiern nach wie vor der Insektizid-Metabolit Dichlordiphenyltrichlorethan (DDE) sowie hochgiftige PCB. Die Belastung des für den Bestandseinbruch der Wanderfalken in den 1960er-Jahren verantwortlichen DDE ist zwar dank des weitgehenden internationalen Verbotes von DDT auf Werte von im Mittel 5 µg/g TM zurückgegangen, überschreitet damit aber immer noch den Grenzwert für Hühnereier, die zum Verzehr vorgesehen sind, um das 50-fache.

Quecksilber ist in Wanderfalkeneiern zwar in wesentlich geringeren Konzentrationen zu finden, bewirkt aber aufgrund seiner starken Toxizität bereits in diesen Konzentrationen eine signifikante Reduktion der Schalendicke [LUBW 2012]. Etwa 70 % des Gesamt-Quecksilbers liegen dabei als Methylquecksilber vor, das mehr als hundertmal toxischer als Quecksilber selbst ist und Auswirkungen auf Gehirn, Embryonalentwicklung und das Hormonsystem zeigt. Schon bei wesentlich geringeren Konzentrationen als sie in Wanderfalkeneiern gefunden wurden, zeigten sich beim Ibis Auswirkungen auf die Fortpflanzung. Die Quecksilber-Werte in den Eiern von Wanderfalken können daher durchaus Auswirkungen auf die Reproduktionsrate haben.

Die Anreicherung von **polybromierten Diphenylethern** (PBDE) in Wanderfalkeneiern, einer Gruppe von Flammenschutzmitteln, ist dank des weitgehenden Verbots dieser Stoffgruppe in den frühen 2000er-Jahren deutlich gesunken. PBDE kann z. B. über eine Interaktion mit dem Hormonsystem zur Schädigung der Gehirnentwicklung führen. Mittlerweile finden sich in Wanderfalkeneiern Werte um 125 ng/g. Zugelassene Ersatzstoffe, die statt der verbotenen

oder beschränkten „klassischen“ Flammenschutzmittel eingesetzt werden, tauchen allerdings nun ebenfalls in der Umwelt auf. Auch konnten über 200 weitgehend unbekannt, i. d. R. polybromierte Verbindungen in Wanderfalkeneiern nachgewiesen werden.

Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) stehen derzeit besonders im Fokus von Politik und Öffentlichkeit (vgl. Kapitel 6.5 4). Die als krebserzeugend und reproduktionstoxisch geltende Leitsubstanz Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) weist in Wanderfalkeneiern das höchste Kontaminationsniveau von allen untersuchten PFC auf und überschreitet in etwa 10 % der Fälle die Wirkungsschwelle im Hühnerei, die in Toxizitätsstudien zu schädlichen Effekten führte. In den Vogeleiern wurde eine zunehmende Akkumulation von Perfluorcarbonsäuren mit steigender Kettenlänge von C8 bis C13 beobachtet.

Aus der Stoffgruppe der **Fuortelomersulfonate**, die mittlerweile als weniger bioakkumulative Ersatzstoffe zu den Perfluoralkylsulfonaten eingesetzt werden, lässt sich in geringen Konzentrationen 8 : 2 Fluortelomersulfonat in Wanderfalkeneiern nachweisen.

Diethylhexylphthalat, ein reproduktionstoxisches und möglicherweise krebserzeugendes Phthalate, wurde in der Hälfte der untersuchten Wanderfalkeneier gefunden.

Trotz der genannten Nachweise kann allerdings auch für viele Verdachtsstoffe hinsichtlich der Anreicherung in Wanderfalkeneiern Entwarnung gegeben werden. So wurden einige untersuchte Substanzen der Avermectine, der

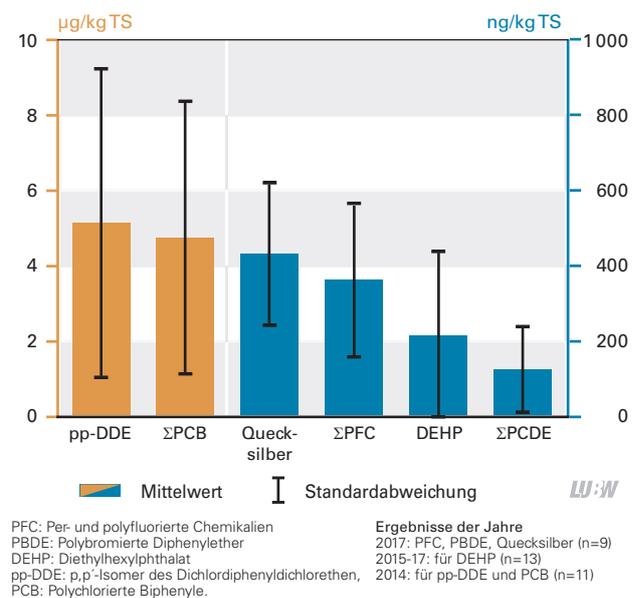


Abb. 6.5-5: Schadstoffgehalte der Wanderfalkeneier in µg/g Trockensubstanz.

Biozide, der nichtchlorierten Pestizide sowie der kurzketigen Chlorparaffine, Organozinnverbindungen, Moschusxylol, Bisphenol A und Tetrabrombisphenol A nicht oberhalb der Bestimmungsgrenze im Wanderfalkeneiern detektiert.

Dennoch zeigen die Untersuchungsergebnisse insgesamt die Notwendigkeit auf, die Belastung unserer Umwelt mit Schadstoffen weiterhin zu reduzieren.

6.5.6 Monitoring gentechnisch veränderter Rapspflanzen

In der EU ist der kommerzielle Anbau von gentechnisch verändertem Raps nicht erlaubt. Zulässig sind aber Import und Verarbeitung von bestimmten gentechnisch veränderten Rapslinien. Somit ist nicht auszuschließen, dass gentechnisch veränderter Raps im Umfeld von Bahnhöfen, Hafenanlagen oder Ölmühlen, an denen üblicherweise große Saatgutmengen umgeschlagen oder verarbeitet werden, durch Verluste etablieren kann. Transgener Raps kann auch über konventionelles Saatgut, das mit gentechnisch verändertem Rapssamen kontaminiert ist, in die Umwelt gelangen.

Seit 2009 wird in Baden-Württemberg von der LUBW in Zusammenarbeit mit den Landwirtschaftsbehörden jährlich stichprobenartig überprüft, ob wildwachsende Rapspflanzen gentechnische Veränderungen aufweisen. Untersucht werden Rapspflanzen, die auf verdächtigen Flächen wie Bahnverladestellen, Häfen (Abb. 6.5-6), Ölmühlen oder entlang von Transportwegen vorkommen. In den Jahren 2015 bis 2017 wurden ca. 2300 Pflanzen von rund 80 Standorten überprüft. Bei keiner der untersuchten Rapspflanzen wurde eine gentechnische Veränderung festgestellt.



Abb. 6.5-6: Rapspflanzen im Hafen Mannheim. Foto: LUBW.

6.5.7 Reaktiver Stickstoff in der Umwelt

Reaktiver Stickstoff – das sind vor allem Ammoniak (reduzierter Stickstoff – NH_3), Nitrat und Stickoxide (oxidierter Stickstoff) und weitere auch organische Stickstoffverbindungen – bildet eine unersetzbare Grundlage für die Nahrungsmittelproduktion und für nachwachsende Rohstoffe. Gelangt reaktiver Stickstoff jedoch in zu hohen Mengen in die Umwelt, so wird er zu einer bedeutenden Belastung für die Gesundheit der Menschen und für den Erhalt unserer Ökosysteme.

Mit dem Verbundvorhaben **StickstoffBW** will die Landesregierung die Stickstoffüberschüsse auf ein verträgliches Maß zurückführen. StickstoffBW läuft unter der Federführung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft. Ein Kernziel von StickstoffBW ist die Ermittlung der Belastungsgrenzen für reaktiven Stickstoff als Grundlage für die Entwicklung von zielgerichteten Instrumenten und Maßnahmen zur effizienten Reduzierung der N-Überschüsse und -Emissionen. In Jahr 2017 wurden dazu zunächst noch grobe Interimskarten veröffentlicht. Drei Typen von Belastungsgrenzen werden unterschieden:

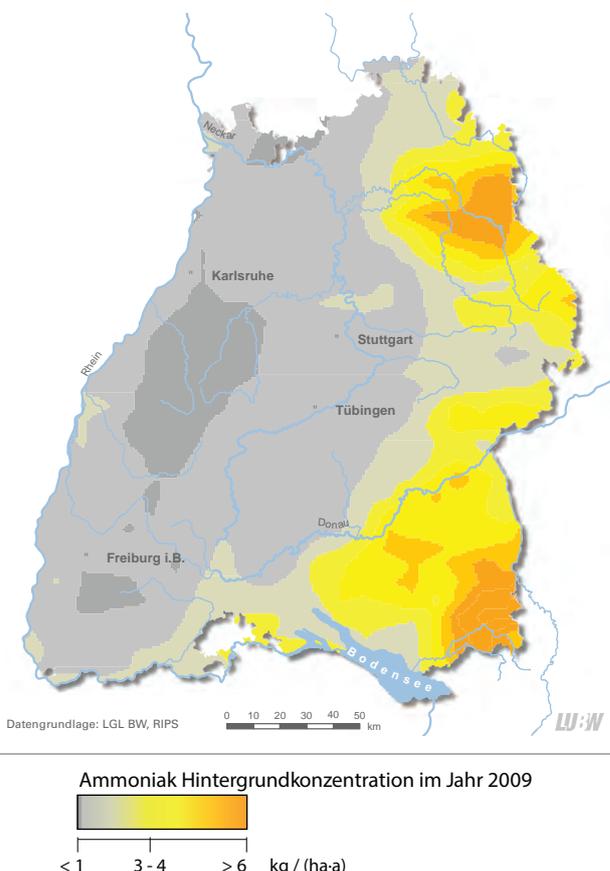


Abb. 6.5-7: Hintergrundkonzentrationen von Ammoniak im Jahr 2009.

Kritische Konzentrationen in den Umweltmedien (Critical Level)

Zur Begrenzung von Ammoniakkonzentrationen in der Luft wurde von der UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) Critical Level für niedere Pflanzen ($1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) festgelegt. Dieser wird jedoch nahezu flächendeckend überschritten (Abb. 6.5-7). Der Mittelwert der NH_3 -Konzentration liegt bei $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sehr deutliche Belastungsschwerpunkte liegen in den Regionen mit intensiver Tierhaltung und hoher Biogasanlagendichte.

Kritische Eintragsfrachten in die Ökosysteme (Critical Loads)

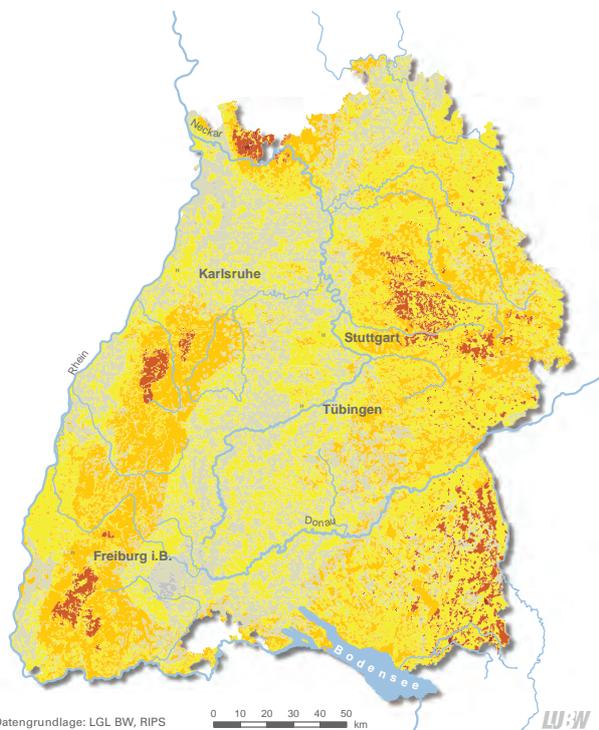
Über nasse und trockene Deposition gelangt Ammoniak aus der Landwirtschaft auch in die Böden der natürlichen und naturnahen Ökosysteme. Dazu kommt noch einmal rund die gleiche Menge an deponierten Stickoxiden aus Industrie und Verkehr. Die Stickstoffgesamtdeposition liegt im Mittel bei rund $15 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$. Belastungsschwerpunkte sind exponierte, bewaldete Höhenlagen sowie Regionen mit erhöhtem Verkehrsaufkommen, intensiver Tierhaltung und vielen Biogasanlagen (Abb. 6.5-8). Als langfristige Zielwerte zum Schutz der empfindlichsten Ökosysteme gelten N-De-

positionen von 3 bis $5 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ (Critical Load für besonders empfindliche oligotrophe Stillgewässer, Dünen, Hochmoore, Silikatfelsen und Kiefernwälder).

Kritische Überschüsse in der Landwirtschaft (Critical Surplus)

Der Stickstoffüberschuss der Landwirtschaft hat sich in den letzten 30 bis 40 Jahren kaum verändert und liegt aktuell im Mittel bei rund $100 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$. Rund ein Drittel entweicht als Ammoniak in die Atmosphäre. Erhöhte Überschüsse werden überwiegend in Verbindung mit erhöhter Dichte an Tierhaltungen, Biogasanlagen und dem Anbau von bestimmten Kulturen (z. B. Gemüsebau) festgestellt (Abb. 6.5-9).

Um den Erhalt schutzwürdiger niederer und höherer Pflanzen vor zu hohen Konzentrationen in der Atmosphäre dauerhaft zu sichern, müssten die NH_3 -Emissionen erheblich reduziert werden. Um weitere Umweltkompartimente ebenfalls vor Einträgen reaktiver N-Verbindungen zu schützen (z. B. vor Lachgas für das Klima und die Ozonschicht oder Nitrat für die Gewässer), sollten insgesamt die N-Überschüsse in der Landwirtschaft deutlich reduziert werden. Zum Schutz der Umwelt wird ein sog. „Critical Sur-



Stickstoff Hintergrunddeposition im Jahr 2009

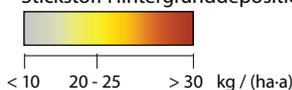
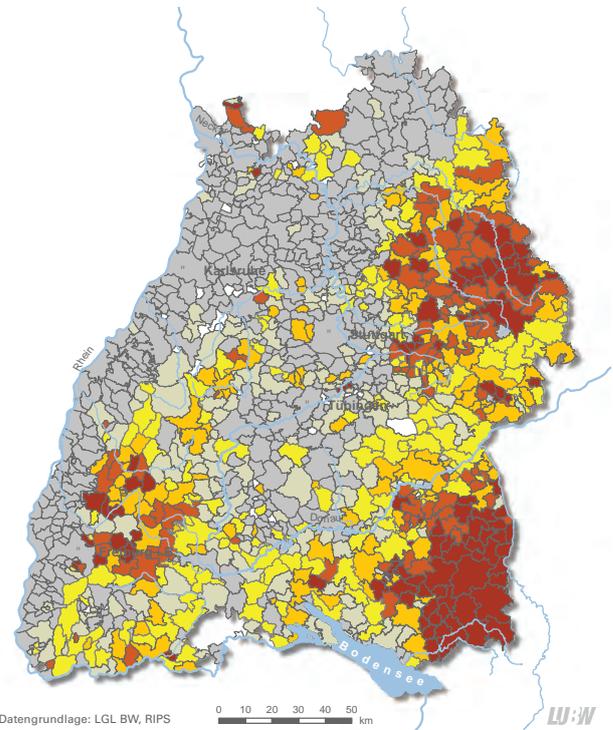


Abb. 6.5-8: Stickstoffdeposition im Jahr 2009.



Überschuss Stickstoff Hoftorbilanz

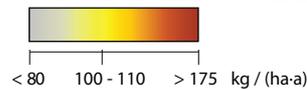


Abb. 6.5-9: Stickstoffüberschuss in der Landwirtschaft.

plus“ in Höhe von 30 bis 50 kg/(ha · a) diskutiert. Angesichts der derzeit noch sehr viel höheren tatsächlichen Überschüsse sind das jedoch sehr langfristige Zielwerte und agrartechnisch auch nicht für alle Betriebssysteme erreichbar. Auf Bundesebene ist für das Jahr 2030 ein Zielwert von 70 kg/(ha · a) vereinbart. Nach der neuen Stoffstrombilanzverordnung müssen Betriebe bei der Bewertung der Ergebnisse der Bilanzierung im dreijährigen Durchschnitt

entweder einen Bilanzwert von 175 kg/(ha · a) zugrunde legen, oder unter Berücksichtigung von Besonderheiten bei der Bewirtschaftung selbst einen zulässigen Bilanzwert als Basis für die Bewertung ableiten. Der Wert von 175 kg/(ha · a) entspricht dem höchsten Mittelwert für die Gemeinden in Baden-Württemberg, und wird daher wahrscheinlich nicht zu einer wesentlichen Verbesserung der derzeitigen Situation im Land beitragen.

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. 40 % des Waldes sind im Eigentum der Städte und Gemeinden (Körperschaften). Weitere 36 % der Gesamtwaldfläche sind Privatwald, überwiegend in kleinparzelliertem Besitz. 24 % gehören als Staatswald dem Land Baden-Württemberg und rund 0,5 % der Bundesrepublik Deutschland.

Die Waldfläche hat von 1953 bis 2010 um rund 140 000 ha zugenommen. Dieser Prozess hat sich in den letzten Jahren verlangsamt. Von 2002 bis 2012 wuchs die Waldfläche noch um knapp 10 000 ha [BMEL 2012]. Vor allem in den walddreichen Landesteilen ist die Waldfläche durch natürliche

Wiederbewaldung auf ehemals landwirtschaftlichen Flächen stetig größer geworden. In den relativ walddarmen Verdichtungsräumen sind durch Siedlungs- und Verkehrsentwicklung dagegen die größten Waldverluste aufgetreten.

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 na-

Tab. 6.6-1: Geschützte und naturschutzwichtige Waldflächen. Quelle: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA). Stand: 2017.

Schutzkategorie		Waldfläche in ha	Anteil am Gesamtwald ¹⁾
Wald nach § 32 LWaldG	Bannwald ²⁽⁴⁾	5 674	0,4 %
Wald in Schutzgebieten nach Naturschutzgesetz	Wald in Kernzone Biosphärengebiet	2 779	0,2 %
	Bannwald und Wald in Kernzonen Biosphärengebiet (doppelt verordnet)	1 765	0,1 %
	dem Prozessschutz dienende Flächen (PdF) gesamt	10 219	0,7 %
Wald nach § 32 LWaldG	Schonwald	17 376	1,2 %
Wald in Schutzgebieten nach Naturschutzgesetz	Wald in Naturschutzgebieten ²⁾	49 408	3,5 %
	Wald in Landschaftsschutzgebieten	451 848	31,6 %
	Wald in Naturparks	714 623	50,0 %
Waldbiotop	Waldbiotop nach §30 Bundesnaturschutzgesetz ³⁾	36 919	2,6 %
	Waldbiotop nach § 33 Landesnaturschutzgesetz ²⁽³⁾	2 760	0,2 %
	Waldbiotop nach § 30a Landeswaldgesetz	18 800	1,3 %
	sonstige seltene Waldbiotop	24 451	1,7 %
Natura 2000-Gebiete	FFH-Gebiete und Vogelschutzgebiete (überlagerungsbereinigt)	389 577	27,3 %
Summe naturschutzwichtiger Flächen im Wald (überlagerungsbereinigt)²⁾		1 059 776	74,2 %

1) Waldfläche Baden-Württemberg: 1 428 716 ha.

2) Naturschutzwichtige Flächen im Wald.

3) Seit 2010 gilt §30 des Bundesnaturschutzgesetzes. Der Landesparagraph ergänzt die Waldbiotop auf Landesebene.

4) Inkl. doppelt verordneter Bannwälder in der Kernzone des Biosphärengebiets Schwäbische Alb, exkl. ehemalige Bannwälder im Nationalpark Schwarzwald.

turnahe Bewirtschaftung haben sie zu Rückzugsstätten und Lebensräumen 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. Es wird eine repräsentative Verteilung auf die Großlandschaften Baden-Württembergs angestrebt. 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 19,3 % der Waldfläche Baden-Württembergs liegt in **FFH-Gebieten**, das sind 270 410 ha. Die großflächigen Buchenwald-Lebensraumtypen bilden mit 84 616 ha und einem Flächenanteil von 85 % 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 15 116 ha sind aufgrund ihrer geringeren natürlichen Vorkommen seltener (alle Angaben Stand 03/2018).

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 Bewirtschaftung genommene Waldflächen von mindestens 1 ha Größe) bieten Lebensraum für Arten, die auf sehr alte Bäume und große Totholzmengen angewiesen sind. Bis Ende 2016 wurden rund 205 000 Bäume verteilt auf 19 000 Habitatbaumgruppen und 1835 Waldrefugien mit einer Gesamtfläche 5670 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. Der Generalwildwegeplan 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

6.6.2 Naturnahe Waldwirtschaft

Das Leitbild der naturnahen Waldwirtschaft ist ein gepflegter Wirtschaftswald, der gleichzeitig, grundsätzlich gleichrangig und dauerhaft seine Schutz- und 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) 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 und 50 % der Tannen sowie 34 %

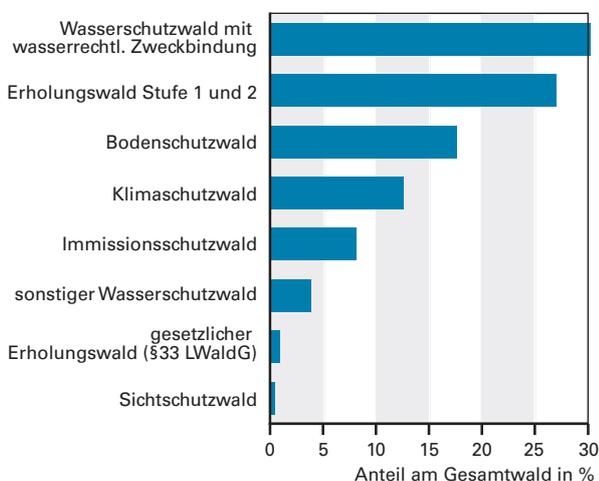


Abb. 6.6-1: Anteile Schutz- und Erholungswald an der Gesamtwaldfläche. Quelle: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA). Stand: 2017.

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 m³/ha. Nach den BWI² Kriterien entspricht das einem Wert von 19,5 m³/ha.

Der Anteil der Laubbäume an der Gesamtwaldfläche Baden-Württembergs liegt bei 48 %, der Fichtenanteil bei 34 %. Das derzeitige Verhältnis von Laub- zu Nadelbaumarten liegt bei 48:52 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 dabei nicht auf Kahlfeldern, sondern unter dem schützenden Kronendach der alten Bäume. Dadurch entstehen stufige und strukturreiche Wälder, ein Plus für die ökologischen und gesellschaftlichen Wirkungen (z. B. Erholungsfunktion) des Waldes.

Mit einer Zertifizierung der **nachhaltigen Waldwirtschaft** verpflichtet sich ein Forstbetrieb, bei seiner Waldbewirtschaftung bestimmte Qualitäts- oder Umweltstandards einzuhalten. Diese Verpflichtung wird mit einem Zertifikat dokumentiert und von einer unabhängigen Stelle überprüft. Um dem Endverbraucher nachzuweisen, dass Holzprodukte aus zertifizierten Wäldern stammen, ist die Dokumentation der gesamten Verarbeitungskette des Holzes

notwendig. In den vergangenen Jahren wurden in Europa und in Deutschland große Waldflächen zertifiziert. Im Jahr 2016 waren es in Baden-Württemberg rund 82 % der Waldfläche. Rund 1 114 000 ha Wald sind nach dem Zertifizierungssystem „Program for the Endorsement of Forest Certification Schemes (PEFC™)“ und rund 364 000 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

Der Waldzustand in Baden-Württemberg zeigt sich im Jahr 2017 trotz einer regional sehr angespannten Wasserversorgung der Waldbestände im Vergleich zum Vorjahr leicht verbessert. Der mittlere Nadel-/Blattverlust über alle Baumarten und Baumalter hinweg verringert sich um 1,8 Prozentpunkte auf insgesamt 22,0 %. Insgesamt zählen derzeit 31 % 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).

Die lange Trockenperiode mit landesweit unterdurchschnittlichen Niederschlägen von Dezember 2016 bis Juni 2017 führte dazu, dass an vielen Standorten die Wasservorräte im Boden zu Beginn der Vegetationszeit sehr gering waren. Lokal einsetzende Regenfälle und das landesweit

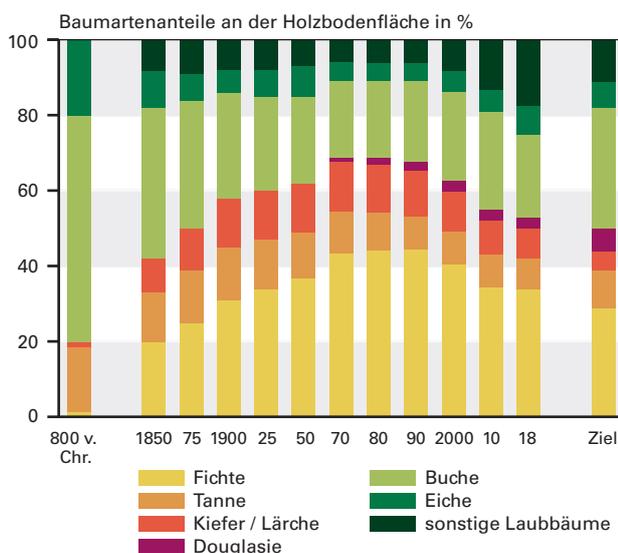


Abb.6.6-2: Baumartenentwicklung im Staatswald Baden-Württemberg nach FE-Statistik. Quellen: Regierungspräsidium Freiburg, Ref. 84 Forsteinrichtung; [FIRBAS 1949]. Stand: 2017.

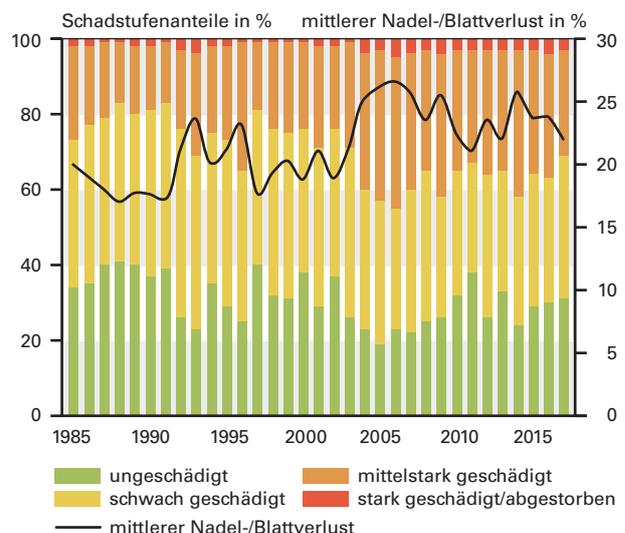


Abb.6.6-3: Entwicklung der Schadstufenanteile und mittlerer Nadel-/Blattverluste in Wäldern Baden-Württembergs 1985-2017. Quelle: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA). Stand: 2017.

etwas zurückgehende Niederschlagsdefizit führten bei weiterhin unterdurchschnittlichen Niederschlägen im Jahresverlauf jedoch zu einer leichten Entspannung. Erst in den Monaten Juli und August 2017 waren höhere Niederschläge zu verzeichnen, so dass sich die Baumkronen im Sommer 2017, trotz intensiver Trockenphase in der ersten Hälfte des Jahres, im Allgemeinen gut entwickeln konnten.

Die deutlichste Verbesserung im Kronenzustand war 2017 in älteren Buchenbeständen festzustellen, die nach der sehr starken Fruktifikation 2016 nun erkennbar dichtere Baumkronen ausbildeten. Eine starke Fruchtausbildung stellt für die Buchen regelmäßig eine hohe physiologische Belastung dar, die sich direkt in einer erhöhten Kronenverlichtung zeigt. Die Ergebnisse der Waldschadensinventur 2017 belegen die hohe Regenerationsfähigkeit der Buchen nach starken Fruktifikationsjahren. Es bleibt jedoch abzuwarten, wie die Buche auf zunehmend stärkere und häufigere Fruktifikationsjahre infolge des Klimawandels reagiert und ob dies als Anpassungsfähigkeit der Baumart auf sich ändernde Klimabedingungen angesehen werden kann oder zu einer langfristigen Belastung der Buchen führt.

Während die Buche im Landesdurchschnitt einen merklich geringeren Blattverlust gegenüber dem Vorjahr aufweist, ist im Kronenzustand der Fichte kaum eine Veränderung festzustellen. Damit bleibt die Kronenverlichtung der Fichte im zweiten Jahr in Folge nahezu unverändert.

Der Kronenzustand der Tanne weist aktuell eine Verbesserung auf, die maßgeblich auf eine Erholung in Tannenjungbeständen zurückzuführen ist. Auslöser hierfür dürfte insbesondere der seit wenigen Jahren beobachtete rückläufige Befall durch die Tannentrieblaus in Jungbeständen sein. Aufgrund der warm-trockenen Witterung stieg die Borkenkäfergefahr für Fichte und Tanne im Jahr 2017 deutlich an. Besonders im Schwarzwald, aber auch in anderen Regionen Baden-Württembergs, erhöhte sich die Anzahl der Käferbäume im Verlauf des Sommers rasant. Entgegen des Erholungstrends von Buche und Tanne hat sich der Kro-



Abb. 6.6-4: Tanne mit Tannenborkenkäfer. Foto: Reinhold John, FVA.

nenzustand der Baumarten Kiefer, Eiche und Esche im Jahr 2017 verschlechtert.

Während die Vitalität der Eichen vor allem im nördlichen Baden-Württemberg durch das Vorkommen von blattfressenden Schmetterlingsraupen beeinflusst wurde, ist bei der Kiefer insbesondere im Rheintal eine drastische Zunahme der Kiefernkomplexkrankheit feststellbar. Unter möglicher Beteiligung von Trockenstress, pilzlichen Erregern, Rindenbrütern und Mistelbefall werden ganze Kiefernbestände stark geschädigt. Der Zustand der Esche bleibt weiterhin besorgniserregend. Die Baumart ist landesweit massiv durch den pilzlichen Erreger des Eschentriebsterbens betroffen, der zu einer deutlich erhöhten Mortalitätsrate der Eschen führt



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 laute Nachbarn, Industrie- und Gewerbebetriebe sowie der Schienen- und Flugverkehr zu den Lärmquellen, die Anwohner am meisten beeinträchtigen [UBA 2017]. Eine zusätzliche Lärmbelastung geht vielerorts von Baustellen aus, vor allem bei Straßensanierungen oder beim Neubau von Verkehrswegen.

Mit den **Lärmkartierungen** nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie 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 2018 rund 430 Gemeinden Berichte mit Informationen aus Lärmaktionsplänen an die LUBW übermittelt.

Die LUBW sammelt die Berichte zu den **Lärmaktionsplanungen** der 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 (Abb. 7-1). 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-Kreislaufkrankungen, erhöhtes Herzinfarktisiko, Schlafstörungen, Stress, Nervosität, Lern- und Konzentrationsstörungen. Daher sollten aus Gründen der Gesundheitsvorsorge vorhandene Belastungen gesenkt und eine Zunahme des Lärms vermieden werden. Auch wenn man inzwischen von einer „akustischen Verschmutzung der Landschaft“ sprechen kann, so werden durch Lärm, im Gegensatz etwa zu Luftverunreinigungen, keine Umweltmedien oder Ressourcen tatsächlich verschmutzt. Die Einwirkungen des Lärms betreffen örtlich und zeitlich klar definierte einzelne regionale Bereiche. Die Lärmbelastung ist auch ein soziales Problem. Lärm wird zwar von allen verursacht, doch muss es mehrheitlich von den finanziell Schwächeren getragen werden, die nicht

die Möglichkeit haben, dem Lärm zu entfliehen und in ruhigeren Gebieten zu wohnen (soziale Entmischung).

Um Gesundheitsgefährdungen durch Lärm zu vermeiden, sollten, aus Sicht der Lärmwirkungsforschung, Werte von

$$\text{am Tag} \quad L_{\text{DEN}} > 65 \text{ dB(A)}$$

$$\text{in der Nacht} \quad L_{\text{Night}} > 55 \text{ dB(A)}$$

nicht überschritten werden.

„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 bundesweit weit mehr als die Hälfte der Bevölkerung durch Lärm in ihrer unmittelbaren Umwelt und Nachbarschaft belästigt (Abb. 7.1-1). Hauptlärmquelle ist der Straßenverkehr. Oft treffen jedoch mehrere Lärmquellen zusammen, sodass 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.

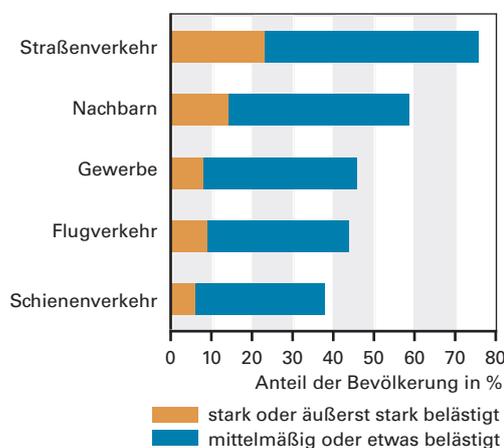


Abb. 7.1-1: Subjektive Belästigung der erwachsenen Bevölkerung durch verschiedene Lärmarten in Deutschland auf Grundlage einer repräsentativen Umfrage [UBA 2017].

7.2 Lärmkartierung und Lärmaktionsplanung

Grundlage der Lärmkartierung und der Lärmaktionsplanung ist die EU-Umgebungslärmrichtlinie (Richtlinie 2002/49/EG), welche durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz (§§ 47a ff. BImSchG) und die Verordnung über die Lärmkartierung (34. BImSchV) in nationales Recht überführt wurde. Ziel ist, den Umgebungslärm und somit die Lärmbelastung der Bevölkerung zu reduzieren.

7.2.1 Lärmkartierung

Mithilfe der Lärmkartierung werden die am stärksten von Umgebungslärm betroffenen Gebiete ermittelt. Lärmkarten werden gemäß den gesetzlichen Regelungen jeweils getrennt für die Lärmarten Straßenverkehr, Schienenverkehr, Flugverkehr sowie Industrie und Gewerbe (Letztere nur in den Ballungsräumen) berechnet. Eine Überlagerung der Schallpegel für unterschiedliche Lärmarten, z. B. bei parallel verlaufenden Straßen und Eisenbahnstrecken, erfolgt nicht. Es werden in den Lärmkarten zwei unterschiedliche Zeiträume betrachtet, nämlich die Lärmindizes L_{DEN} und L_{Night} (Tab. 7.2-1).

Die Lärmkarten stellen flächenhaft die auftretenden Schallimmissionen farblich in sogenannten Isophonenbändern dar, das sind Bänder gleicher Schallpegel. Grundlage für die Er-

stellung der Lärmkarten sind die vorläufigen nationalen Berechnungsvorschriften für Straßen-, Schienen-, Flug- sowie Industrie- und Gewebelärm. Ab dem Jahr 2019 werden diese vorläufigen Berechnungsmethoden durch das europaweit harmonisierte Berechnungsverfahren CNOS-SOS-EU (Common Noise Assessment Methods in Europe) ersetzt. 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 miteinander 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 Gebäudefasaden berechnet und die Bewohnerzahl jedes einzelnen Gebäudes den so ermittelten Pegelwerten zugeordnet. Um für jede Gemeinde Aussagen über die Lärmbetroffenheit in ihrem Gebiet machen zu können, wird die Anzahl der Betroffenen je Pegelklasse aufsummiert. Diese Zahlen werden für jede von der Kartierung betroffene Gemeinde einzeln ausgewiesen und veröffentlicht.

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)

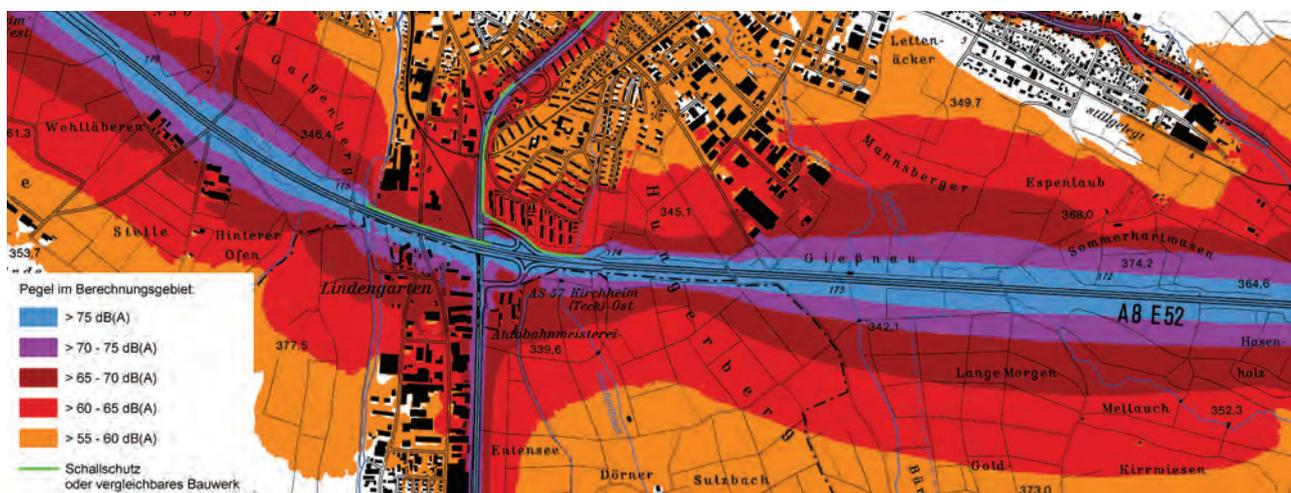


Abb. 7.2-1: Ausschnitt aus einer Lärmkarte: Durchschnittlicher Straßenlärm für einen 24-Stunden-Tag (Kartierung 2012).

Die praktische Umsetzung der Richtlinie erfolgte zeitlich gestaffelt. Im Jahr 2007 wurde die Umgebungslärmkartierung erstmalig mit reduziertem Umfang durchgeführt (Stufe 1). Im Jahr 2012 wurde dann der volle Umfang kartiert (Stufe 2). Lärmkarten sind alle fünf Jahre zu überprüfen und, falls erforderlich, zu aktualisieren.

Dementsprechend wurden im Jahr 2017 die Lärmkarten aktualisiert – für den Straßenverkehrslärm allerdings aufgrund der späten Verfügbarkeit aktueller Verkehrsdaten erst im Jahr 2018 (Ergebnisse lagen zum Redaktionsschluss noch nicht vor).

7.2.2 Lärmaktionsplanung

Aufbauend auf den Ergebnissen der Lärmkartierung sind von den zuständigen Stellen Lärmaktionspläne aufzustellen – beim Straßenverkehrslärm sind dies in der Regel die Städte und Gemeinden, beim Schienenverkehrslärm das Eisenbahn-Bundesamt. Bei der Lärmaktionsplanung werden lärmmentlastende Maßnahmen erarbeitet und in einem Plan verbindlich festgeschrieben. Die EU-Kommission vertritt die Auffassung, dass für alle kartierten Bereiche eine

Lärmaktionsplanung durchgeführt werden muss. Das Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg teilt diese Auffassung, sofern bei der Kartierung auch lärmbelastete Einwohner ermittelt wurden. Außerdem empfiehlt es, bei der Maßnahmenplanung auf jeden Fall Bereiche mit Schallpegeln von $L_{DEN} > 65$ dB(A) bzw. $L_{Night} > 55$ dB(A) zu betrachten (Tab. 7.2-1). Für Bereiche mit $L_{DEN} > 70$ dB(A) bzw. $L_{Night} > 60$ 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 sowie planerische und organisatorische Maßnahmen. Planungsrechtliche Vorgaben eines Lärmaktionsplanes sind in anderen Fachplanungen zu berücksichtigen. Damit wird der Lärmschutz in kommunalen Planungsprozessen verankert.

Wie die Lärmkarten sind auch die Lärmaktionspläne alle fünf Jahre zu überprüfen und, falls erforderlich, zu aktualisieren bzw. fortzuschreiben.

7.3 Straßenverkehrslärm

Die Kartierung des Straßenverkehrslärms erfolgt in Ballungsräumen, das sind Städte mit mehr als 100 000 Einwohnern, sowie an Hauptverkehrsstraßen außerhalb der Ballungsräume (Tab. 7.3.1). Zu den Hauptverkehrsstraßen zählen definitionsgemäß Autobahnen, Bundes- und Landesstraßen mit mehr als 3 Mio. Kfz/Jahr (8200 Kfz/Tag). Andere Straßen, wie Kreis- und Gemeindestraßen, fallen nicht unter die Kartierungspflicht. In der Umgebungslärmkartierung 2012 wurden Hauptverkehrsstraßen mit einer Gesamtlänge von rund 5200 km erfasst und Lärmkarten für den Ganztages- (L_{DEN}) und Nachtzeitraum (L_{Night}) erstellt (Abb. 7.3-1). Die Lärmkartierung 2017 ist im Umfang vergleichbar. Die Ergebnisse liegen voraussichtlich in vierten Quartal 2018 vor und werden im Internet veröffentlicht

(www.lubw.de > Themen > Lärm und Erschütterungen > Lärmkartierung, Lärmaktionsplanung > Lärmkarten).

Eine erhebliche Anzahl von Menschen ist aufgrund des Straßenverkehrs Lärmpegeln über einem L_{DEN} von 65 dB(A) oder über einem L_{Night} von 55 dB(A) ausgesetzt (Tab. 7.3-2). Beeinträchtigungen durch Lärm 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].

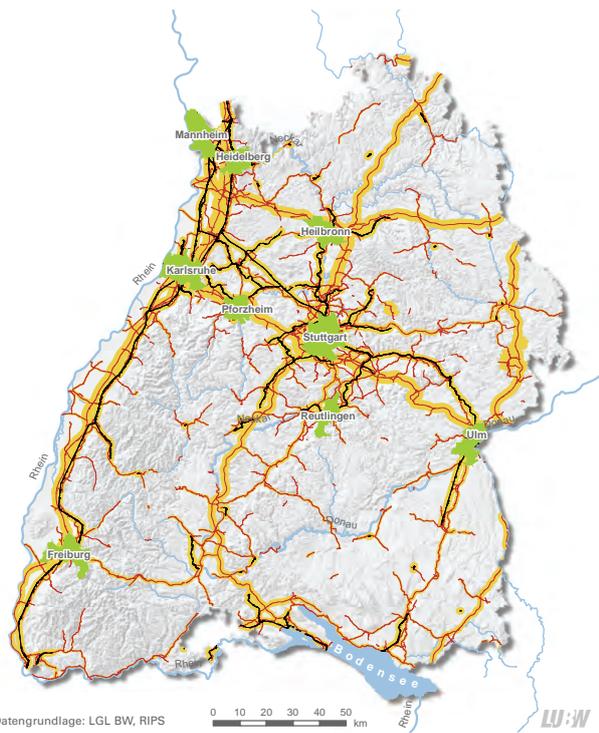
Als Folge des Straßenverkehrslärms sinkt der Aufenthalts- und Erholungswert weiter Teile der Landesfläche. Lokale Maßnahmen wie Ortsumgehungsstraßen oder Lärmschutzwände führen durchaus zu Erleichterungen bei den betroffenen Menschen. Diese Erfolge werden jedoch durch steigende Verkehrszahlen und höhere Fahrgeschwindigkeiten teilweise wieder aufgehoben.

Maßnahmen zur Geräuschkämpfung direkt am Fahrzeug führten zwar zu einer deutlichen Reduktion von Motorgeräuschen, bei der Minderung des Gesamtgeräusches, also der Summe aus Reifen-Fahrbahn-Geräusch und Motorgeräusch

Tab. 7.3-1: Ballungsräume in Baden-Württemberg. Stand: 2017.

Ballungsräume (Städte > 100 000 Einwohner)		
Stuttgart ¹⁾	Freiburg	Ulm
Mannheim	Heidelberg	Pforzheim
Karlsruhe	Heilbronn	Reutlingen

1) Einschl. Teilen von Esslingen.



- kartierte Schiene
- kartierte Straße
- kartierte Fläche
- Ballungsraum

Abb. 7.3-1: Übersicht über den Umfang der Lärmkartierung von Hauptverkehrsstraßen (Kartierung 2012), Eisenbahnlinien (Kartierung 2017) und Ballungsräumen. Stand: Juni 2018.

räusch, wurde bislang jedoch nur wenig erreicht. Lediglich bei den Lastkraftwagen (Lkw) ist eine Verbesserung feststellbar. Allerdings sind Reifenhersteller seit 2012 verpflichtet, ihre Produkte mit einem sogenannten Reifenlabel zu kennzeichnen. Das Etikett enthält Informationen zum Rollgeräusch und zu weiteren Eigenschaften des Reifens (Abb. 7.3-2). 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 hoctourig) abhängig. Dabei können Unterschiede in der Lärmemission von bis zu 10 dB(A) auftreten. Ein einziger rasant und hoctourig ge-

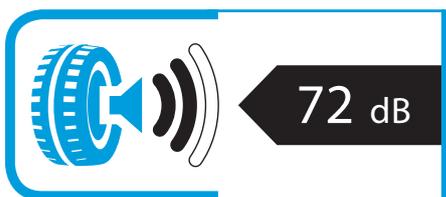


Abb. 7.3-2: Ausschnitt aus dem EU-Reifenlabel. An den stilisierten Schallwellen und am dB-Wert lässt sich ablesen, wie laut der Reifen ist. Eine schwarze Welle weist auf einen besonders leisen, drei schwarze Wellen weisen auf einen lauten Reifen hin.

Tab. 7.3-2: Anzahl der landesweit durch Straßenverkehrslärm belasteten Menschen an Hauptverkehrsstraßen und in Ballungsräumen (auf Hundert gerundet). Basis: Umgebungslärmkartierung 2012. 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 (Maßnahmenplanung empfohlen):		246 300	281 900
Summe über L _{DEN} > 70 / L _{Night} > 60 (vordringlicher Handlungsbedarf):		81 200	94 300
Summe		997 600	604 000

LU:W

fahrener Personenkraftwagen (Pkw) verursacht genauso viel Lärm wie acht normal gefahrene. Das entspricht ungefähr einer Verdoppelung des subjektiv empfundenen Lärms.

Die durch Motorräder verursachten Geräusche werden auch aufgrund ihres auffälligen Klangcharakters oftmals als besonders störend wahrgenommen. Insbesondere in Tourismusregionen mit landschaftlich reizvollen Straßen wird der Motorradlärm zunehmend als beeinträchtigendes Problem empfunden. Durch rasante Fahrweise und teilweise auch durch manipulierte Auspuffanlagen wird das Lärmproblem zusätzlich verstärkt. Zudem treten Motorräder häufig in größeren Gruppen auf, z. B. bei schönem Wetter und am Wochenende.

Lärminderung durch die Umstellung auf Elektromobilität ist grundsätzlich möglich, jedoch nur in begrenztem Umfang. Bei Elektrofahrzeugen ist eine Minderung des Lärms nur beim Antriebsgeräusch möglich, nicht aber beim Reifen-Fahrbahn-Geräusch. Das Reifen-Fahrbahn-Geräusch ist aber bei Pkw bereits ab einer Geschwindigkeit von 30 km/h und bei schweren Nutzfahrzeugen ab 50 km/h pegelbestimmend. Bei Mopeds und Motorrädern ist das Antriebsgeräusch unabhängig von der Geschwindigkeit stets die dominante Lärmquelle. Somit bestehen die größten Lärminderungspotenziale beim innerstädtischen Verkehr sowie bei Mopeds und Motorrädern.

Im Rahmen des Programms „Lärmsanierung an Bundesfernstraßen“ wurden in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2016 Lärmschutzwände und -wälle mit einer Gesamtlänge

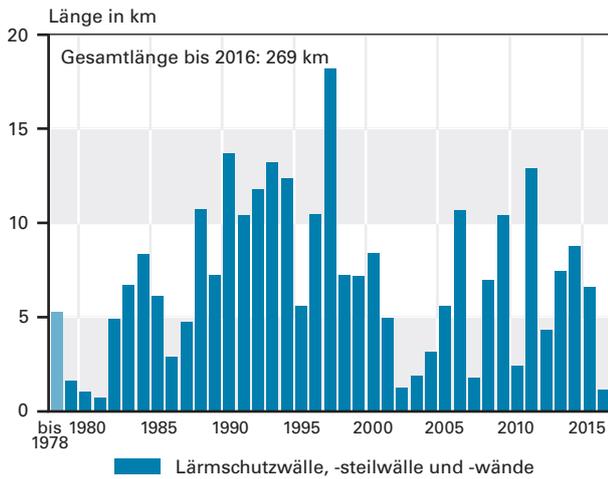


Abb. 7.3-3: Jährlich neu errichtete Lärmschutzwälle, Lärmschutzsteilwälle und Lärmschutzwände an Bundesfernstraßen in Baden-Württemberg [BMVI 2018].

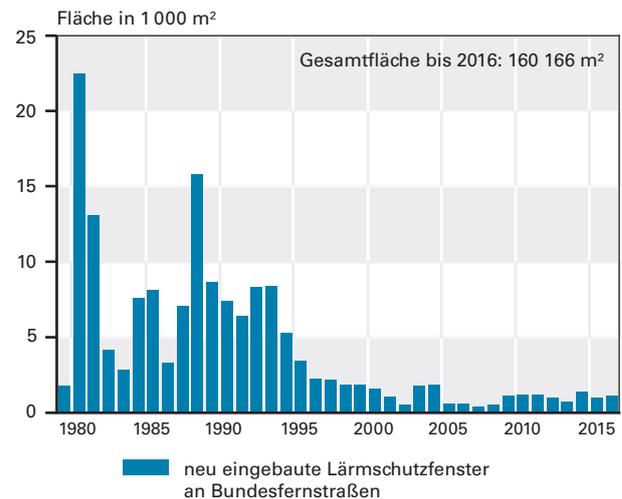


Abb. 7.3-4: Jährlich neu eingebaute Lärmschutzfenster an Bundesfernstraßen in Baden-Württemberg [BMVI 2018].

von über 269 km errichtet (Abb. 7.3-3). Als Maßnahme für den passiven Lärmschutz wurden bis 2016 rund 160 000 m² Lärmschutzfenster eingesetzt (Abb. 7.3-4). Seit 1997 wird außerdem der Neubau lärmreduzierender offenporiger Asphaltdeckschichten vonseiten des Bundes registriert. Diese wurden demnach in Baden-Württemberg bis 2016 auf einer Gesamtlänge von rund 68 km eingebaut. Die Straßenbau-

verwaltung des Landes prüft bei jeder Erhaltungsmaßnahme an Bundes- und Landesstraßen, ob die Voraussetzungen für einen lärmindernden Straßenbelag erfüllt sind. Durch den Einbau lärmindernder Fahrbahnbeläge konnten allein im Jahr 2017 auf rund 30 Kilometern Straße Lärmschwerpunkte entschärft werden [VM 2017].

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 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 technische Umrüstung von Güter-

wagen. 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. Durch die u.a. durch das Gesetz zum Verbot des Betriebs lauter Güterwagen vom 20. Juli 2017 [SCHLÄRMSCHG 2017] bewirkte Flottenerneuerung und Umrüstung von Schienengüterwagen werden sich mittel- bis langfristig Verbesserungen beim Lärmschutz zugunsten der Anwohner von Eisenbahnstrecken ergeben.

Von der LUBW werden ausschließlich nicht-bundeseigene Eisenbahnstrecken kartiert. In der Lärmkartierung 2017 waren dies 107 km teils zweigleisige Strecken. Diese tragen nur zu einem verhältnismäßig geringen Teil zum Schienen-

lärm in Baden-Württemberg bei. Weitaus größere Bedeutung haben die vom Eisenbahn-Bundesamt kartierten Eisenbahnstrecken des Bundes (DB Netz AG), landesweit sind dies rund 1600 km. In den Ballungsräumen ergeben sich aufgrund der Nähe zur Wohnbebauung auch durch den Straßenbahnverkehr hohe Betroffenzahlen unter den Anwohnern. Für die in der Umgebungslärmkartierung ermittelte landesweite Lärmbetroffenheit werden die Daten der unterschiedlichen Lärmkartierungen zusammengeführt (Tab. 7.4-1).

Tab. 7.4-1: Landesweite Lärmbetroffenheit durch Schienenverkehrs-lärm (auf Hundert gerundet)¹⁾. Quellen: LUBW, EBA. Stand: 2017.

Pegelbereich dB(A)		belastete Menschen (Schienenlärm)	
über	bis	L _{DEN}	L _{Night}
50	55	-	359 200
55	60	434 600	137 400
60	65	178 200	53 400
65	70	71 900	17 400
70	75	27 700	5 900
75		9 300	-
Summe über L _{DEN} > 65 / L _{Night} > 55 (Maßnahmenplanung empfohlen):		108 900	214 100
Summe über L _{DEN} > 70 / L _{Night} > 60 (vordringlicher Handlungsbedarf):		37 000	76 700

¹⁾ Datenbasis: Die von der LUBW kartierten nicht-bundeseigenen 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 Flughafen Stuttgart, die Regionalflughäfen Karlsruhe/Baden-Baden (Baden-Airpark) und Friedrichshafen (Bodensee-Airport), den Verkehrslandeplatz Mannheim (City Airport Mannheim) sowie in Südbaden durch den schweizerischen Flughafen Zürich-Kloten geprägt. Daneben gibt es im Land noch über 150 zivil genutzte Flugplätze, die relativ gleichmäßig über die Landesfläche verteilt sind.

Der Flugverkehr zählt zu den Lärmquellen, die die Anwohner stark beeinträchtigen. Insbesondere der nächtliche Fluglärm kann negative gesundheitliche Auswirkungen haben. Neuesten Umfragen zufolge fühlen sich bundesweit über 40 % der Bevölkerung durch Fluglärm belästigt, etwa 9 % davon stark oder äußerst stark (vgl. Abb. 7.1-1).

Im Einwirkungsbereich des Flughafens Stuttgart ist es in den vergangenen 30 Jahren gelungen, trotz höherer Flugzahlen (Abb. 7.5-1) die Dauerschallpegel kontinuierlich abzusenken. Ein Grund für diesen Erfolg sind u. a. die lärmbezogenen Start- und Landegebühren. Damit werden für Fluggesellschaften Anreize geschaffen, möglichst geräuscharme Flugzeuge mit modernen Triebwerken, verbesserter Aerodynamik und geräuschreduzierender Technik einzusetzen. Zudem ist es durch Optimierung der An- und Abflugver-

fahren möglich, die Geräuschbelastung zu reduzieren. Die Zahl der Flugbewegungen ist trotz steigendem Passagieraufkommen seit einigen Jahren tendenziell rückläufig, es gibt einen Trend hin zu weniger, dafür größeren Flugzeugen [RPS 2013]. Neueste Zahlen für das Jahr 2018 deuten jedoch darauf hin, dass die Zahl der Flugbewegungen am Flughafen Stuttgart wieder leicht ansteigt.

Der schweizerische Flughafen Zürich-Kloten beeinträchtigt durch seine im südlichen Baden-Württemberg teilweise über deutschem Hoheitsgebiet verlaufenden An- und

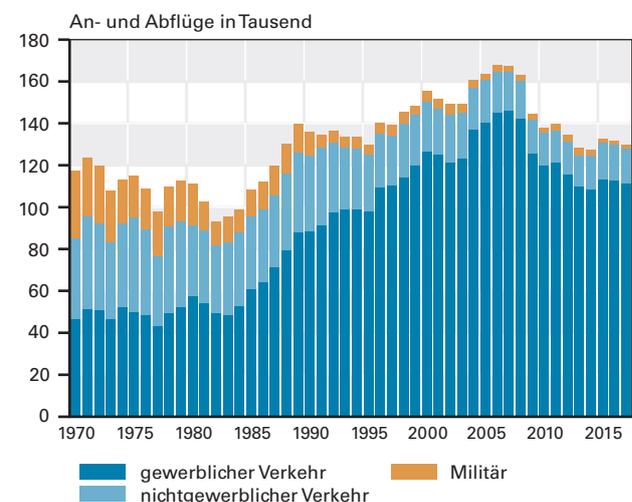


Abb. 7.5-1: Flugbewegungen (An- und Abflüge) am Flughafen Stuttgart. Quelle: Statistischer Jahresbericht 2017, Flughafen Stuttgart.

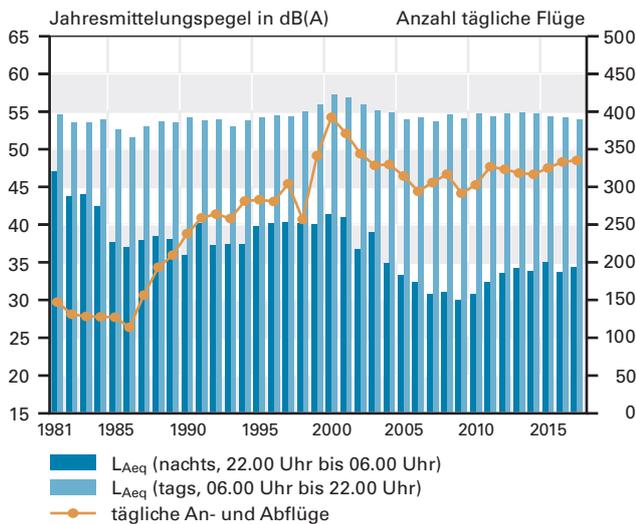


Abb. 75-2: Jahresmittelungspegel L_{Aeq} (energieäquivalenter Mittelungspegel aus dem zeitlichen Verlauf des Schalldruckpegels) und Mittelwert der täglichen Flugzahlen an der Fluglärmmessstation Hohentengen. Quellen: Landkreis Waldshut, Flughafen Zürich, LUBW.

Abflüge auch die Lebensqualität von Teilen der dort wohnenden Bevölkerung durch Fluglärm. In der etwa 15 km vom Flughafen entfernten Gemeinde Hohentengen (Landkreis Waldshut) wird eine Fluglärmmessstation betrieben. Aufgrund der Reduktion der Nachtflüge sind die nächtlichen Immissionen gegenüber früher deutlich zurückgegangen. Nachts werden Lärmwerte um 34 dB(A) gemessen, die Tagwerte liegen bei etwa 54 dB(A) (Abb. 75-2).

7.5.1 Fluglärmgesetz

Auf Grundlage des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (FluLärmG) wurden in Baden-Württemberg im Jahr 2010 die Lärmschutzbereiche der Flughäfen Stuttgart, Karlsruhe/Baden-Baden, Friedrichshafen und Mannheim ermittelt und in Verordnungen der Landesregierung festgelegt. Sie sind spätestens nach Ablauf von zehn Jahren zu überprüfen. Der Lärmschutzbereich ist gegliedert in zwei Tag-Schutzzonen und eine Nacht-Schutzzone. Innerhalb des Lärmschutzbereichs gelten bauliche Nutzungsbeschränkungen und Vorgaben zum baulichen Schallschutz. Abbildung 75-3 zeigt beispielhaft den Lärmschutzbereich am Flughafen Karlsruhe/Baden-Baden. Weitere ausführliche Daten, Diagramme und Informationen zu allen Flughäfen finden sich unter: www.lubw.de > Themen > Lärm und Erschütterungen > Lärmarten und Lärmschutz > Fluglärm.

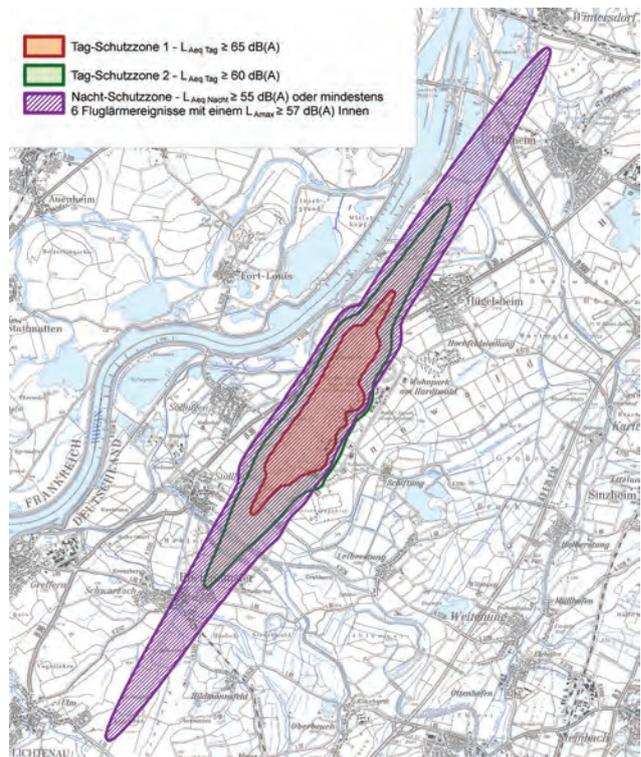


Abb. 75-3: Lärmschutzbereich am Flughafen Karlsruhe/Baden-Baden (Baden-Airpark). Stand: 2010.

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 der Lärmkartierung 2017 neu kartiert. Weiterer Fluglärm wurde im Ballungsraum Mannheim für die Umgebung des dortigen Verkehrslandeplatzes erfasst (Tabelle 75-1).

Tab. 75-1: Anzahl der von Fluglärm am Flughafen Stuttgart und dem Verkehrslandeplatz Mannheim belasteten Menschen (auf Hundert gerundet). Stand: 2017

Pegelbereich dB(A)		belastete Menschen (Fluglärm)	
über	bis	L_{DEN}	L_{Night}
50	55	-	1 700
55	60	31 100	0
60	65	4 500	0
65	70	0	0
70	75	0	0
75		0	-
Summe über $L_{DEN} > 65 / L_{Night} > 55$ (Maßnahmenplanung empfohlen):		0	0
Summe über $L_{DEN} > 70 / L_{Night} > 60$ (vordringlicher Handlungsbedarf):		0	0

7.6 Verkehrslärmmessungen

Im Auftrag des Ministeriums für Verkehr Baden-Württemberg betreibt die LUBW zwei Messstationen für Straßenlärm und eine für Schienenlärm. In Karlsruhe werden seit November 2012 und in Reutlingen seit März 2013 kontinuierlich Gesamtgeräuschpegel, Verkehrsdaten und Witterungsbedingungen an jeweils einem Messpunkt aufge-

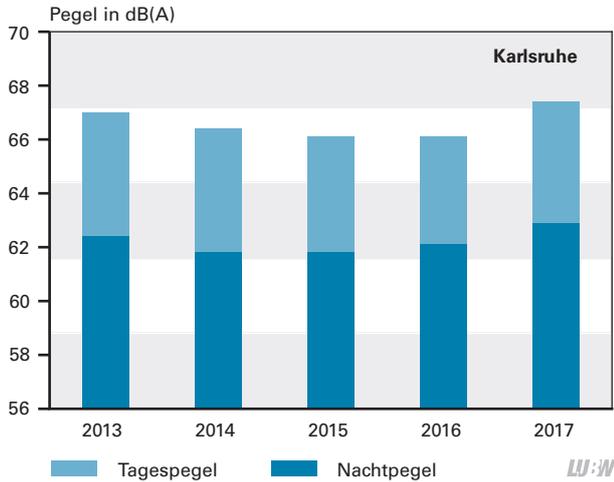


Abb. 7.6-1: Verkehrslärmmessstation Karlsruhe Reinhold-Frank-Straße: Jahresmittelungspegel für den Tag und für die Nacht.

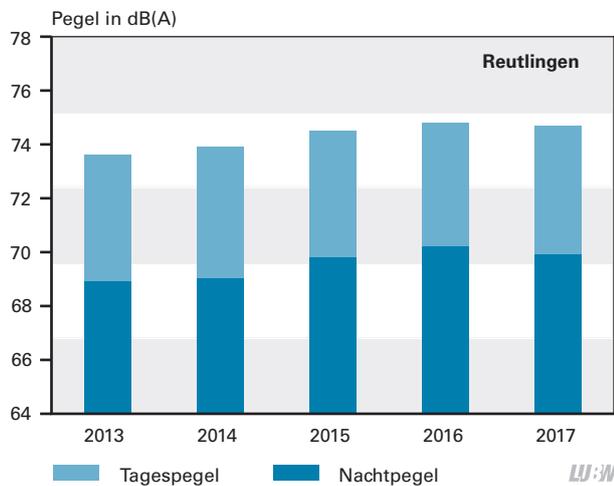


Abb. 7.6-2: Verkehrslärmmessstation Reutlingen Lederstraße: Jahresmittelungspegel für den Tag und für die Nacht.

zeichnet. Die Messorte liegen an innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen.

Die Daten zeigen, dass die an den Straßen gemessenen Lärmpegel gut mit berechneten Werten übereinstimmen. In der Reinhold-Frank-Straße in Karlsruhe ist die Lärmbelastung von 2013 bis 2015 vermutlich aufgrund von Baustellen leicht zurückgegangen, zuletzt aber wieder deutlich angestiegen (Abb. 7.6-1). Die Station in der Lederstraße in Reutlingen zeigt eine gegenläufige Tendenz: Seit 2013 hat der Lärm stetig zugenommen. Im Jahr 2017 lag er auf einem geringfügig niedrigeren Niveau (Abb. 7.6-2).

Die im April 2016 in Betrieb genommene Bahnlärmmessstation der LUBW an der viergleisigen Rheintalbahn bei Achern-Önsbach erfasst vollautomatisch und kontinuierlich die Schallemissionen (Abb. 7.6-3). Die Beobachtungen sind langfristig angelegt und ermöglichen es, die Wirkung von Lärmschutzmaßnahmen an den Fahrzeugen oder von Änderungen der Verkehrsmenge zu erkennen. Die Messergebnisse werden online auf der Webseite der LUBW veröffentlicht: www.lubw.de > Themen > Lärm und Erschütterungen > Messungen > Schienenlärm Achern



Abb. 7.6-3: Bahnlärmmessstation an der Rheintalbahn bei Achern. Foto: LUBW.

7.7 Anlagenlärm (Industrie und Gewerbe)

Laut einer bundesweiten repräsentativen Umfrage aus dem Jahr 2016 [UBA 2017] fühlen sich 8 % der Bevölkerung durch gewerbliche Lärmquellen „stark“ oder „äußerst stark“ belästigt (vgl. Abb. 7.1-1). Zum Anlagenlärm gehören auch Immissionen durch Baulärm, insbesondere wenn Baustellen im Rahmen von Großprojekten viele Monate oder Jahre bestehen. Der Baulärm genießt im Vergleich zu herkömmlichem Gewerbelärm eine Sonderbeurteilung durch die „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm“ (AVV Baulärm) von 1970, welche einige Privilegierungen enthält. Dies ist insbesondere bei kurzfristigen Baustellen sinnvoll, kann aber bei z. T. mehrjährig betriebenen Bauprojekten aus Sicht des Immissionsschutzes problematisch sein.

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, eine Betroffenheit wegen tieffrequenter Geräusche zu verzeichnen.

Im Zusammenhang mit dem Ausbau der Windenergie werden Befürchtungen geäußert, dass tieffrequente Geräusche entstehen, die für Menschen nachteilige Wirkungen haben. 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 Heizungs- und Klimaanlage, Straßen- und Schienenverkehr. Windenergieanlagen emittieren durch die Umströmung der rotierenden Flügel Infraschall. Messungen der LUBW zeigten allerdings, dass selbst in der näheren Umgebung einer Windenergieanlage der Infraschall deutlich unterhalb der menschlichen Wahrnehmungsgrenze liegt. Dies haben mehrere Messungen der LUBW bestätigt [LUBW 2016]. Im Rahmen der Energiewende wird ein deutlicher Ausbau der Windkraftnutzung angestrebt. Von 2010 bis 2017 wurde die Anzahl der Windenergieanlagen in Baden-Württemberg verdoppelt. Derzeit befinden sich rund 700 Anlagen im Betrieb. Dabei wird in den Planungs- und Genehmigungsverfahren stets auf eine Begrenzung der Lärmimmissionen und die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben geachtet. Entsprechende Regelungen finden sich in der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm).

7.8 Lärm im Wohnumfeld

Lärmende Nachbarinnen und Nachbarn liegen in der Skala der lästigen Lärmquellen auf Platz zwei (Abb. 7.1-1). Auch der Betrieb lärmintensiver Maschinen und Geräte, z. B. im Gartenbereich, ist immer wieder Anlass von Beschwerden. Hier gilt eine bundesweite Regelung (Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung, 32. BImSchV). Seit einiger Zeit sind zunehmend nachbarschaftliche Probleme durch den Betrieb von Wärmepumpen und andere technische Aggregate zu verzeichnen. Immer mehr Gebäude werden mit Luft-, Wasser- oder Erdwärmepumpen beheizt. Bei nicht fachgerechter Installation solcher Anlagen können tief-tonige 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.

Für die in der Baunutzungsverordnung festgelegten Gebietstypen gelten zum Schutz gegen Lärm unterschiedliche Immissionsrichtwerte. Im Jahr 2017 wurde der neue Gebietstyp „Urbanes Gebiet“ eingeführt, der aufgrund höherer Immissionsrichtwerte in innerstädtischen Lagen eine höhere bauliche Dichte und eine flexiblere Durchmischung von Wohnen und Arbeiten erlaubt. Das „Urbane Gebiet“ wurde als Reaktion auf die steigende Nachfrage nach Wohnraum in Städten eingeführt.

7.9 Lärm in Kindergärten und Schulen

Die von Kindergärten und Schulen ausgehenden Geräusche können von Anwohnern als Belästigung empfunden werden. Durch 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. Damit die Kommunikation im Unterricht gelingt, müssen Unterrichtsräume akustisch geeignet sein. Leider ist das in der Praxis häufig nicht der Fall. So gaben bei Befragungen von Lehrkräften an Schulen mehr als 80 % der Befragten an, dass der Lärm in der Schule sie belaste [BAUA 2010]. Von den pädagogischen Fachkräften in Kindertagesstätten berichten in einer Untersuchung der Unfallkasse Nordrhein-Westfalen sogar 94 % von einem lauten Arbeitsplatz. Ein Großteil (insgesamt 84 % der pädagogischen Fachkräfte) ist

durch die hohe Lautstärke am Arbeitsplatz belastet [UK NRW 2014]. Akustische Messungen bestätigen die hohen Lärmbelastungen des pädagogischen Personals 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, Broschüren und Leitfäden zum Thema finden sich daher auf den Internetseiten der LUBW unter www.lubw.de > Themen > Lärm und Erschütterungen > Lärmarten und Lärmschutz > Für Schulen und Kindertagesstätten.



Abfallwirtschaft

8

Das Wichtigste in Kürze

In Baden-Württemberg ist das **kommunale Abfallaufkommen** zwischen 1990 und 2016 um 62 % zurückgegangen, was im Wesentlichen auf den Rückgang der Bauabfälle zurückzuführen ist. Die gesamte Menge aus Haus- und Sperrmüll, Wertstoffen aus Haushalten und Abfällen aus der Biotonne blieb im selben Zeitraum nahezu unverändert bei etwa 349 Kilogramm pro Einwohner und Jahr (kg/(E·a)). Während sich das Haus- und Sperrmüllaufkommen von 269 kg/(E·a) im Jahr 1990 auf 140 kg/(E·a) im Jahr 2016 deutlich verringerte, stiegen im gleichen Zeitraum die Mengen bei den getrennt erfassten Wertstoffen wie Papier, Glas, Metalle, Kunststoffe, Holz, Textilien und Verbundstoffe von 81 kg/(E·a) auf 165 kg/(E·a) sowie bei den Abfällen aus der Biotonne von 2 kg/(E·a) auf 49 kg/(E·a).

Die Entsorgungswege für die **kommunalen Abfälle** haben sich zwischen 1990 und 2016 deutlich verändert. Die abgelagerte kommunale Abfallmenge (ohne Baumassenabfälle, Asbest, Problemstoffe und Elektroaltgeräte) auf Deponien der Klasse II (ehemals Hausmülldeponien) ist von 5,8 Mio. Tonnen auf rund 131 000 Tonnen stark zurückgegangen. Die Abfallmenge zur stofflichen Verwertung hat sich mit knapp 1,9 Mio. Tonnen fast verdoppelt. Die Menge an biologisch behandelten kommunalen Abfällen stieg von 419 000 Tonnen im Jahr 1990 auf über 1,2 Mio. Tonnen im Jahr 2016.

Klärschlämme, die früher vor allem landwirtschaftlich verwertet wurden, wurden im Jahr 2016 bereits zu 96 % thermisch behandelt. Nur noch 0,9 % wurden in der Landwirtschaft verwertet und 2,4 % im Landschaftsbau eingesetzt.

Das Aufkommen an **gefährlichen Abfällen** hat sich in den letzten Jahren von 2,6 Mio. t im Jahr 2011 auf 2,8 Mio. t im Jahr 2016 geringfügig erhöht.

8.1 Abfallaufkommen

Das **gesamte Abfallaufkommen** in Baden-Württemberg betrug im Jahr 2016 rund 50,2 Millionen Tonnen (Mio. t) (vorläufige Berechnungen des Statistischen Landesamtes, Stand Juli 2017, abgefragt Juli 2018) – bei steigender Bevölkerungsentwicklung. Es ist damit im Vergleich zum Vorjahr um knapp 7 % angestiegen und liegt in etwa auf demselben Niveau wie im Jahr 2000 (Abb. 8.1-1).

Den größten Anteil haben die **Baumassenabfälle** (Bodenaushub, Bauschutt, Straßenaufbruch, andere Bau- und Abbruchabfälle) mit rund 39,7 Mio. t bzw. 79 % des gesamten Abfallaufkommens.

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. 8.1-2). Rund 81 % 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, verwertet (Abb. 8.1-3).

Das **kommunale Abfallaufkommen** ist in Baden-Württemberg seit 1990 um 62 % zurückgegangen und betrug im Jahr 2016 knapp 11,9 Mio. t. Den größten Anteil haben auch

hier die Baumassenabfälle, obwohl sie von über 22,8 Mio. t im Jahr 1990 auf 6,4 Mio. t im Jahr 2016 zurückgegangen sind (Abb. 8.1-4). Die kommunalen Baumassenabfälle fallen z. B. bei kleineren Baumaßnahmen an und müssen, wenn eine Verwertung nicht zumutbar oder möglich ist, als Abfall zur Beseitigung den kommunalen Entsorgungsträgern (Abfallwirtschaftsbetriebe) überlassen werden.

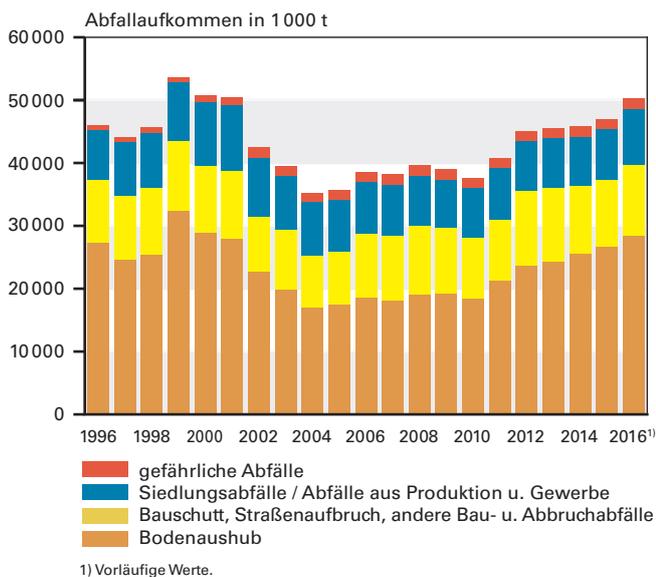


Abb. 8.1-1: Mengenentwicklung des gesamten Abfallaufkommens in Baden-Württemberg seit 1996. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: Juli 2018.

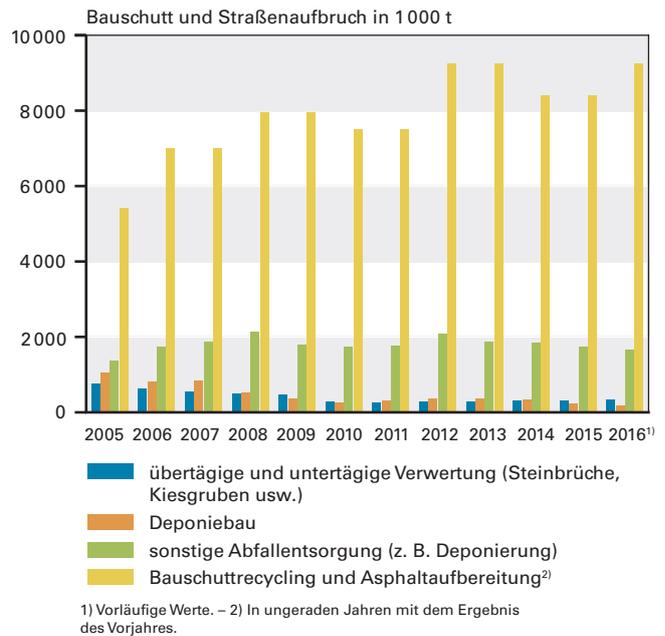


Abb. 8.1-2: Entsorgungswege von Bauschutt und Straßenaufbruch in Baden-Württemberg seit 2005. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: Juli 2018.

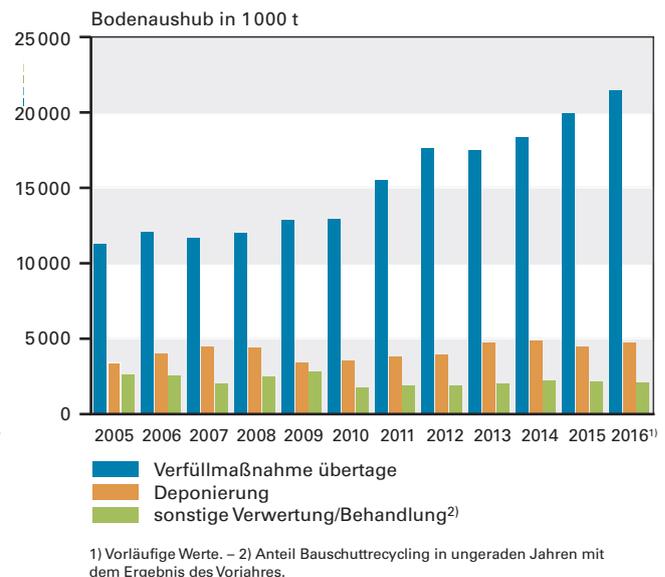


Abb. 8.1-3: Entsorgungswege von Bodenaushub in Baden-Württemberg seit 2005. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: Juli 2018.

Im Gegensatz dazu werden die bei größeren Baumaßnahmen, z. B. bei Firmen, gewerblich anfallenden, verwertbaren Baumassenabfälle im Allgemeinen direkt den Recyclingbetrieben oder den Verwertungsstellen zugeführt. Diese Mengen sind daher im kommunalen Abfallaufkommen nicht enthalten.

Für Vergleiche bietet sich an, die Abfallmengen normiert in Kilogramm pro Einwohner und Jahr ($\text{kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$) anzugeben.

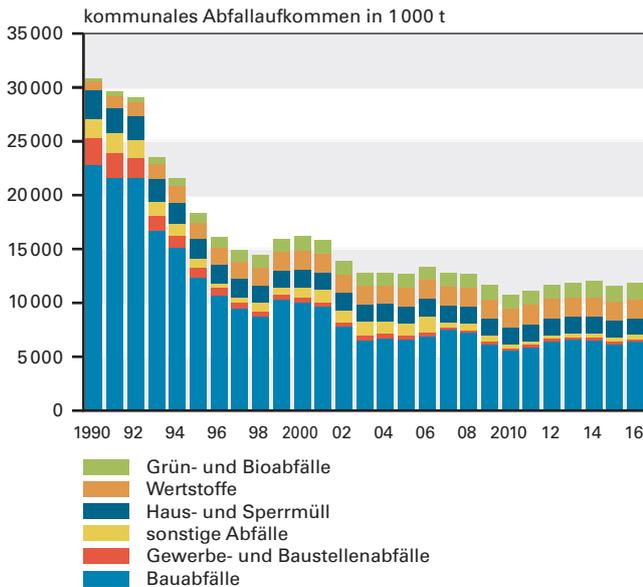
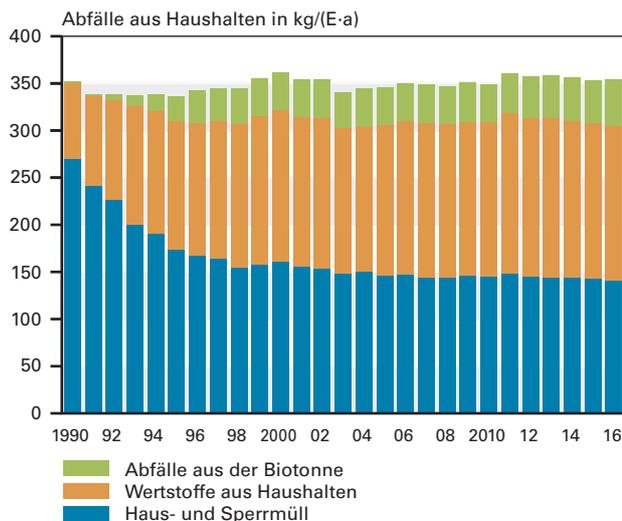


Abb. 8.1-4: Mengenentwicklung des kommunalen Abfallaufkommens in Baden-Württemberg seit 1990. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: Juli 2018.

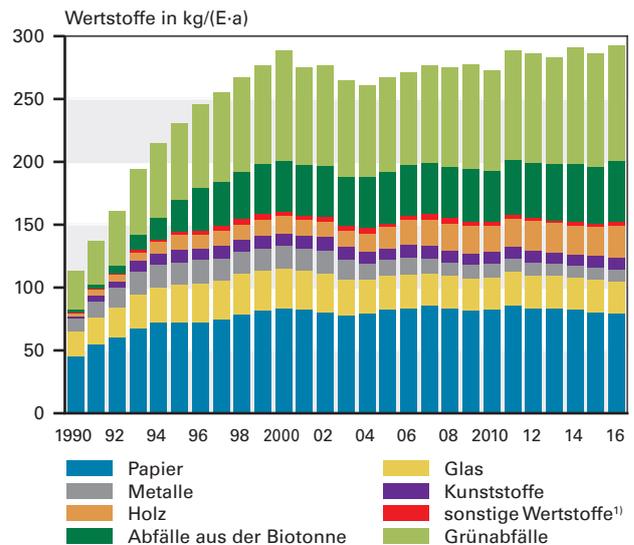


1990 bis einschließlich 2010 Pro-Kopf-Aufkommen auf Basis Volkszählung 1987, ab 2011 Pro-Kopf-Aufkommen auf Basis Zensus 2011.

Abb. 8.1-5: Mengenentwicklung von Haus- und Sperrmüll, Abfällen aus der Biotonne und Wertstoffen aus Haushalten in Baden-Württemberg seit 1990. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: Juli 2018.

In Baden-Württemberg ist das Haus- und Sperrmüllaufkommen von $269 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ im Jahr 1990 auf $140 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ im Jahr 2016 zurückgegangen. Herangezogen wird dabei der Einwohnerstand jeweils zum 30. Juni des Jahres. Aufgrund der zunehmenden Getrenntsammlung 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 Haushalten und Abfällen aus der Biotonne** liegt seit 1990 relativ konstant bei etwa $349 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ (Abb. 8.1-5). Das bedeutet, dass das Ziel einer vermehrten Abfallvermeidung hier nicht erreicht wurde.

Im Zeitraum von 1990 bis 2016 stiegen die Mengen bei den getrennt erfassten **Wertstoffen** wie Papier, Glas, Metalle, Kunststoffe, Holz, Textilien und Verbundstoffe von $81 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ auf $165 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ sowie bei den Abfällen aus der Biotonne von $2 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ auf $49 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ (Abb. 8.1-6). Die Menge der Abfälle aus der Biotonne hat sich im Jahr 2016 gegenüber dem Vorjahr um 10 % erhöht. Bioabfälle sollen im Sinne der Ressourcenwirtschaft zukünftig in noch größerem Umfang stofflich und energetisch verwertet werden.



1) Textilien, Altfette, Verbunde (Flüssigkartons), Kabel, Teppiche, etc.

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 Wertstoffen sowie Abfällen aus der Biotonne und Grünabfällen in Baden-Württemberg seit 1990. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: Juli 2018.

Gefährliche Abfälle (wie z. B. Asbest) weisen Gefährlichkeitsmerkmale auf, die eine potenzielle Gefahr für die Gesundheit und die Umwelt darstellen. Umgangssprachlich 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 0,6 Mio. t auf rund 2,8 Mio. t im Jahr 2016 mehr als vervierfacht (Abb. 8.1-7).

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. Betriebe, die ihre erzeugten Abfälle früher selbst aufbereiteten, stellten vermehrt auf externe Entsorgung

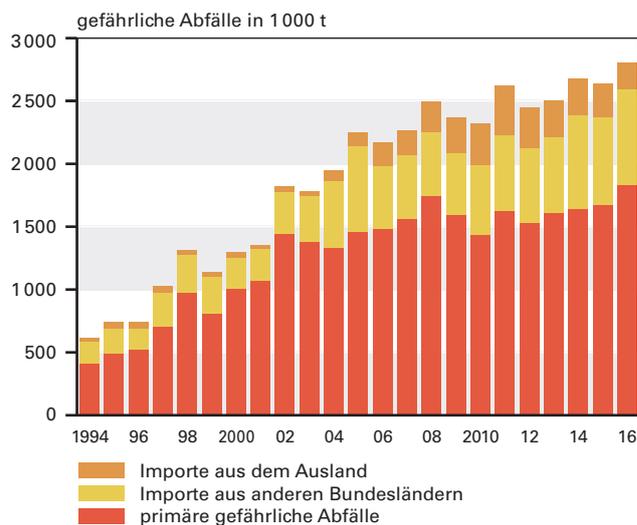


Abb. 8.1-7: Mengenentwicklung der gefährlichen Abfälle in Baden-Württemberg seit 1994. Quelle: SAA Sonderabfallagentur Baden-Württemberg GmbH.

dieser Abfälle um. Dies führte damals zu einem Anstieg der durch Begleitscheine erfassten Sonderabfallmengen. Dagegen gab es in den letzten Jahren, gemessen an der Wirtschaftsentwicklung, nur noch einen geringen Anstieg der Sonderabfallmenge von 2,6 Mio. t im Jahr 2011 auf 2,8 Mio. t im Jahr 2016.

8.2 Entsorgung von Abfällen

Abfälle müssen vor einer Verwertung 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
(Kompostieren, 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) oder durch thermische Abfallbehandlung 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 vom 24.07.2002 mussten die bestehenden Deponien diesen Deponieklassen zugeordnet werden. Die ehemaligen Bodenaushub- und Bauschuttdeponien wurden den Deponieklassen 0 und I zugeordnet. Bei den Bodenaushubdeponien wurde in Baden-Württemberg eine zur Deponiekategorie 0 eingeschränkte Deponiekategorie -0,5 eingeführt. Darunter sind Deponien zu verstehen, bei denen ausschließlich nicht verunreinigter Bodenaushub abgelagert werden darf und somit keine besonderen Anforderungen an die Barrierewirkung des Untergrunds sowie das Basisabdichtungssystem gestellt werden. Die ehemaligen Hausmülldeponien wurden der Deponiekategorie II zugeordnet.

Ein deutlicher Wandel in den Entsorgungswegen ist vor allem bei der Ablagerung von Abfällen auf Deponien der Deponiekategorie II festzustellen. Von 1990 bis 2016 ging die abgelagerte kommunale Abfallmenge (ohne Baumassenabfälle, Asbest, Problemstoffe und Elektroaltgeräte) von

5,8 Mio. t auf rund 131 000 t stark zurück. Im gleichen Zeitraum hat sich die stoffliche Verwertung fast verdoppelt und betrug im Jahr 2016 rund 1,9 Mio. t. Eine noch größere Zunahme ist bei der biologischen Behandlung der kommunalen Abfälle zu beobachten. Die Menge der biologisch behandelten Abfälle, insbesondere durch Aufbereitung zu Kompost, stieg von 419 000 t im Jahr 1990 auf rund 1,2 Mio. t im Jahr 2016 an und hat sich somit nahezu verdreifacht. Die Menge der thermisch und mechanisch-biologisch behandelten Abfälle nahm ebenso deutlich von 824 000 t im Jahr 1990 auf 2,1 Mio. t im Jahr 2016 zu. Dieser vor allem seit 2005 zu verzeichnende Anstieg ist auf das seit dem 01.06.2005 geltende Ablagerungsverbot für organik-haltige Abfälle zurückzuführen (Abb. 8.2-1).

8.2.1 Entsorgung von Klärschlamm

Auch der in den 917 kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg anfallende Klärschlamm zählt zur Gruppe der Siedlungsabfälle. Im Jahr 2016 fielen bei der Abwasserreinigung rund 235 000 t Klärschlamm (Trockenmasse) an. Davon wurden 226 000 t thermisch behandelt und nur noch rund 9 000 t stofflich verwertet (z. B. Landwirtschaft, Landschaftsbau, Kompostierung). Die Deponierung von Klärschlamm ist seit dem 01.06.2005 abfallrechtlich nicht mehr möglich. Nur noch 0,9 % des Klärschlammes wurde im Jahr 2016 in der Landwirtschaft und nur noch 2,4 % im Landschaftsbau verwertet. Dieser Trend zur thermischen Behandlung von Klärschlamm wurde durch das Land seit Ende der 1990er-Jahre eingeleitet (Abb. 8.2-2).

Um auch weiterhin die Düngewirkung der Klärschlämme zu nutzen, verfolgt das Land seit 2012 mit einer Phosphorrückgewinnungsstrategie das Ziel, den Phosphor aus Klärschlamm zurückzugewinnen. Eine erste durch das Land finanzierte großtechnische Anlage ist seit November 2011 auf der Anlage des Abwasserzweckverbandes Offenburg in Betrieb. Mit der Förderung von Machbarkeitsstudien zur Phosphorrückgewinnung und einem großzügig angelegten Förderprogramm zum Aufbau einer ersten Infrastruktur an Phosphorrückgewinnungsanlagen leistet das Land einen richtungsweisenden Beitrag zur Ressourceneffizienz.

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:

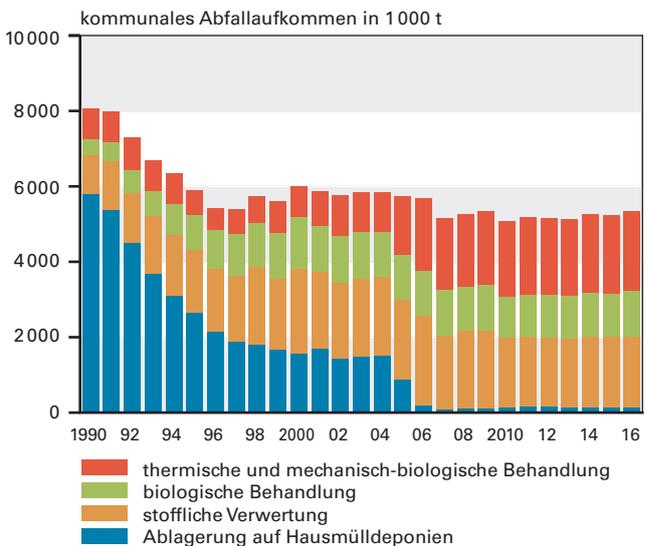


Abb. 8.2-1: Mengenentwicklung des kommunalen Abfallaufkommens¹⁾ in Baden-Württemberg seit 1990 nach Art der Entsorgung²⁾. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: Juli 2018.

1) Ohne Baumassenabfälle, ohne Problemstoffe, ohne E-Altgeräte/Lampen und seit 2002 ohne asbesthaltige Abfälle. - 2) Ohne auf Bodenaushub-/Bauschuttdeponien (Deponien DK 0 und DK 1) abgelagerte Abfälle, ohne sonstige Behandlungsverfahren.

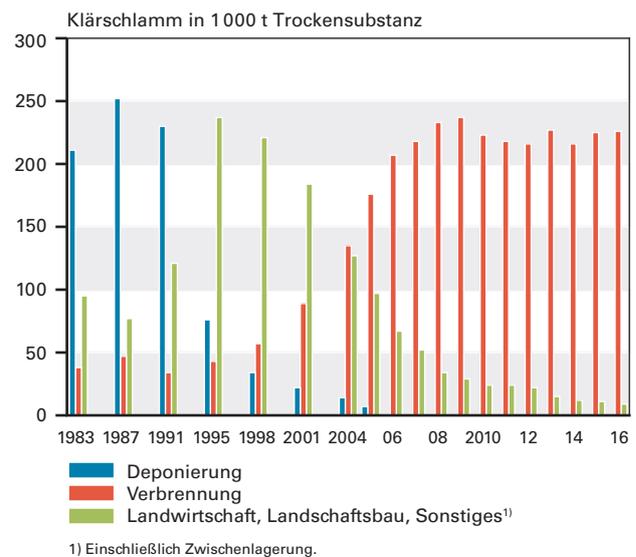


Abb. 8.2-2: Klärschlamm Entsorgung in Baden-Württemberg seit 1983. Quellen: 1983 bis 2001 Statistisches Landesamt Baden-Württemberg; ab 2004 Datenlieferung des Umweltministeriums zur Abfallbilanz 2016. Stand: Juli 2018

- Biologische Behandlungsanlagen für Bio- und Grünabfälle,
- Chemisch-physikalische Behandlungsanlagen,
- Mechanisch-physikalische Behandlungsanlagen (Sortier- und Zerlegeanlagen),
- Mechanisch-biologische Behandlungsanlagen für Restabfälle und
- Thermische Restabfallbehandlungsanlagen.

In Baden-Württemberg gibt es sechs thermische Restabfallverbrennungsanlagen (Müllverbrennungsanlagen). Die einzige mechanisch-biologische Behandlungsanlage (MBA) zur Behandlung von Restabfällen wird am Standort der Deponie Kahlenberg im Ortenaukreis betrieben.

Die Zahl der betriebenen Deponien in Baden-Württemberg ist nach dem seit 01.06.2005 geltenden Ablagerungsverbot für organikhaltige Abfälle deutlich zurückgegangen. Von 48 ehemaligen Hausmülldeponien im Jahr 2001 wurden im Jahr 2016 nur noch 23 als Deponien mit Deponieabschnitten der Deponieklasse II betrieben. Die Anzahl der Deponien unterteilt nach Deponieklasse zeigt Tabelle 8.2-1.

Zur Ablagerung von Abfällen gibt es außerdem drei Versatzbergwerke sowie für Sonderabfälle eine Untertagedeponie (Deponieklasse IV) in Heilbronn und eine oberirdische Sonderabfalldeponie (Deponieklasse III) in Billigheim im Neckar-Odenwald-Kreis.

Tab. 8.2-1: Im Jahr 2016 in der Betriebsphase befindliche Deponien in Baden-Württemberg.

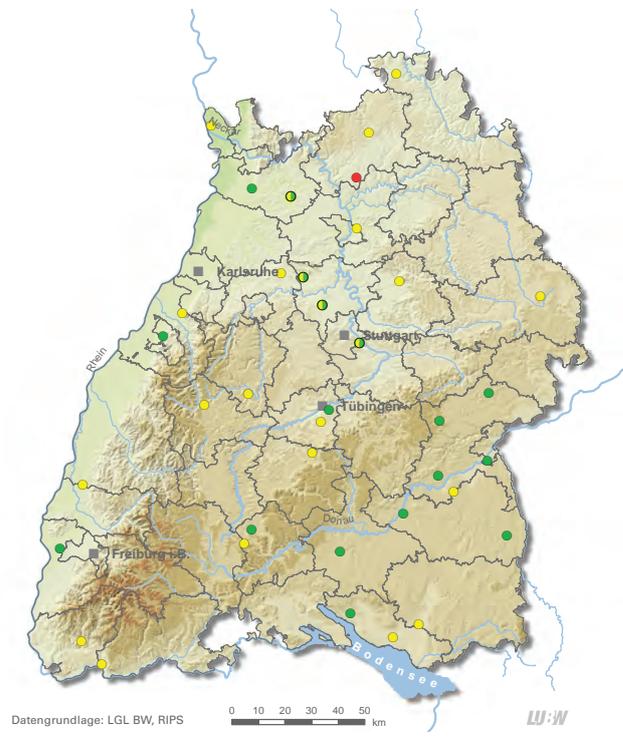
Deponieklasse	Anzahl Deponien
-0,5	217
0	66
I	17 ¹⁾
II	24 ¹⁾²⁾

1) Hierbei wurden 4 Deponien mit Deponieabschnitten der Deponieklasse I und II mit eingerechnet.

2) Einschließlich einer betriebseigenen Deponie.



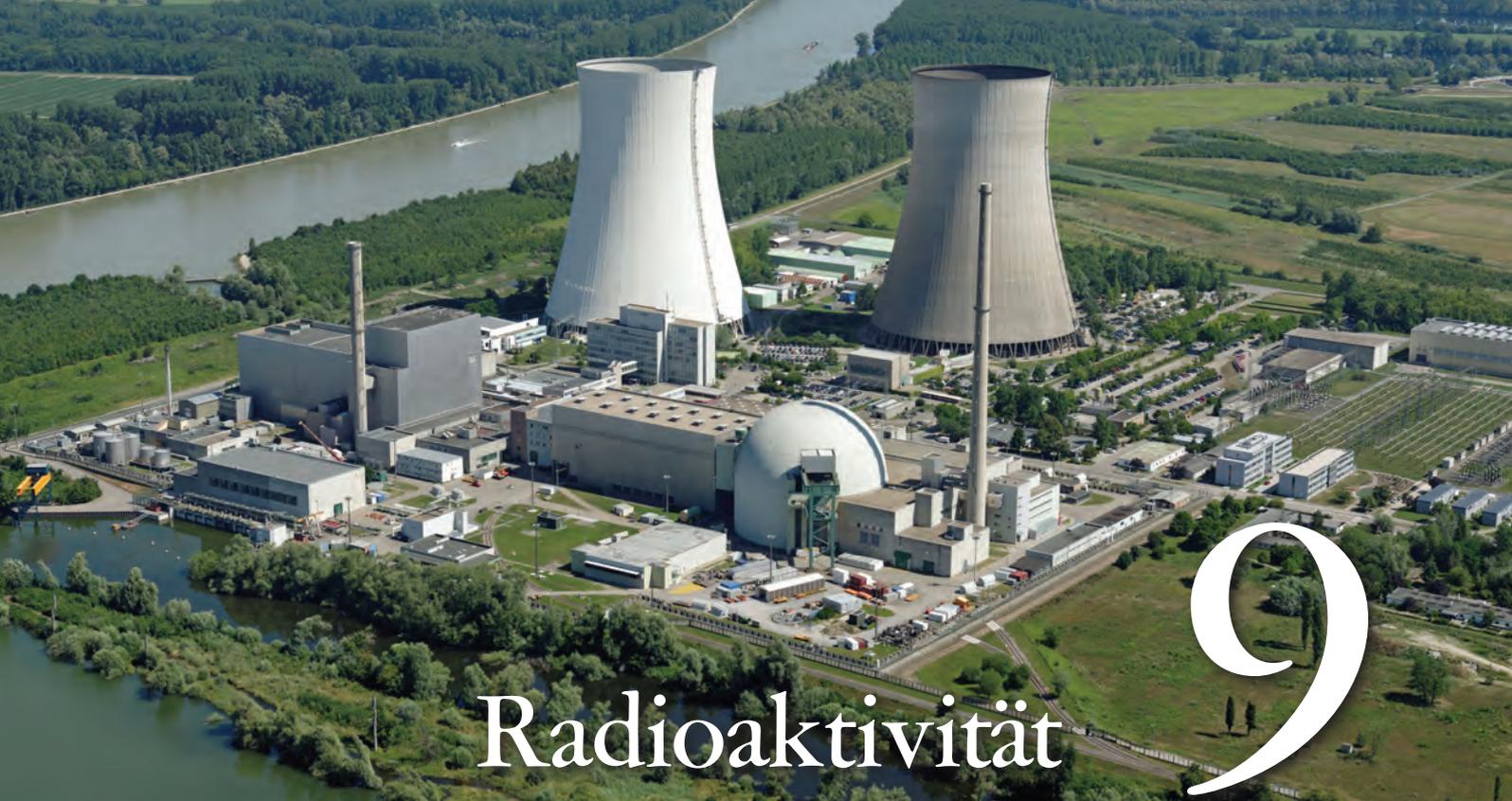
Abb. 8.2-3 zeigt die Lage der Deponien der Deponieklassen I bis III der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger in Baden-Württemberg.



Standorte von Deponien DK I, DK II und DK III

- DK I
- DK I/II
- DK II
- DK III

Abb. 8.2-3: Deponien der Deponieklassen I bis III in Baden-Württemberg. Stand: 2016.



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.

Für die Bevölkerung in Baden-Württemberg kann aufgrund der ermittelten Radioaktivitätsgehalte in den überwachten Medien eine unzulässige Strahlenexposition 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 in den 1960er Jahren und des Reaktorunfalls von Tschernobyl im Jahr 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 **Strahlenexposition der Menschen** spielt die Röntgendiagnostik die weitaus größte Rolle.

Die auf der Erde vorkommenden chemischen Elemente weisen zu einem kleinen Anteil instabile Atomkerne auf. Diese 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 Orga-

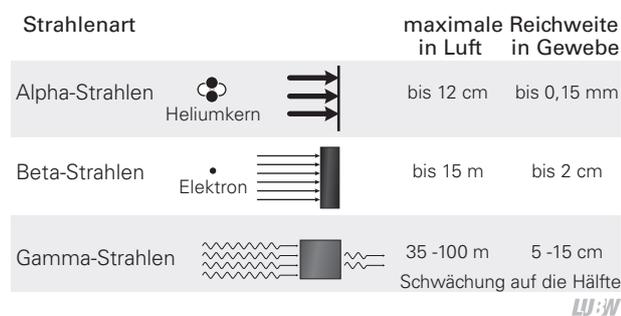


Abb. 9-1: Strahlungsarten und ihre Eigenschaften.

nismus 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 µSv), angegeben (Abb. 9-2).

Die LUBW betreibt für Baden-Württemberg 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 Kernkraftwerken 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 (vgl. Kapitel 10.1).

Ursache	Folge	Wirkung
Radioaktivität	Strahlung	Dosis
Zahl der pro Sekunde zerfallenden Atomkerne	Alpha-, Beta- und Gammastrahlung, Neutronenstrahlung	Energieabgabe im Gewebe, Zellschädigung
Maßeinheit: Becquerel (Bq)		Maßeinheit: Sievert (Sv)

LUBW

Abb. 9-2: Radiologische Zusammenhänge.

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. Für die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen sind die Vorgaben des § 47 der Strah-

lenschutzverordnung 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 Expositions-

Tab. 9.1-1 Kernkraftwerke (KKW) in Baden-Württemberg.

Standort	Block/Kürzel	Name	Reaktortyp	In Betrieb seit	Betriebsende
Neckarwestheim	GKN I	Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar I / II	Druckwasserreaktor	01.12.1976	06.08.2011
Neckarwestheim	GKN II		Druckwasserreaktor	13.04.1989	31.12.2022
Philippsburg	KKP 1	Kernkraftwerk Philippsburg 1/2	Siedewasserreaktor	26.03.1980	06.08.2011
Philippsburg	KKP 2		Druckwasserreaktor	18.04.1985	31.12.2019
Obrigheim	KWO	Kernkraftwerk Obrigheim	Druckwasserreaktor	31.03.1969	11.05.2005

pfade 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 mittleren Strahlenexposition des Menschen von 2 bis 4 mSv/a (vgl. Abb. 9.4-2).

Die abgeleiteten Aktivitätsmengen werden kontrolliert und nach Nuklidgruppen getrennt bilanziert. In Baden-Württemberg werden drei Kernkraftwerke überwacht (Tab. 9.1-1) Darüber hinaus unterliegen auch die Einrichtungen auf dem Gelände des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT Campus Nord, KIT-CN, vormals Forschungszentrum Karlsruhe) der Emissionsüberwachung. Die Anlagen und die Standorte werden auch nach Ende des Leistungsbetriebs (KWO, GKN I, KKP 1) weiter überwacht.

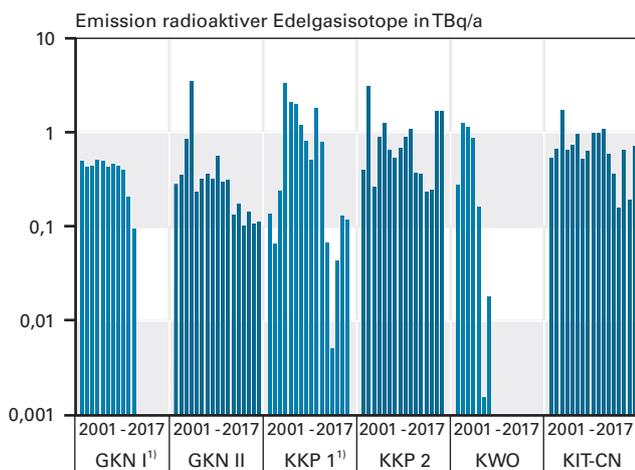
9.1.1 Abgaben mit der Abluft

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 beta- und gammastrahlender Aerosole sowie die Tritiumemissionen (H-3-Emissionen) dargestellt.

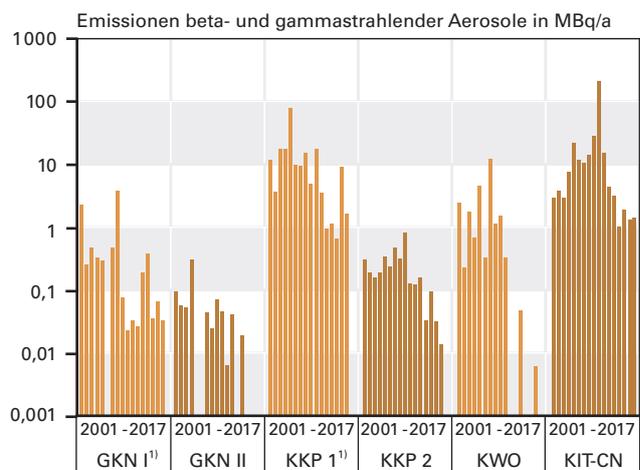
Bei Kernkraftwerken setzen sich die **Edelgasemissionen** vorwiegend aus den kurzlebigen radioaktiven Isotopen der Edelgase Xenon und Krypton zusammen. Die Edelgasemissionen spiegeln sowohl die leistungsabhängige Bildung von Edelgasen als auch die Dichtheit der Brennelementhüllen beim Betrieb von Kernkraftwerken 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 Strahlenexposition ist sehr gering. Sie liegt selbst im Nahfeld eines Kernkraftwerkes um etwa drei Größenordnungen unter der Strahlenexposition, 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



1) Mit Inkrafttreten der 13. Atomgesetznovelle am 06.08.2011 ist die Berechtigung zum Leistungsbetrieb erloschen.
GKN: Kraftwerke Neckarwestheim; KKP: Kraftwerke Philippsburg, Kraftwerk Obrigheim; KIT-CN: Karlsruher Institut für Technologie, Campus Nord.

Abb. 9.1-1: Emissionen radioaktiver Edelgasisotope mit der Abluft. Quelle: IMIS, Betreiberdaten 2018.



1) Mit Inkrafttreten der 13. Atomgesetznovelle am 06.08.2011 ist die Berechtigung zum Leistungsbetrieb erloschen.
GKN: Kraftwerke Neckarwestheim; KKP: Kraftwerke Philippsburg, Kraftwerk Obrigheim; KIT-CN: Karlsruher Institut für Technologie, Campus Nord.

Abb. 9.1-2: Emissionen beta- und gammastrahlender Aerosole mit der Abluft (GKN 2005/06 unterhalb der Erkennungsgrenze). Quelle: IMIS, Betreiberdaten 2018.

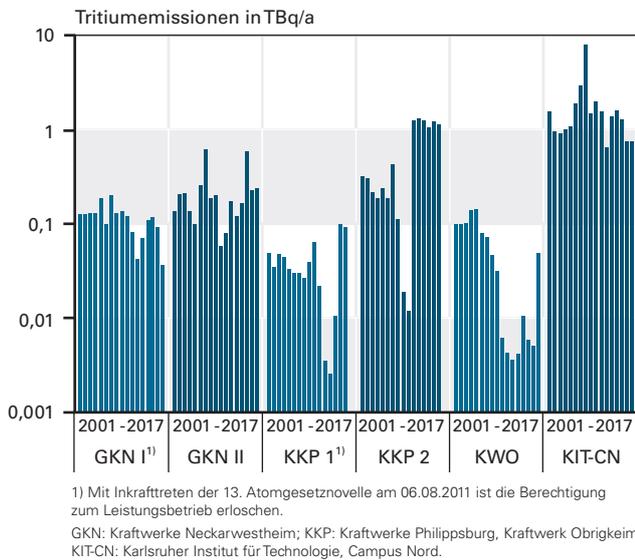


Abb. 9.1-3: Tritiumemissionen mit der Abluft.
 Quelle: IMIS, Betreiberdaten 2018.

sich um Nuklide, die durch Spaltung oder nachfolgenden radioaktiven Zerfall der durch Spaltung direkt entstandenen Nuklide entstehen (Abb. 9.1-4). 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 Tritiumemissionen der Kernkraftwerke korrelieren in etwa mit der jeweiligen jährlichen Betriebsdauer.

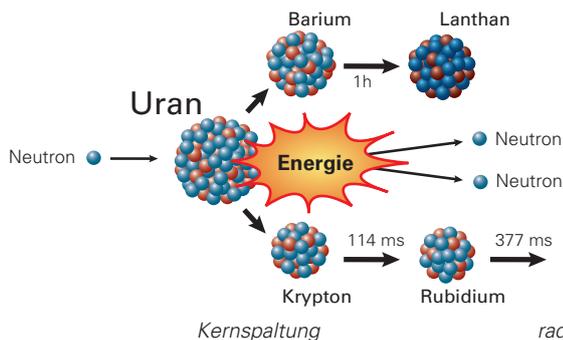


Abb. 9.1-4: Schematische Darstellung einer Kernspaltung und des radioaktiven Zerfalls der Folgeprodukte.

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 9.1-5 und 9.1-6 sind die Ableitungen der Nuklidgruppe der Spalt- und Aktivierungsprodukte sowie von Tritium dargestellt. Edelgase spielen beim Abwasser keine Rolle.

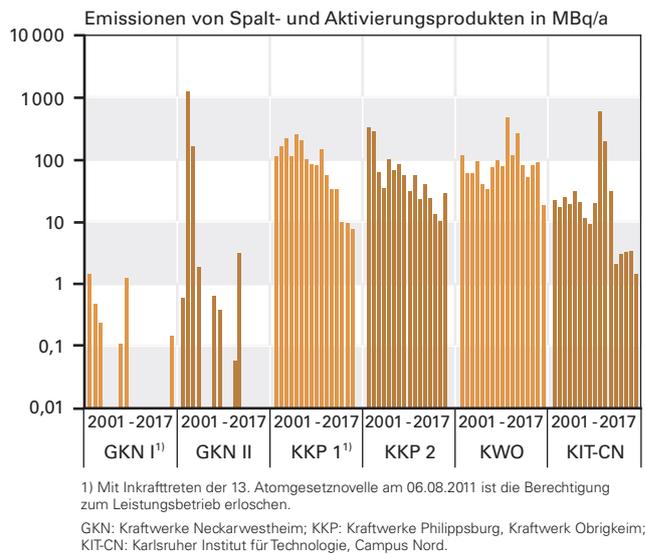


Abb. 9.1-5: Emissionen von Beta-/Gammastrahlern mit dem Abwasser. Quelle: IMIS, Betreiberdaten 2018.

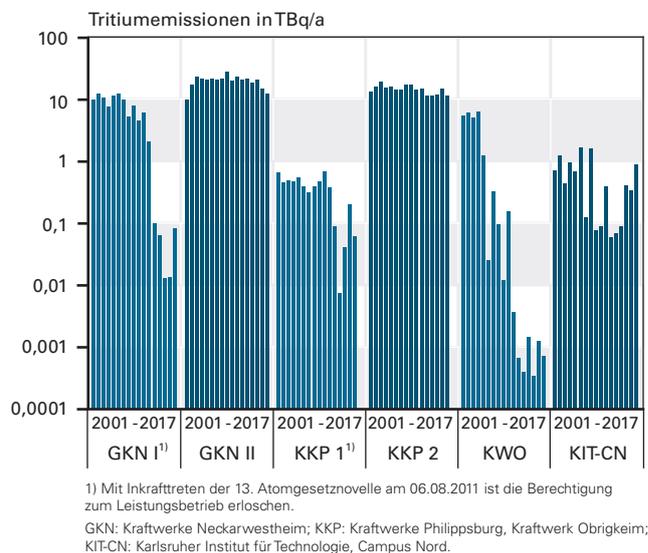


Abb. 9.1-6: Tritiumemissionen mit dem Abwasser. Quelle: IMIS, Betreiberdaten 2018.

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 Aktivierungsprodukte 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 von der Dichtheit der Umhüllung der Brennstäbe und der Leistungsfähigkeit der Wasserreinigungsanlagen ab. Die Ableitungen des KIT-CN sind mit

denen von Kernkraftwerken nicht vergleichbar. Auf dem KIT-Gelände befinden sich neben verschiedenen Rückbauprojekten von Kernforschungseinrichtungen einschließlich Wiederaufbereitungsanlage und Verglasungsanlage auch das Zwischenlager und die Konditionierungseinrichtung für radioaktive Abfälle. Dabei entstehen teilweise andere Stoffe als beim Betrieb von Kernkraftwerken.

Die Druckwasserreaktoren geben typischerweise jeweils mehr Tritium ab als der Siedewasserreaktor KKP 1 (Abb. 9.1-6). Langfristig betrachtet ist Tritium das im Abwasserpfad am häufigsten nachgewiesene künstliche Radionuklid.

9.2 Anlagenbezogene Immissionsüberwachung

Die Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI, 2005) umfasst die Messung der Gamma-Ortsdosis, der Aerosole und des Niederschlags in der Umgebung. Außerdem werden Boden, Bewuchs, pflanzliche Nahrungsmittel, Milch und Milchprodukte, Oberflächenwasser, Sedimente, Fische und Trinkwasser untersucht. Je nach Medium werden die Proben ganzjährig oder saisonabhängig genommen. Regionale Besonderheiten, z. B. Weinbau, werden dabei berücksichtigt.

In den **Messergebnissen** spiegeln sich noch schwach die langlebigen Nuklide der früheren oberirdischen Kernwaffenversuche und des Reaktorunfalls von Tschernobyl 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. Höhere Werte als die zur Ableitung zulässige Aktivität wurden nicht festgestellt. Die Messwerte der Gamma-Ortsdosis liegen im Bereich der durch natürliche Radioaktivität bedingten Untergrundstrahlung. Die Werte der Neutronen-Ortsdosis liegen unterhalb der Nachweisgrenze. Für die Bevölkerung in Baden-Württemberg kann aufgrund der ermittelten Radioaktivitätsgehalte in den überwachten Medien eine unzulässige Strahlenexposition durch den Betrieb der kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen ausgeschlossen werden.

Die einzelnen Ergebnisse der anlagenbezogenen Immissionsüberwachung dokumentiert die LUBW jährlich in dem Bericht „Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen“ (www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Radioaktivität > Anlagenüberwachung).

9.3 Umweltbezogene Immissionsüberwachung

Strahlenexpositionen entstehen entweder über Direktstrahlung von außen oder über die Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper, in der Regel über die Atemluft oder über die Nahrung. Dies gilt sowohl für künstliche als auch für natürliche Radionuklide. Die wichtigsten im Durchschnittsmenschen in einem dynamischen Gleichgewicht von Aufnahme und Ausscheidung stets vorhandenen Radionuklide sind Kalium-40 mit ca. 4200 Becquerel (Bq) und Kohlenstoff-14 mit ca. 3800 Bq. Alle inkorporierten Radionuklide natürlichen Ursprungs führen zusammen zu einer inneren Strahlenexposition von rund 0,3 mSv/a.

9.3.1 Luft

Die Konzentrationen radioaktiver Stoffe in den Umweltmedien Luft, Wasser, Boden sowie in der Nahrungskette sind äußerst gering. In der Luft kommen als künstliche Radionuklide die Edelgase Krypton-85 (Halbwertszeit 10,8 Jahre) und Xenon-133 (Halbwertszeit 5,3 Tage) vor, die aus der technischen Nutzung der Kernenergie stammen. Das langfristig gemessene Jahresmittel der Krypton-85-Aktivität erhöhte sich in den vergangenen 30 Jahren in unseren Breitengraden von 0,6 Becquerel pro Kubikmeter

(Bq/m³) auf über 1,5 Bq/m³. Dies entspricht dem globalen Trend und zeigt, dass die Freisetzungsrates für Krypton-85 weltweit größer ist als seine radioaktive Zerfallsrate. Radiologisch sind Krypton-85 und Xenon-133 in den beobachteten Aktivitätskonzentrationen 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 (Bq/l) bis 4 Bq/l. Ohne Einfluss des Menschen läge er, wie bei sehr alten Tiefenwässern, bei unter 1 Bq/l. Bei den oberirdischen Fließgewässern konnten so gut wie keine im Wasser gelösten künstlichen Radionuklide nachgewiesen werden. Allerdings transportieren Bäche und Flüsse auch Schwebstoffe, an denen sich radioaktive Stoffe anlagern können und die auf der Gewässer- sohle als Sediment abgelagert werden. In diesem ist Cäsium-137 aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl aufzufinden. In den stromabwärts von kerntechnischen Anlagen gelegenen Flussabschnitten sind künstliche Radionuklide in den Sedimenten nachweisbar. 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 Bq/kg und knapp 30 Bq/kg Trockenmasse (TM). Das natürlich vorkommende Kalium-40 findet man dagegen regelmäßig in Konzentrationen von mehreren hundert Bq/kg TM.

Im untersuchten **Trink- und Grundwasser** konnten außer gelegentlichen Spuren von Strontium-90 (zwischen 0,001 Bq/l und 0,01 Bq/l) keine künstlichen beta- oder gammastrahlenden radioaktiven Inhaltsstoffe nachgewiesen werden. Die Strontiumkonzentrationen liegen unterhalb der Gehalte, die an natürlichen Radionukliden anzutreffen sind: Trinkwasser weist in Deutschland Kalium-40-Konzentrationen um die 0,2 Bq/l und Radium-226-Konzentrationen um die 0,004 Bq/l auf. Wird Wasser als Trinkwasser aufbe-

reitet oder verwendet, so schreibt die Trinkwasserverordnung die Einhaltung eines Dosisgrenzwertes von maximal 0,1 mSv/a infolge Trinkwasserkonsums vor. Die zulässigen Aktivitätskonzentrationen für Tritium und für Radon in Trinkwasser betragen jeweils 100 Bq/l. Der Gehalt an natürlich vorkommendem Uran im Trinkwasser ist mit 10 µg/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 2018 erst auf rund 48 % des Ausgangswertes von 1986 zurückgegangen. Insbesondere in Bayern und in den südlichen und südöstlichen Regionen Baden-Württembergs weisen die Böden auch 2018 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

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 über Lebensmittel bei Erwachsenen einer Strahlenexposition von etwa 1 mSv entspricht. Die Strahlenexposition durch den Verzehr von Nahrungsmitteln hängt vom individuellen Ernährungsverhalten ab.

Insgesamt ist die Belastung der Lebensmittel mit künstlichen Radionukliden verschwindend gering. In der überwiegenden Zahl der landwirtschaftlichen Produkte sind künstliche Radionuklide nur noch in geringsten Spuren vorhanden (Abb. 9.3-1 und 9.3-2).

Am Beispiel **essbarer Waldpilze** lässt sich verdeutlichen, wie sich Cäsium-137 in der Nahrung anreichern kann. 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 beispielsweise Maronenröhrlinge, nehmen Cäsium besonders gut auf, ähnlich verhalten sich Semmelstoppelpilze, Ockertäublinge, Perlpilze, graublättrige Schwefelköpfe oder Habichtspilze. Andere, wie der Safranschirmling oder ver-

schiedene 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

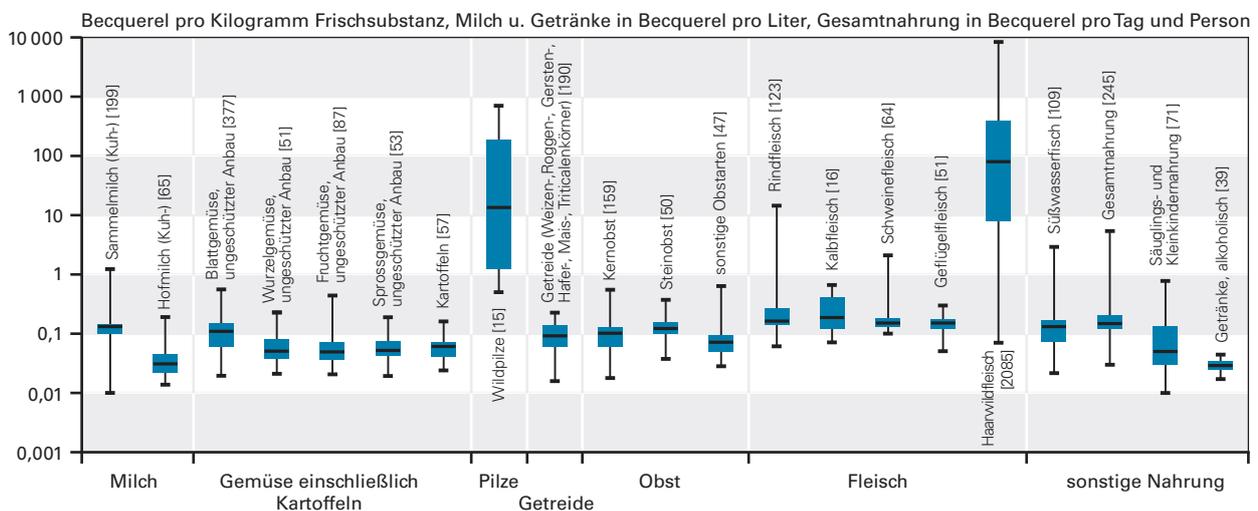


Abb. 9.3-1: Cäsium-137 in Nahrungsmitteln in Baden-Württemberg 2015 bis 2017. Die medienspezifische Zahl der Proben ist jeweils in Klammern vermerkt. Gesamtzahl der Messungen: 4153. Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz.

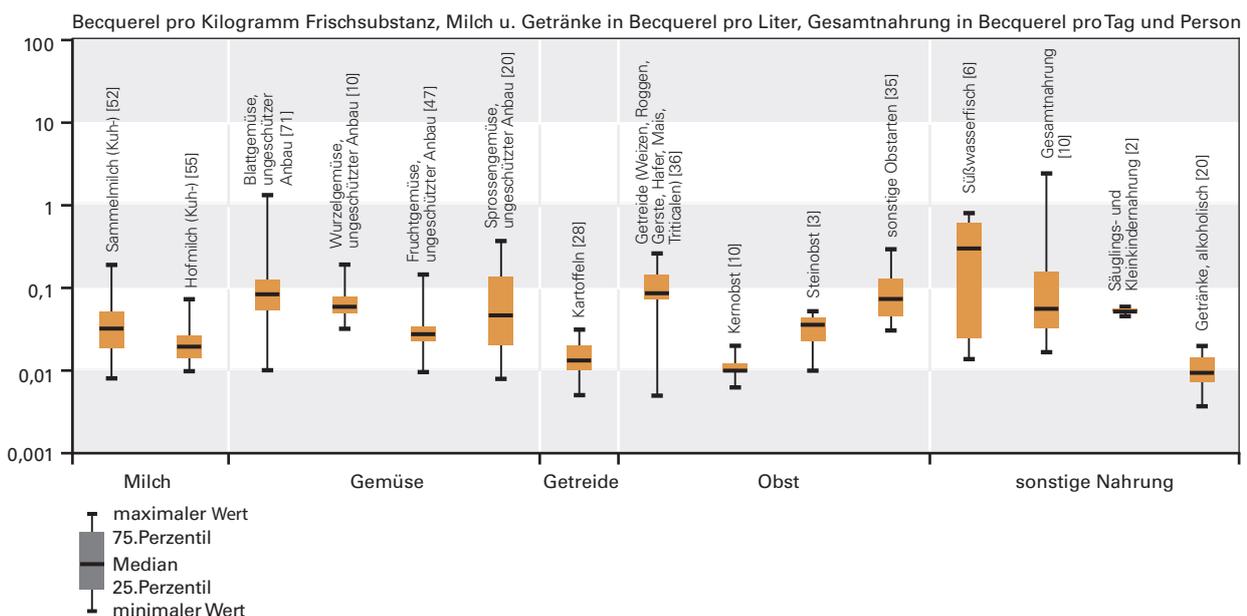


Abb. 9.3-2: Strontium-90 in Nahrungsmitteln in Baden-Württemberg 2015 bis 2017. Die medienspezifische Zahl der Proben ist jeweils in Klammern vermerkt. Gesamtzahl der Messungen: 405. Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz.

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 Radioaktivität durch Eigenkontrollmessstellen der Jägerschaft untersucht werden. Das Chemische und Veterinäruntersuchungsamt (CVUA) Freiburg bereitet die Ergebnisdaten zentral für Baden-Württemberg auf (www.ua-bw.de > CVUA Freiburg > Radioaktivität > Cs-137 in Wild).

Im Jagdjahr 2015/16 betrug der gemessene Spitzenwert 9261 Bq/kg Cäsium-137, im Jagdjahr 2016/17 lag er bei 4300 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 Strahlenexposition.

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 Strahlenexposition bedeutsamen Ereignisse, die oberirdischen Kernwaffentests in den 1960er Jahren und den Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahr 1986, 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 durch den Reaktorunfall in Tschernobyl verursachte Körperaktivität. Die Havarie mehrerer japanischer Kernkraftwerke infolge der Tsunami-katastrophe 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

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 1,7 mSv/a. Von allen Anwendungsgebieten ionisierender Strahlen liefert die Röntgendiagnostik mit etwa 1,6 mSv/a den bei weitem größten Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung. Der Beitrag der verschiedenen nuklearmedizinischen Untersuchungen ist mit 0,1 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 3,8 mSv/a.

Im zweiten Halbjahr 2017 hat die LUBW als unabhängige Messstelle des Landes den Transport von insgesamt 15 CASTOR-Behältern mit abgebrannten Brennelementen vom Kernkraftwerk Obrigheim (KWO) zum Zwischenlager des Kernkraftwerks Neckarwestheim (GKN) auf dem Neckar messtechnisch begleitet und ihre Messergebnisse zeitnah im Internet veröffentlicht (www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Radioaktivität > Castor). Sie waren durchweg un-

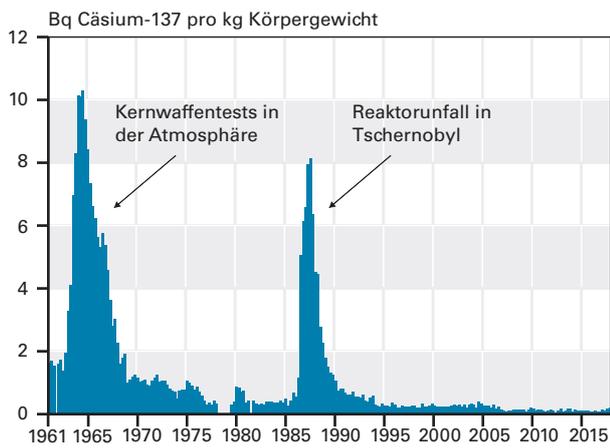


Abb. 9.4-1: Spezifische Aktivität von Cäsium-137 im menschlichen Körper im Raum Karlsruhe. Quelle: KIT. Stand: 2018.

auffällig und lagen im erwarteten Bereich. Die Dosis für eine Person, die sich bei Vorbeifahrt am Ufer im öffentlich zugänglichen Bereich aufgehalten hat, erreichte bis 0,01 Mikrosievert. Bei den rund 20-40-minütigen Schleusenaufenthalten erreichten die Dosiswerte in nicht gesperrten Bereichen bis zu 0,06 Mikrosievert. Im Vergleich mit der effektiven Dosis natürlichen Ursprungs von rund 2,1 mSv (2100 Mikrosievert) im Jahr sowie der zivilisatorischen Strahlenexposition des Menschen in Deutschland mit rund weiteren 1,7 mSv (1700 Mikrosievert) ist die Dosis durch den Castor-Transport völlig unbedeutend.

9.4.2 Berufliche Strahlenexposition

Personen, die in Bereichen mit erhöhter Strahlung arbeiten, unterliegen der Strahlenschutzüberwachung. Dies betraf in Deutschland im Jahr 2015 ca. 405 000 Personen. Der Großteil dieser strahlenexponierten Personen (ca. 360 000) wird während der Arbeitszeit mit Dosimetern überwacht. 41 000 Personen waren als fliegendes Personal tätig, das einer erhöhten kosmischen Strahlung ausgesetzt ist. Die Strahlendosiswerte dieser Berufsgruppe werden anhand der geflogenen Strecken berechnet. Der Rest wird mit anderen Verfahren überwacht. Bei den meisten der mit Personendosimetern überwachten Personen lag während des ganzen Überwachungszeitraums die Personendosis unter der Nachweisgrenze. Bei den Überwachten mit einer messbaren Dosis (ca. 57 000 Personen) betrug die mittlere Jahrespersonendosis 0,5 mSv. Durch kosmische Strahlung während des Fluges waren aus dem Personenkreis des fliegenden Personals nahezu alle exponiert. 2015 betrug ihre mittlere berufliche Jahresdosis 1,9 mSv. Von den 306 über-

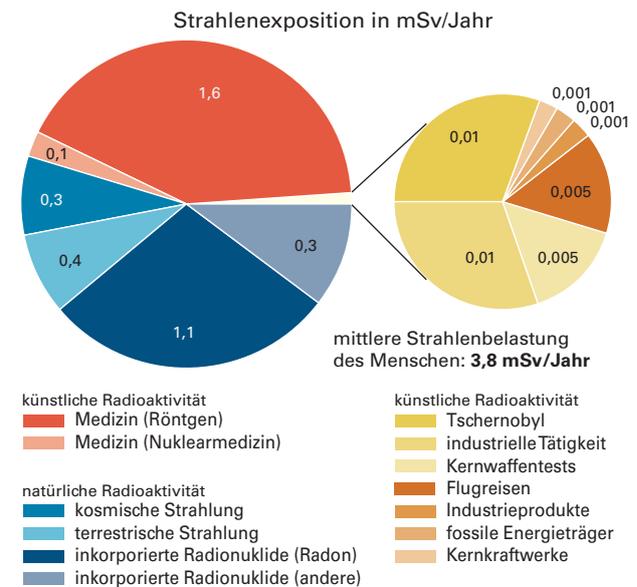


Abb. 9.4-2: Beiträge zur mittleren Strahlenexposition der Bevölkerung. Quellen: LUBW, BfS, [KOELZER 2017], Datenbasis 2014.

wachten Personen, die an Arbeitsplätzen mit natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen arbeiten wie z. B. in Wasserwerken, Schauhöhlen oder im Bergbau weisen 280 Personen (93 %) eine mittlere Jahresdosis von 3,7 Millisievert auf. Damit ist das fliegende Personal immer noch die insgesamt am höchsten strahlenexponierte Berufsgruppe in Deutschland, weit höher als das beruflich strahlenexponierte Personal aus Industrie, Medizin oder kerntechnischen Anlagen [BfS 2015].

Die relativ hohe individuelle Strahlenexposition an Arbeitsplätzen mit natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen kommt überwiegend durch das Einatmen von Radon und seinen Folgeprodukten zustande. 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 Raumluft zustande kommen. So sind in Hochbehältern Konzentrationen von einigen 10 000 Bq/m³, bei fehlender Lüftung sogar bis zu 100 000 Bq/m³, möglich. 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“ und die Broschüre des Umweltministeriums „Schutz vor Radon“.



10 Überwachung und Warndienste

Das Wichtigste in Kürze

Die LUBW betreibt verschiedene Überwachungs- und Warndienste, sodass bei einer Gefährdung von Mensch und Umwelt zeitnah erforderliche Maßnahmen ergriffen werden können.

Mit der **Kernreaktor-Fernüberwachung** – der KFÜ – wird unter anderem die Umgebung aller kerntechnischen Anlagen in Baden-Württemberg und im angrenzenden Ausland Immissionsmesstechnisch überwacht. Damit werden auch die wichtigsten Betriebsparameter der baden-württembergischen Kernkraftwerke online überwacht und unabhängig vom Betreiber ausgewertet.

In Baden-Württemberg sind 287 Betriebsbereiche nach der Störfall-Verordnung bei den Regierungspräsidien angezeigt. Die Betriebsbereichen liegen überwiegend in den industriellen Ballungsräumen des Landes. Ereignisse, das heißt Brände, Explosionen und Freisetzung toxischen Stoffe, müssen gemeldet werden und werden zentral für das Land in der LUBW erfasst, ausgewertet und an die zuständige Bundesbehörden weitergeleitet.

Im Rahmen des Luftmessnetzes werden an ausgewählten Messstationen aktuelle **Informationen zu den Luftschadstoffen** Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Ozon kontinuierlich gemessen und bei Überschreitung von Schwellenwerten die Bevölkerung zeitnah informiert.

Die **Hochwasservorhersagezentrale Baden-Württemberg (HVZ)** der LUBW bündelt – auch länderübergreifend – aktuelle Informationen wie hydrologische und meteorologische Messwerte und macht diese den zuständigen Verwaltungsstellen, der Bevölkerung sowie den Medien zugänglich. Für über 100 Pegel werden rund um die Uhr - mindestens 3-stündlich – aktuelle Wasserstands- und Abflussvorhersagen berechnet und veröffentlicht. Zusätzlich berechnet die HVZ ein Hochwasserfrühwarnsystem auf Ebene der Stadt- und Landkreise.

Der **internationale Warn- und Alarmplan Rhein** ist ein Frühwarnsystem entlang des gesamten Rheins zur schnellstmöglichen Erfassung und Bewertung unfallbedingter Schadstoffeinträge, um mögliche Gefährdungen für die Lebewesen des Rheins, seiner schützenswerten Altarme und die Trinkwassergewinnung zu erkennen und Gegenmaßnahmen zu ergreifen.

Im Rahmen des **Sauerstoffreglement Neckar** überwacht die LUBW die Sauerstoffverhältnisse an 13 Messstationen entlang des Neckars, so dass in kritischen Situationen Belüftungsmaßnahmen eingeleitet werden können.

10.1 Kernreaktor-Fernüberwachung

Die Kernreaktor-Fernüberwachung (KFÜ) ist ein komplexes System zur Online-Überwachung der kerntechnischen Anlagen im Land, das die LUBW im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg betreibt und kontinuierlich weiterentwickelt. Das Ministerium ist die atomrechtliche Aufsichtsbehörde. Mit der KFÜ kann die Aufsichtsbehörde die Einhaltung von Grenzwerten und Schutzziele überprüfen. Das System alarmiert beim Überschreiten von Warnschwellen selbständig die Atomaufsicht. Auch die Umgebung von abgeschalteten Anlagen wird immissionsseitig weiterhin überwacht (Abb. 10.1-1).

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 sensiblen Warndienst, der bei geringsten Veränderungen gegenüber der natürlich vorhandenen Strahlung die zuständige Atomaufsicht alarmiert.

10.1.1 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. 10.1-1).

Um die Atomaufsicht frühzeitig vor einem luftgetragenen Eintrag radioaktiver Stoffe zu warnen, werden zudem an zwölf Messorten Radioaerosolmessstationen betrieben (Abb. 10.1-1). In diesen Stationen wird regelmäßig die Umgebungsluft über Filterpatronen gesammelt und kontinuierlich gammasspektrometrisch ausgewertet: Ein Halbleiterdetektor misst noch während der Filterbestäubung die nuklidspezifische Gammastrahlung und bestimmt daraus die Aktivitätskonzentration der detektierten Radionuklide. Die Daten werden im Stundentakt zur LUBW übermittelt und verarbeitet. Im Alarmfall werden sie sofort übertragen, von der LUBW ausgewertet und umgehend der Atomauf-

sicht zur Verfügung gestellt. Aktuelle Messdaten zum Strahlenpegel und zur luftgetragenen Radioaktivität finden sich im Internet (www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Radioaktivität > Messwerte und Ergebnisse).

10.1.2 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. 10.1-2). Die dazu notwendigen meteorologischen Daten werden von Messstationen des 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

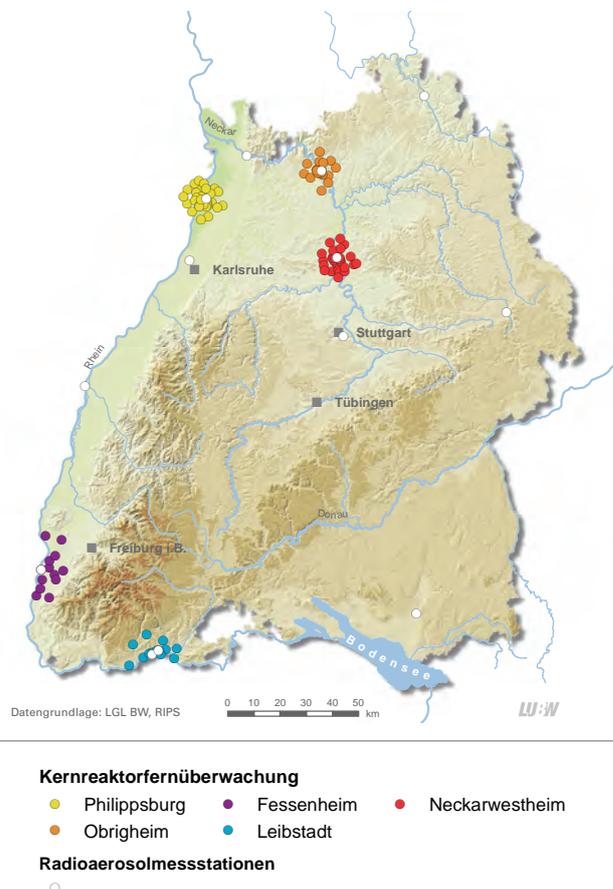


Abb. 10.1-1: Online-Überwachung der KFÜ in Baden-Württemberg. Stand: 2018.



Abb. 10.1-2: Beispielhafte Ergebnisdarstellung einer Ausbreitungsrechnung zur Beurteilung der radiologischen Lage im Falle eines kerntechnischen Unfalls am Standort Philippsburg (ohne Skalierung). Quelle: KFÜ.

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.

10.1.3 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 (<https://um.baden-wuerttemberg.de> > Umwelt & Natur > Kernenergie und Strahlenschutz > Aktuelle Informationen > Aktueller Anlagenstatus) können jederzeit aktuelle Informationen zum Anlagenstatus (Abb. 10.1-3) der aktiven baden-württembergischen Kernkraftwerke abgerufen werden.

Im Internetangebot der LUBW finden sich außerdem weiterführende Informationen zum Thema Radioaktivität (www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Radioaktivität).

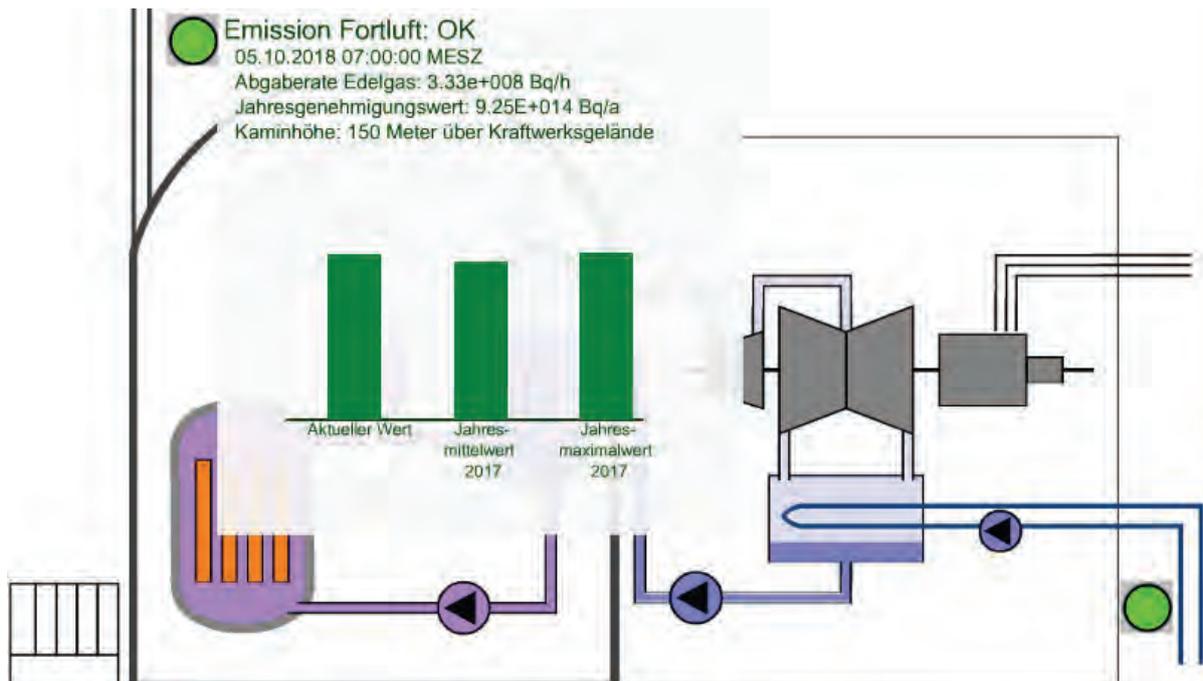


Abb. 10.1-3: Beispiel einer Darstellung des Anlagenstatus eines aktiven baden-württembergischen Kernkraftwerks im Internet. Quelle: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.

10.2 Anlagensicherheit

In Baden-Württemberg unterliegen 287 Betriebsbereiche den Regelungen der Störfall-Verordnung (StörfallV, 12. BImSchV von 2017). Die StörfallV gehört zum Rechtsbereich der technischen Sicherheit. In ihr werden die Anforderungen der sogenannten europäischen Seveso-III-Richtlinie 2012/18/EU 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 von Gefahrenkategorien, wie Gesundheitsgefahren, physikalischen Gefahren oder Umweltgefahren. Bei Erreichen oder Überschreiten der Mengenschwellen des Anhangs I, Spalte 4 werden die Betriebsbereiche der unteren Klasse zugeordnet. Betriebsbereiche der unteren Klasse müssen die Grundpflichten der StörfallV erfüllen. Hierzu gehören unter anderem 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. Bei Erreichen oder Überschreiten der Mengenschwellen des Anhangs I Spalte 5 StörfallV werden die Betriebsbereiche der oberen Klasse zugeordnet. Dann sind neben den Grundpflichten der StörfallV auch die Pflichten über das Erstellen eines Sicherheitsberichts, das Aufstellen von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen sowie die Information der Öffentlichkeit über Sicherheitsmaßnahmen einzuhalten.

10.2.1 Anzahl und Standorte der Betriebsbereiche

Von den 287 Betriebsbereichen, die in Baden-Württemberg unter die Störfall-Verordnung fallen, sind 167 der unteren Klasse und 120 der oberen Klasse zuzuordnen. Die Schwerpunkte liegen in den industriellen Ballungsräumen Baden-Württembergs: Mittlerer Neckar/Stuttgart, Rhein-Neckar/Mannheim, Mittlerer Oberrhein/Karlsruhe und Südlicher Oberrhein (Abb. 10.2-1).

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

des betreffenden Nachbarstaates ist. Die Beurteilung des Standortes und seiner Umgebung ist erforderlich, um die Erfordernisse der Bauplanung (§ 50 Bundes-Immissionsschutzgesetz) zu erfüllen, das heißt die Wahrung angemessener Sicherheitsabstände zwischen Betriebsbereichen und zu schützenden Objekten, wie Kindergärten, Schulen, Krankenhäusern und Wohngebieten zu ermöglichen. Außerdem dient diese Information dazu, Auskünfte über die gegenseitige Beeinträchtigung von Betriebsbereichen und anderen gefährlichen Tätigkeiten in der Nachbarschaft zu erhalten.

10.2.2 Betriebsbereiche und zugeordnete Tätigkeiten

Die Tätigkeiten der Betriebsbereiche lassen sich wirtschaftlichen Schwerpunkten zuordnen. Schwerpunkte im Anwendungsbereich der StörfallV bilden folgende Branchen:

- Petroleumprodukte und Chemikalienherstellung mit 55 Betrieben,
- Großhandel (Flüssiggas-Versorgungsunternehmen, Chemikalien- und Pflanzenschutzmittelhandel) sowie die damit verbundenen Lager und Speditionen mit 53 Betrieben,

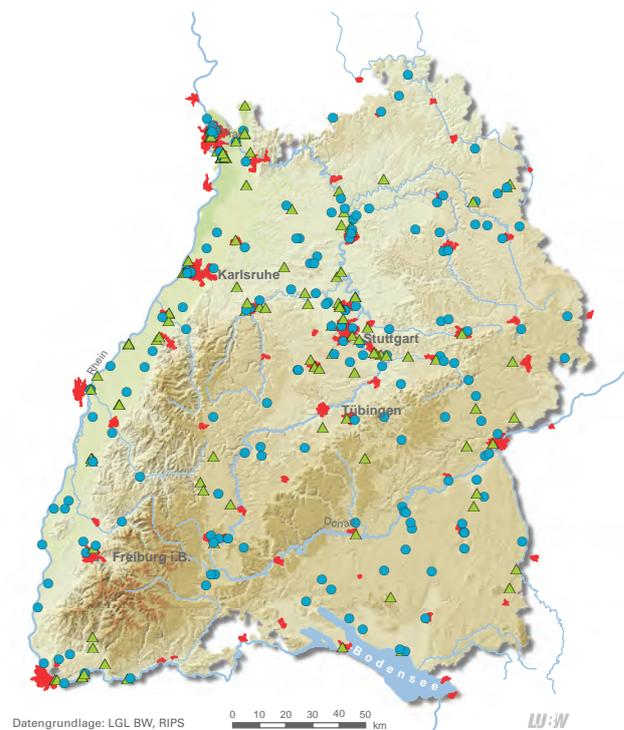


Abb. 10.2-1: Standorte der Betriebsbereiche in Baden-Württemberg, die unter die StörfallV fallen. Stand: 2018.

- Energieversorgung mit 53 Betrieben (darunter 27 Biogasanlagen, die in die untere Klasse der StörfallV fallen),
- Metallverarbeitung (Galvaniken und Oberflächenbehandlung) mit 26 Betrieben.

Auf die vier genannten Branchen entfallen insgesamt 65 % aller Betriebsbereiche in Baden-Württemberg.

Durch die Änderung im Rechtsbereich der StörfallV im Jahr 2017, der ein Systemwechsel für die Einstufung von Chemikalien zugrunde liegt, sind 40 Betriebsbereiche der Branche Oberflächenbehandlung aus dem Geltungsbereich der StörfallV herausgefallen. Einige wenige Betriebsbereiche sind durch die Neubetrachtung der Umweltgefährlichkeit in den Geltungsbereich neu dazugekommen. Weitere erkennbare Veränderungen sind durch den Ausbau der Biogaserzeugung und einen Rückgang der großen Flüssiggas-Versorgungsanlagen zu verzeichnen.

10.2.3 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.

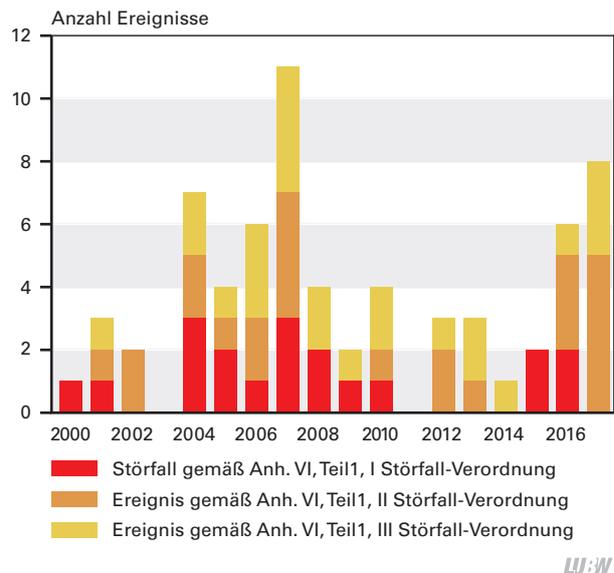


Abb. 10.2-2: Anzahl der gemeldeten Ereignisse in Baden-Württemberg.

In den Jahren 2000 bis 2017 wurden 67 Ereignisse in Baden-Württemberg erfasst (Abb. 10.2-2); dies entspricht einer durchschnittlichen Häufigkeit von 3,7 Ereignissen pro Jahr.

In den Jahren 2015 bis 2017 lag der Schwerpunkt der Ursachen überwiegend im Bereich des Sicherheitsmanagements und der Betriebsorganisation, ein besonderer Aspekt stellt die Planung notwendiger Vorkehrungen für den Stromausfall dar. Dies belegt die hohe Bedeutung von funktionierenden Sicherheitsmanagementsystemen 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).

Eine Auswertung der Ereignisfolgen zeigt, dass im Zeitraum 2000 bis 2017 unter den 51 Fällen 20 als „Schwere Unfälle“ eingestuft wurden. Darunter gab es fünf Ereignisse mit jeweils einem Todesfall, sieben Ereignisse mit Sachschäden über 2 Millionen Euro und weitere fünf Fälle, bei denen Personen verletzt wurden. Bei drei Ereignissen erfolgte die Einstufung aufgrund der großen Menge freigesetzter gefährlicher Stoffe.

10.3 Informationsdienst zu Luftschadstoffen

Für die Luftverunreinigungen Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffdioxid (NO₂) und Ozon (O₃) sind vom Gesetzgeber EU-einheitliche Alarm- und Informationsschwellen festgelegt (Tab. 10.3-1). 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 dann 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 41 Messstationen Stickstoffdioxid,
- an 29 Messstationen Ozon und
- an 4 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. 10.3-1).

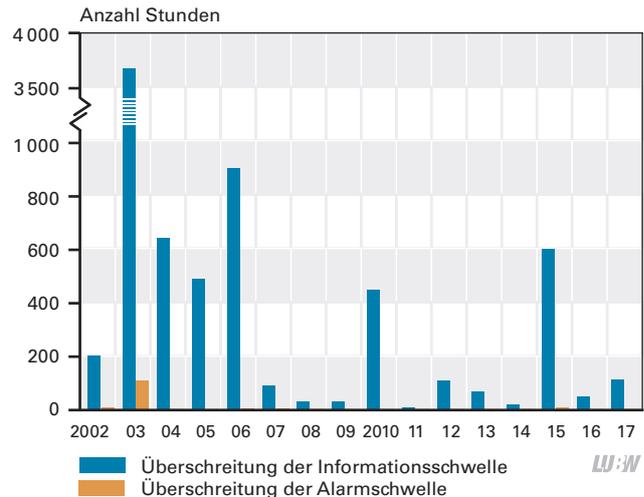


Abb. 10.3-1: Anzahl der Stunden mit Überschreitungen der Alarm- und Informationsschwelle für Ozon im Luftmessnetz Baden-Württemberg.

Die im Rahmen des Luftmessnetzes ermittelten Messdaten werden auf zahlreichen Informationswegen wie zum Beispiel Internet, Videotext und Telefonansage veröffentlicht (Tab. 10.3-2).

Tab. 10.3-2: Informationsangebote der Messnetzzentrale Luft (MNZ). Stand: 2018.

Internet	www.lubw.baden-wuerttemberg.de/luft/messwerte-immissionswerte#karte
App „Meine Umwelt“	www.umwelt-bw.de/meine-umwelt
MNZ-Telefon	0721-5600-3112
Videotext	SWR Tafel 175-178; 183; 185
Telefonansage	0721-5600-3520

Tab. 10.3-1: Alarm- und Informationsschwellen für Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid und Ozon nach der 39. BImSchV.

Luftverunreinigung	Schwellenwert	Mittelungszeitraum	Wert
Stickstoffdioxid (NO ₂)	Alarmschwelle	1 Stunde ¹⁾	400 µg/m ³
Schwefeldioxid (SO ₂)	Alarmschwelle	1 Stunde ¹⁾	500 µg/m ³
Ozon (O ₃)	Informationsschwelle	1 Stunde	180 µg/m ³
Ozon (O ₃)	Alarmschwelle	1 Stunde	240 µg/m ³

¹⁾ gemessen an drei aufeinander folgenden Stunden.

10.4 Hochwasservorhersagezentrale

Die Hochwasservorhersagezentrale Baden-Württemberg (HVZ) der LUBW bündelt im Hochwasserfall aktuelle Informationen (Wasserstände, Abflussdaten, Vorhersagen und Lageberichte über den Hochwasserverlauf, meteorologische Messwerte und Vorhersagen) 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 rund 360 Stationen werden rund um die Uhr stündlich, die gemessenen Wasserstände an rund 330 Stationen bis zu viertelstündlich aktualisiert. Die Daten werden grafisch aufbereitet und auf zahlreichen Informationswegen wie Internet, mobilen Webseiten, Videotext, Rundfunk, automatische Telefonansage sowie über die App „Meine Pegel“ veröffentlicht (Tab. 10.4-1).

Neben dem eigenen Informationsangebot für das Land Baden-Württemberg betreibt die HVZ in Kooperation mit benachbarten Vorhersagezentralen im In- und Ausland ein bundesweites Portal zur Zusammenführung von Hochwasser-Informationen, das sogenannte „Länderübergreifende Hochwasserportal (LHP)“.

Der kontinuierliche, tägliche Betrieb der Hochwasservorhersagemodelle erfordert einen umfangreichen Datenfluss von Mess- und Vorhersagedaten, der aufgrund der umfangreichen meteorologischen Vorhersagedaten mehr als zwei

Tab. 10.4-1: Informationsangebote der Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) Baden-Württemberg. Stand: 2018

Internet	www.hvz.baden-wuerttemberg.de
Mobile Seite	www.mhwz.info/bw.html
App „Meine Pegel“	App-Stores: Google Play und iTunes
HVZ-Telefon	0721-9804-0
Videotext	SWR Tafel 805-809
Telefonansage	0721-9804-61
Länderübergreifendes Hochwasserportal	www.hochwasserzentralen.info

Milliarden 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 10.4-1 zeigt ein Beispiel für eine Wasserstandsvorhersage am Oberrhein beim Hochwasserereignis Januar 2018.

Die länderübergreifende Vorhersage für den Bodensee (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),

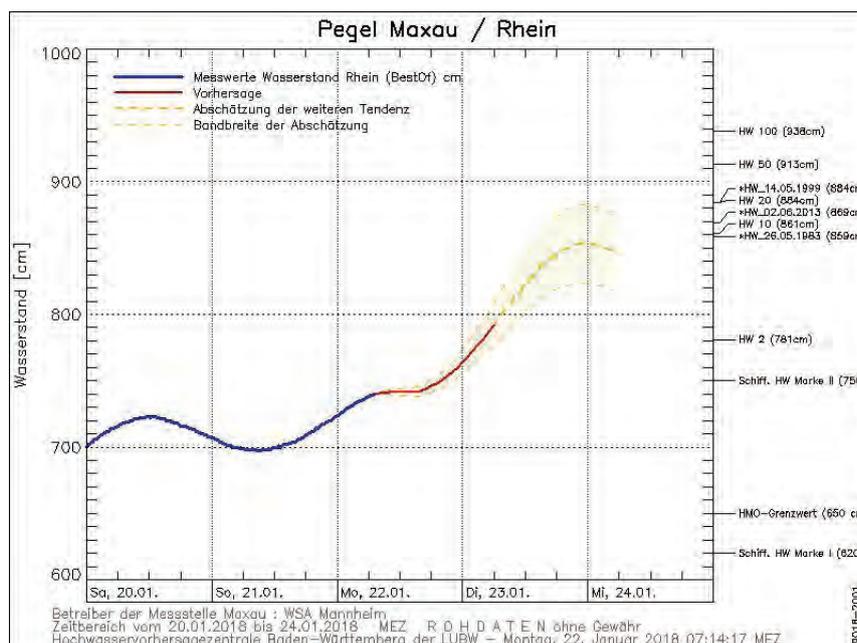


Abbildung 10.4-1: Hochwasservorhersage vom 22.01.2018 7:00 Uhr für den Pegel Maxau/Oberrhein. Am 24.01.2018 4:00 Uhr wurde ein Scheitelwasserstand von 8,58 m gemessen. Quelle: LUBW. Stand: 2018.

- meteorologische Daten und Vorhersagen der Wetterdienste (Deutscher Wetterdienst, Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage, MeteoSchweiz, MeteoFrance und MeteoGroup AG),
- Betriebsdaten für Rückhaltmaßnahmen (Segmentöffnungen, Betriebsart, Wasserstand, Einstauvolumen, Zufluss, Abfluss).

Bei außergewöhnlichen Hochwasserereignissen berechnet die HVZ im Bedarfsfall Varianten zum Einsatz der Rückhaltmaßnahmen am Oberrhein und koordiniert die fachliche Abstimmung zwischen den Maßnahmenbetreibern in Frankreich, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz.

Zusätzlich berechnet die HVZ ein Hochwasserfrühwarnsystem für kleine Einzugsgebiete unter 200 km² Flächengröße. Durch eine kombinierte Anwendung von meteorologischen und hydrologischen Modellen wird eine regionsbezogene Frühwarnkarte berechnet und im Internet veröffentlicht. 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 stündlich 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

Tab. 10.4-2: HVZ-Betriebstage Berichtszeitraum 2015-2017

Betriebszustand (Tage / Jahr)	2015	2016	2017	Mittelwert 2011-2017
HVZ-Hochwasserbetrieb, davon				
Vorstufe Hochwasserbetrieb	13	14	16	14
Hochwasserbetrieb (ohne HVZ-Eröffnung)	9	20	4	11
HVZ-Einsatz (überregionales Hochwasser mit personeller Besetzung der Einsatzzentrale)	2	16	0	10
Nachstufe Hochwasserbetrieb	4	14	2	9
Summe der Tage				
mit HVZ-Hochwasserbetrieb	28	64	21	43
mit Niedrigwasserbetrieb	126	56	45	56

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 müssen. Zur Information der Wasserbehörden stellt daher die Hochwasservorhersagezentrale auch bei Niedrigwasser aktuelle Abflusswerte und Vorhersagen zur weiteren Entwicklung zur Verfügung.

Tabelle 10.4-2 gibt für den Berichtszeitraum 2015 bis 2017 eine Übersicht, wieviele HVZ-Betriebstage jeweils in Hoch- bzw. Niedrigwassersituationen angefallen sind.

10.5 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 sieben entlang des Rheins eingerichtete Internationale Hauptwarnzentralen (IHWZ R1 bis R7) werden die Anliegerländer und -staaten jeweils zeitnah über vorhandene Gefährdungslagen informiert. Bei ernststen Gewässerverschmutzungen ergeht eine Warnung, andernfalls erfolgt eine Information. Mit fachlicher Beratung unterstützt die LUBW rund um die Uhr die für den baden-württember-

gischen Rheinabschnitt zuständige und beim Polizeipräsidium Einsatz in Göppingen angesiedelte Internationale Hauptwarnzentrale R3. Zudem 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, an denen das Rheinwasser täglich auf eine hohe Anzahl von Stoffen untersucht wird. Durch diese Messstationenkette können Schadstoffeinträge in Hoch- und Oberrhein zeitnah erkannt werden.

Abbildung 10.5-1 zeigt die Anzahl der in den Jahren 2003 bis 2017 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 ergänzt durch die LUBW für das Jahr 2017. In den Jahren 2015 bis 2017 war am Oberrhein keine Warnung erforderlich. Ein Trend ist in der Entwicklung der Meldungen insgesamt nicht erkennbar.

Die Auswertungen der IKSR für die Jahre 2015 und 2016 für den ganzen Rhein zeigen, dass in mehr als 50 % der Fälle Verschmutzungen, die zu den Meldungen führten, im Rahmen der Rheinintensivuntersuchung in den Messstationen entdeckt wurden. Dies zeigt auch den Fortschritt analytischer Meßverfahren. Die restlichen Meldungen wurden durch den Verursacher (i. d. R. Industriebetrieb, Schiff) gemeldet oder z. B. durch die Wasserschutzpolizei oder Spaziergänger entdeckt (Ölfilm, Fischsterben).

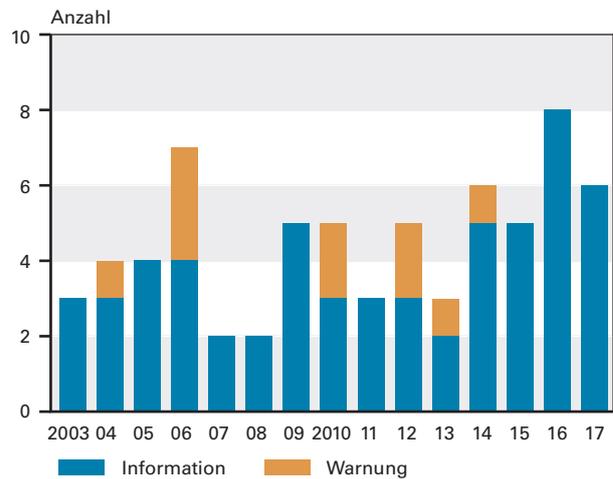


Abb. 10.5-1: Meldungen der Internationalen Hauptwarnzentralen an Hoch- und Oberrhein, welche den baden-württembergischen Rheinabschnitt betrafen. Quelle: IKSR (2003-2016), LUBW (2017).

10.6 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. 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, um Fisch- oder Muschelsterben zu verhindern. Abb. 10.6-1 zeigt die Dauer solcher Maßnahmen in den letzten 15 Jahren. Die Notwendigkeit von Belüftungsmaßnahmen ist stark von den Sommertemperaturen und den Niederschlägen abhängig und unterliegt damit starken jährlichen Schwankungen. In den letzten Jahren waren weniger häufig Belüftungsmaßnahmen notwendig. 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.

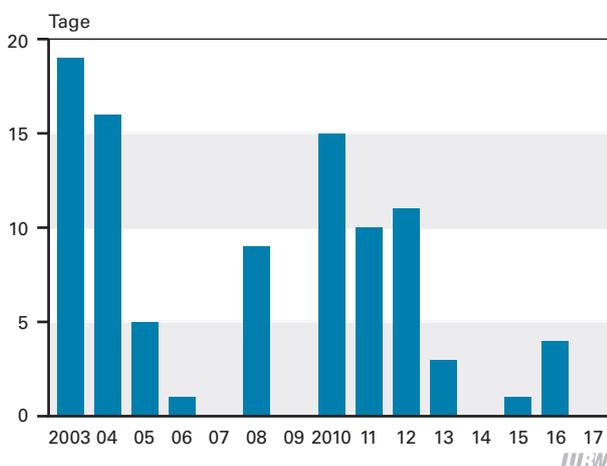


Abb. 10.6-1 Dauer der Belüftungsmaßnahmen in den Jahren 2003 bis 2017. Stand 2017.

Informationsmöglichkeiten im Internet

Bund	
www.bfn.de	Bundesamt für Naturschutz
www.bfs.de	Bundesamt für Strahlenschutz
www.bmel.de	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
www.bmub.de/	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
www.bmvi.de	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
www.bmwi.de	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
www.bundesnetzagentur.de	Bundesnetzagentur
www.bvl.bund.de	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
www.destatis.de	Statistisches Bundesamt
www.dihk.de	Deutscher Industrie- und Handelskammertag
www.dwd.de	Deutscher Wetterdienst
www.umweltbundesamt.de	Umweltbundesamt

Land Baden-Württemberg	
www.cvuas.de	Die Untersuchungsämter für Lebensmittelüberwachung und Tiergesundheit
www.forstbw.de	Landesbetrieb ForstBW
www.fva-bw.de	Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg
www.gaa.baden-wuerttemberg.de	Gewerbeaufsicht Baden-Württemberg
www.lazbw.de	Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg
www.lgrb-bw.de	Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau im Regierungspräsidium Freiburg
www.lubw.baden-wuerttemberg.de	LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
www.wm.baden-wuerttemberg.de	Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg
www.mlr.baden-wuerttemberg.de	Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg
www.vm.baden-wuerttemberg.de	Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg
www.statistik-bw.de	Statistisches Landesamt Baden-Württemberg
www.um.baden-wuerttemberg.de	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Arbeitskreise / Agenturen / Verbände	
www.blag-klina.de	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft „Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit“ (BLAG KliNa)
www.igkb.org	Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee
www.kea-bw.de	Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH
www.lak-energiebilanzen.de	Länderarbeitskreis Energiebilanzen (LAK)
www.lawa.de	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)
www.liki.nrw.de	Länderinitiative Kernindikatoren – LIKI
www.labo-deutschland.de	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO)
www.la-na.de	Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Naturschutz, Landschaftspflege und Erholung (LANA)
www.lai-immissionsschutz.de	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)
www.laga-online.de	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)
www.ugrdl.de	Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (AK UGRdL)

Literatur

Kapitel 1

BLE (2017): Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2016 – Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung, Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung. Stand redaktionell: Oktober 2017. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.

BMEL (2017): Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2017. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Stand: Februar 2018.

BUNDESREGIERUNG (2016): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2016. Die Bundesregierung.

IEKK (2014): Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft. Publikationsdatum: Juli 2014.

ISO (2017): The ISO Survey of Management System Standard Certifications 2016. ISO International Organization for Standardization. Publikationsdatum: September 2017.

KSG BW (2013): Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes in Baden-Württemberg – Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg (KSG BW). Stand: 17. Juli 2013.

LGRB (2013): Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2012/2013. Bedarf, Gewinnung und Sicherung von mineralischen Rohstoffen. LGRB-Informationen 27. Stand: Dezember 2013.

LUBW (2016): Förderprogramm ECOfit: Fazit und Auswertung der Projekte 2005-2015. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Online: <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/wirtschaft/betrieblicher-umweltschutz/foerdermoeglichkeiten/foerderprogramm-ecofit/>. Stand: Dezember 2016.

MESSNER, J. (2017): Aktueller Stand der Biogasnutzung in Baden-Württemberg. Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW).

MLR (2014): Naturschutzstrategie Baden-Württemberg – Biologische Vielfalt und naturverträgliches Wirtschaften – für die Zukunft unseres Landes. 2. Auflage. Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg. Stand: Februar 2014.

MLR (2017): Entwicklung der Biogasanlagen in Baden-Württemberg sowie den Stadt- und Landkreisen. Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz.

MLR (2018): Aktionsplan Bio aus Baden-Württemberg. Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz. Online: http://www.bio-aus-bw.de/Lde/Startseite/Service/Aktionsplan+Bio+aus+Baden_Wuerttemberg. Stand: Juli 2018.

UGA (2017): Informationsreihe EMAS-Förderlandschaften Baden-Württemberg. Geschäftsstelle Umweltgutachterausschuss. Online: <http://www.emas.de/aktuelles/2017/26-10-17-umik-bw/>. Stand: 26. Oktober 2017.

UM (2013): Baden-Württemberg startet Dialogkampagne zur Energiewende. Pressemitteilung, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Publikationsdatum: 10. Mai 2013.

UM (2014): Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg (IEKK). Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Stand: 15. Juli 2014.

UM (2015a): Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg. Vulnerabilitäten und Anpassungsmaßnahmen in relevanten Handlungsfeldern. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Stand: Juli 2015.

UM (2015b): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Baden-Württemberg, Bewirtschaftungsplan 2016. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft.

UM (2015c): Abfallwirtschaftsplan Baden-Württemberg, Teilplan Siedlungsabfälle. Ministerium für Umwelt, Klima

und Energiewirtschaft. Publikationsdatum: September 2015.

UM (2017a): Ein Klimaschutzscenario für Baden-Württemberg – Verkehrsinfrastruktur 2030. Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. Stand: Oktober 2017.

UM (2017b): Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2016. Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. Stand: November 2017.

UM (2017c): Auf dem Weg in die klimaneutrale Landesverwaltung – CO₂-Bilanz nach dem Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Online: <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/ministerium/aufgaben-und-organisation/nachhaltige-landesverwaltung/klimaneutrale-landesverwaltung/>. Stand: Mai 2017.

VM (2014): Zielkonzept 2025 für den Schienenpersonennahverkehr (SPNV) in Baden-Württemberg. Angebotskonzept und Angebotsstandards für den landesbestellten SPNV. 2. Auflage. Ministerium für Verkehr und Infrastruktur. Stand: Juli 2014.

VM (2015): Strategie „Nachhaltige Mobilität – Für Alle“. Ministerium für Verkehr. Publikationsdatum: April 2015.

WERNER, W., WITTENBRINK, J., BOCK, H. & KIMMIG, B. (2013): Naturwerksteine aus Baden-Württemberg – Vorkommen, Beschaffenheit und Nutzung. Unter Mitarbeit von Grüner, F., Stein, K. J., Koch, R., Hildebrandt, L. & Reiff, W., Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg. ISBN 978-3-00-041100-7.

Kapitel 2

DWD (2018): Deutschlandwetter im Sommer 2018. Deutscher Wetterdienst. Online: http://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20180830_deutschlandwetter_sommer_news.html. Stand: 30. August 2018.

GCP (2017): Global Carbon Project, Datenquelle für Atmosphärisches CO₂- National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division.

IPCC (2014): Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team Pachauri, R. K. & Meyer, L. A., Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Schweiz..

LUBW (2013): Zukünftige Klimaentwicklung in Baden-Württemberg, Perspektiven aus regionalen Klimamodellen. Langfassung. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Stand: 2013.

UM/LUBW (2017): Monitoring-Bericht zum Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg – Teil I Klimafolgen und Anpassung. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg und LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz. Juli 2017.

UBA (2018): Der Europäische Emissionshandel. Umweltbundesamt. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/der-europaeische-emissionshandel#textpart-1>. Stand: August 2018.

UM (2014): Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg (IEKK). Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Stand: 15. Juli 2014.

UNFCCC (2013): Methodological issues under the Convention: Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention. Recommendation of the Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice, Annex III. United Nations. Online: <https://unfccc.int/resource/docs/2013/sbsta/eng/l29a01.pdf>. Stand: November 2013.

Kapitel 3

INFRAS (2014): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.2 (HBEFA). INFRAS AG, Bern, Schweiz. Online: <http://www.hbefa.net/d/index.html>. Stand: April 2017.

LUBW (2008): Ammoniak in der Umwelt – Messprogramme und Messergebnisse 2003-2007. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Stand: 2008.

LUBW (2017a): Luftschadstoff-Emissionskataster Baden-Württemberg 2014. Dokumentationsnummer 31-01/2017. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Stand: März 2017.

LUBW (2017b): Reaktiver Stickstoff in der Atmosphäre von Baden-Württemberg Interimskarten der Ammoniakkonzentration und der Stickstoffdeposition. (Bericht und Karte). Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Online: www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/121207/?COMMAND=DisplayBericht&FIS=91063&OBJECT=121207&MODE=METADATA. Stand: Juli 2017.

STALA (2016): Viehbestände und -halter in den Stadt- und Landkreisen Baden-Württembergs. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stand: 2013.

Kapitel 4:

LUBW (2008): 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg – von klassischen Bodenuntersuchungen zu medienübergreifenden Umweltbilanzen. Band 21. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. ISSN 0949-0256.

HLNUG (2016): Stoffdynamik an der Intensiv-Messstelle Frankfurt Flughafen. Böden und Bodenschutz in Hessen, Heft 13. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie. Stand: 2016.

LUBW (2015): Umweltdaten 2015 Baden-Württemberg. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg und LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz. Stand: Dezember 2015.

OECD (2018): PFC-Protal der OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development. Online: <http://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/>. Stand: August 2018.

Kapitel 5

HUNGER, H., SCHIEL, F.-J. & KUNZ, B. (2006): Verbreitung und Phänologie der Libellen Baden-Württembergs (Odonata). Libellula Supplement, Nr. 7, S. 15-184.

IGKB (2010): Grüner Bericht Nr. 37 Limnologischer Zustand des Bodensees – Jahresbericht Untersuchungsprogramm Freiwasser 2009 – Untersuchungsprogramm Einzugsgebiet 2008/2009. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee. Stand: 2010

IKSR (2009): International koordinierter Bewirtschaftungsplan für die internationale Flussgebietseinheit Rhein. Internationale Kommission zum Schutz des Rheins. Online: http://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/Dokumente_de/Bestandsaufnahme_Teilberichte/bwp_endversion-de_komplett.pdf. Stand: 31. Juli 2018.

LAWA (2016): RAKON Monitoring Teil B, Arbeitspapier I. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. Stand: 2016.

LUBW (2018a): Berichte zum Grundwasserüberwachungsprogramm. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg. Online: www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/9162/?shop=true. Stand: 31. Juli 2018.

LUBW (2018b): Grundwasserdaten im Internet. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg. Online: <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/wasser/grundwasserdaten>. Stand: 31. Juli 2018.

STALA (2018): Öffentliche Wasserversorgung, Wasser in der Wirtschaft. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Online: <http://www.statistik-bw.de/Umwelt/Wasser/Wasserwirtschaft.jsp>. Stand: 2018.

Kapitel 6

BMEL (2012): Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.

FIRBAS, F. (1949): Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen. Gustav Fischer Verlag, Jena.

JANSSEN, G., HORMANN, M. & ROHDE, C. (2004): Der Schwarzstorch. Band 468. Neue Brehm-Bücherei, Magdeburg, S. 110.

LUBW (2017): Biotopverbund in Baden-Württemberg. Naturschutz-Info. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz. Stand: Februar 2017.

LUBW (2012): Warndienst Wanderfalke. Vogeleier spiegeln langlebige Umweltgifte. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz.

SBBW (2017): Seltene Brutvögel in Baden-Württemberg 2016-2. Bericht der Arbeitsgruppe Seltene Brutvögel in Baden-Württemberg (SBBW), Ornithologische Gesellschaft Baden-Württemberg e.V., Ornithologische Jahreshefte Baden-Württemberg, Nr. 33, S. 81-113.

UM (1992): Gütezustand der Gewässer in Baden-Württemberg, 7, Zustandsuntersuchungen auf biologisch ökologischer Grundlage. Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg.

Kapitel 7

BAUA (2010): Lärm in Bildungsstätten. Geschäftsstelle Initiative Neue Qualität der Arbeit bei der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Stand: 2010.

BMVI (2018): Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 2016. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Stand: 2018.

FLEISCHER, G. (2000): Gut hören – Heute und Morgen. Median Verlag, Heidelberg.

LUBW (2016): Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen. Bericht über Ergebnisse des Messprojekts 2013-2015. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Stand: 2016.

MVI (2014): Leise(r) ist das Ziel! Lärmschutz als Querschnittsaufgabe stärken. Tätigkeitsbericht der Lärmschutzbeauftragten der baden-württembergischen Landesregierung. Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg. Stand: 2014.

RPS (2013): Jahresbericht des Lärmschutzbeauftragten für den Flughafen Stuttgart 2013. Regierungspräsidium Stuttgart.

SCHLÄRMSCHG (2017): Gesetz zum Verbot des Betriebs lauter Güterwagen (Schienenlärmschutzgesetz) vom 20. Juli 2017 (BGBl. I 2017, S. 2804), in Kraft ab dem 29. Juli 2017.

UBA (2013): Position – Kurzfristig kaum Lärminderung durch Elektroautos. Umweltbundesamt. Publikationsdatum: April 2013.

UBA (2017): Umweltbewusstsein in Deutschland 2016. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Umweltbundesamt. Stand: März 2017.

UK NRW (2014): Schriftenreihe Prävention in NRW, Gesundheit am Arbeitsplatz Kita, Nr. 55, .S. 20. Unfallkasse Nordrhein-Westfalen. Stand: Februar 2014.

VM (2017): Weniger Lärm durch leise Straßenbeläge. Pressemitteilung. Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. Publikationsdatum: 27. Dezember 2017

Kapitel 8

–

Kapitel 9

BfS (2015): Aktuelle Auswertungen aus dem Strahlenschutzregister. Bundesamt für Strahlenschutz. Online: <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/beruf/strahlenschutzregister/strahlenschutzregisterauswertungen.html>. Stand: 01. Dezember 2017.

KOELZER, W. (2017): Lexikon zur Kernenergie. Online: <http://dx.doi.org/10.5445/KSP/1000065387>. Stand: Januar 2017

Kapitel 10

NECE (1992): UNECE-Übereinkommen über die grenzüberschreitenden Auswirkungen von Industrieunfällen (Industrieunfall-Konvention). Helsinki am 17. Mai 1992. ABl. I. 326/5. United Nations Economic Commission for Europe. schreitenden Auswirkungen von Industrieunfällen (Industrieunfall-Konvention). Helsinki am 17. Mai 1992. ABl. I. 326/5

