

Umweltdaten 2021

Baden-Württemberg

Umweltdaten 2021

Baden-Württemberg

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.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 Landesentwicklung und Wohnen 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 |
| BEZUG | www.lubw.de Publikationen im Bestellshop der LUBW > https://pd.lubw.de/10246 |
| ISBN | 978-3-88251-410-0 |
| STAND | September 2021 |
| DRUCK | ABT Print und Medien GmbH Bruchsaler Str. 5 69469 Weinheim |
| TITELBILDER | Windrad bei Dobel: LUBW The pollution detector station in the park: Pixel_B/stock.adobe.com Galerida cristata - Crested Lark sitting on the ground and looking for food: phototrip.cz/stock.adobe.com Bach: LUBW |
| PORTRAITBILDER | Ministerin Walker: UM/Regenscheit Präsidentin Bell: Foto Fabry |

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



Vorwort



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

wir leben in transformativen Zeiten. Die Corona-Krise hat uns einschneidende Entscheidungen und stetige Anpassungsfähigkeit abverlangt. Mit dem Klimawandel und dem fortschreitenden Verlust der Biodiversität fordern uns weitere Krisen heraus, die unser Leben bereits heute beschäftigen und uns in Zukunft stark beeinflussen werden. Das Handeln der Menschen hat Auswirkungen auf den Zustand der Umwelt und die Verfügbarkeit unserer Lebensgrundlagen. Sie für kommende Generationen zu schützen und zu bewahren ist Kern einer nachhaltigen Entwicklung, der sich die Landesregierung Baden-Württemberg mit der Nachhaltigkeitsstrategie verpflichtet hat.

Die in dieser Broschüre dargestellten Daten zeigen eindrücklich, dass zügiges und konsequentes Handeln erforderlich ist. Sie machen sichtbar, was für uns noch unsichtbar erscheint. Seien es die weiterhin starken Beeinträchtigungen der Fließgewässer in Baden-Württemberg mit Phosphat und anthropogen bedingten Schadstoffen oder die Stickstoffbelastung mit Ammoniak in empfindlichen Lebensräumen.

Die langfristige Datenerhebung ermöglicht aber nicht nur, negative Entwicklungen zu erkennen und zu identifizieren, wo politisches Handeln nötig ist. Sie erlaubt uns auch zu beurteilen, wo die getroffenen Maßnahmen bereits greifen und die Entwicklung unserer Umwelt einen positiven Weg einschlägt.

So hat sich die Luftqualität in Baden-Württemberg in den vergangenen Jahren erheblich verbessert. Für Stickstoffdioxid-Immissionen wurden 2020 nur noch vereinzelt Überschreitungen der Grenzwerte festgestellt. Über ein Fünftel der Landesfläche steht heute unter Landschaftsschutz. So tragen wir aktiv zum Biotop- und Artenschutz bei. Auch zeigt der steigende Anteil erneuerbarer Energieträger am Stromverbrauch, dass wir uns auf dem richtigen Weg befinden.

Der Ausstoß von Treibhausgasen, die maßgeblich zur Erderwärmung beitragen, ist in den vergangenen Jahren zurückgegangen. Das Ziel die Treibhausgasemissionen 2020 um 25 % zum Jahr 1990 zu reduzieren, konnte sogar übertroffen werden. Es geht nun darum, die Emissionen von Treibhausgasen weiter und dauerhaft zu reduzieren.

Denn die vorliegenden Daten belegen: trotz aller Bemühungen ist die Jahresmitteltemperatur in Baden-Württemberg bereits um 1,5 °C gestiegen. 16 der 20 wärmsten Jahre wurden seit 2000 verzeichnet, von einer weiteren Zunahme der Temperaturen und Extremwetterereignisse in den kommenden Jahren muss ausgegangen werden, mit erheblichen ökologischen, wirtschaftlichen und gesundheitlichen Auswirkungen. Mit der Klima-Anpassungsstrategie Baden-Württembergs soll daher ein Prozess angestoßen werden, der dazu beiträgt, die Verwundbarkeit des Landes zu mindern, mögliche Klimafolgen zu erkennen, entstehende Kosten zu senken und die entstehenden Chancen zu nutzen.

Der Schutz unserer Lebensgrundlagen erfordert Handeln aus allen Teilen der Bevölkerung. Wo wir ansetzen müssen, zeigen die Umweltdaten 2021.

Mein Dank gilt allen Beteiligten für die Erstellung dieses umfangreichen Werkes. Ich wünsche Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, viel Freude bei der Lektüre.

Thekla Walker MdL

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

Vorwort



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

aktive Umweltberichterstattung ist ein wichtiger Bestandteil des Umwelt- und Naturschutzes. Verständlich aufbereitete Daten und informative Texte ermöglichen uns, einen Überblick über den Zustand der Umwelt zu erlangen, ihre Komplexität zu erfassen und Handlungsbedarfe abzuleiten.

Mit den Umweltdaten 2021 legen das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg und die LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg nun bereits zum fünfzehnten Mal seit 1979 den Umweltzustandsbericht des Landes vor. Darin werden neben Daten zu den klassischen Umweltmedien Boden, Wasser und Luft auch Entwicklungen im Naturschutz, im Immissionsschutz sowie der Abfallwirtschaft und des technischen Umweltschutzes dargestellt. Erstmals geben die Umweltdaten auf Sonderseiten Hintergrundinformationen zu komplexen Themen und informieren über aktuelle Projekte des Landes Baden-Württemberg.

Die LUBW trägt mit ihren Messprogrammen, Überwachungen und langfristigen Monitorings maßgeblich zur Datengewinnung im Umweltbereich bei. So können wir feststellen, dass sich die Qualität des Grundwassers in den letzten Jahren insgesamt verbessert hat. Neue und aktuelle Fragestellungen verändern den Blick wieder. So wurden beispielsweise per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) projektorientiert untersucht. Wir haben festgestellt, dass die Stoffe in hohem Maße in Kleinsäufern

und folglich in der Nahrungskette nachgewiesen werden können. Auch in fast 50 % der Messstellen des Grundwassermessnetzes wurden PFAS gefunden.

Ein Augenmerk legen wir auf den Straßenverkehr als eine der Hauptlärmquellen und Verursacher großer Mengen an Treibhausgasen und Luftschadstoffen. Einer unserer Schwerpunkte in den letzten drei Jahren waren die Messungen von Luftschadstoffen an stark befahrenen Straßen. Mit den Sondermessungen im Jahr 2019 und 2020 wurden an 47 zusätzlichen Straßenabschnitten die Stickstoffdioxidkonzentration gemessen. Während 2017 noch in 18 Städten der Jahresgrenzwert von Stickstoffdioxid überschritten wurde, waren es 2020 nur noch zwei.

Im vergangenen Jahr konnte erstmals seit zehn Jahren eine Reduktion der Jahresfahrleistung auf den Straßen festgestellt werden. Insbesondere während der Lock-Downs in der Corona-Pandemie im Frühjahr 2020 und im Winter 2020/21 war ein deutlicher Rückgang der Verkehrsstärken zu verzeichnen. Erfreulich ist der Anstieg der Pkw mit alternativen Antrieben. Dabei darf allerdings nicht unberücksichtigt bleiben, dass insgesamt die Zahl der Fahrzeuge im Individualverkehr weiter angestiegen ist.

Positive Trends sollten Ansporn sein, auch in anderen Bereichen die Ziele ambitioniert zu verfolgen. Ohne zusätzliche Maßnahmen wird Baden-Württemberg nur bei zwei der 16 umweltbezogenen Nachhaltigkeitsindikatoren, bei den Treibhausgasemissionen und der Stickstoffdioxidbelastung, das angestrebte Ziel erreichen. Weitere Anstrengungen sind also unverzichtbar, um auch zukünftigen Generationen eine lebenswerte Umwelt zu hinterlassen.

Mein Dank gilt den Einrichtungen der Landesverwaltung, die mit ihren Beiträgen die Umweltdaten 2021 aussagekräftig gemacht haben.

Eva Bell

Präsidentin der LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg



Inhalt

| | | |
|-----------|---------------------------------------|------------|
| 1 | NACHHALTIGES BADEN-WÜRTTEMBERG | 6 |
| 2 | KLIMA | 34 |
| 3 | LUFT | 50 |
| 4 | BODEN | 70 |
| 5 | WASSER | 82 |
| 6 | NATUR UND LANDSCHAFT | 110 |
| 7 | LÄRM | 142 |
| 8 | KREISLAUFWIRTSCHAFT | 156 |
| 9 | RADIOAKTIVITÄT | 162 |
| 10 | ÜBERWACHUNG UND WARNDIENSTE | 174 |
| | LITERATUR | 184 |

Wir brauchen Ihre Unterstützung!

Die „Umweltdaten“ sollen moderner werden. Was können wir verbessern, um Ihren Anforderungen gerecht zu werden?

Bitte nehmen Sie sich zwei Minuten Zeit und sagen Sie uns Ihre Meinung!

<https://ec.europa.eu/eusurvey/runner/Umweltdaten>





1 Nachhaltiges Baden-Württemberg

Das Wichtigste in Kürze

Von den 16 dargestellten **umweltbezogenen Nachhaltigkeitsindikatoren** zeigen je zwei Indikatoren aus den Bereichen „vielfältige Natur“ und „Mobilität“ einen negativen Trend. Positive Entwicklungen können nur bei zwei Indikatoren, bei der Treibhausgasemission und der Stickstoffdioxidbelastung, verzeichnet werden.

Im Jahr 2018 wurden in Baden-Württemberg 96,3 Mio. t **mineralische Rohstoffe** gefördert und damit wieder etwas weniger als im Vorjahr. Der **Holzeinschlag** (Gesamtwald) lag im Forstwirtschaftsjahr 2019 bei 7,4 Mio. m³ und damit deutlich niedriger als in den Vorjahren. 75 % des in Baden-Württemberg eingeschlagenen Holzes werden im Land verarbeitet.

Die **Flächeninanspruchnahme** in Baden-Württemberg lag 2019 mit 4,8 ha pro Tag wieder um 0,3 ha über dem Vorjahreswert.

Insgesamt ist die als **Primärenergie** genutzte erneuerbare Energiemenge in den Jahren 2003 bis 2019 von 19,9 TWh auf 55,4 TWh angestiegen, was mehr als einer Verdoppelung entspricht.

Der Anteil der erneuerbaren Energieträger an der **Stromerzeugung** lag im Jahr 2019 bei 31,0 %. Unter den erneuerbaren Energieträgern hat die Stromerzeugung aus Photovoltaik mit 29,9 % den größten Anteil, knapp gefolgt von Biomasse mit 27,0 % und Wasserkraft mit 25,5 %. Die Stromerzeugung aus Windkraft lag bei 16,4 %.

2018 lagen die **Umweltschutzinvestitionen des produzierenden Gewerbes** in Baden-Württemberg bei etwa 1,2 Mrd. Euro. Mit 423 Mio. Euro erreichten Klimaschutzinvestitionen nicht nur ein Rekordniveau, sondern auch eine Spitzenposition im Bundesvergleich.

Die Umsätze, die Betriebe in Baden-Württemberg mit **Waren, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz** erwirtschafteten, beliefen sich im Jahr 2018 auf etwa 11,8 Mrd. Euro und lagen damit etwa 6 % niedriger als im Vorjahr.

Im **Nachhaltigkeitsatlas** sind 152 Kommunen enthalten, die sich mit vielfältigen Aktivitäten für eine nachhaltige Entwicklung engagieren.

Mit dem Werkzeugkasten des Wandels hat **RENN.süd** ein Ideenportal geschaffen, in dem sich inzwischen über 130 Projekte und Initiativen präsentieren, die aufzeigen, wie der gesellschaftliche Wandel hin zu mehr Nachhaltigkeit gelingen kann.

Im Oktober 2020 verfügte bereits jeder zehnte neu zugelassene Pkw über einen Elektromotor.

Die **Stickoxidemissionen** eines Diesel-Pkw nach Euro 6d-Norm (2020/21) liegen bei weniger als 5 % im Vergleich zu einem vor zehn Jahren zugelassenen Diesel-Pkw nach Euro 5 (2009/11).



Foto: LUBW

| | | | |
|--|-----------|---|-----------|
| 1.1 UMWELTBEZOGENE NACHHALTIGKEITSINDIKATOREN | 8 | Endenergieverbrauch – Anteile der Energieträger | 22 |
| Nachhaltigkeit sichtbar machen | 8 | Endenergieverbrauch – Anteile der Verbrauchersektoren | 22 |
| Was sind Indikatoren? | 8 | Stromerzeugung | 23 |
| Energieproduktivität | 9 | Strom aus erneuerbaren Energieträgern | 23 |
| Erneuerbare Energien | 9 | Windenergieanlagen in Baden-Württemberg | 24 |
| Waldzustand | 10 | Wärme aus erneuerbaren Energien | 24 |
| Artenvielfalt und Landschaftsqualität | 10 | ENERGIEATLAS BADEN-WÜRTTEMBERG | 25 |
| Landwirtschaft mit hohem Naturwert | 11 | 1.4 UMWELTSCHUTZ IN WIRTSCHAFT UND KOMMUNE | 26 |
| Nitrat im Grundwasser | 11 | Umweltschutzzinvestitionen | 26 |
| Treibhausgasemissionen | 12 | Wirtschaftsfaktor Umweltschutz | 26 |
| Klimawandel und Vegetationsentwicklung | 12 | Betriebliches Umweltmanagement | 27 |
| Rohstoffproduktivität (und -verbrauch) | 13 | Umwelt- und Energiemanagement der Landesverwaltung | 27 |
| Vergärung von Bioabfällen | 13 | Nachhaltigkeitsaktivitäten in Kommunen und kommunaler Klimaschutz | 28 |
| Häusliche Abfälle | 14 | Zivilgesellschaftliches Engagement | 29 |
| Ökologischer Landbau | 14 | Regionale Netzstelle Nachhaltigkeitsstrategien – RENN.süd | 29 |
| Luftqualität – Stickstoffdioxid | 15 | RENN.SÜD AKTIVITÄTEN | 30 |
| Lärmbelastung | 15 | 1.5 NACHHALTIGE MOBILITÄT | 31 |
| Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) | 16 | Schadstoffemissionen von Kraftfahrzeugen | 31 |
| Straßenverkehr nach Fahrzeugkategorien | 16 | Fahrzeuge mit alternativem Antrieb | 31 |
| 1.2 NATÜRLICHE RESSOURCEN | 17 | Auswirkungen der Corona-Beschränkungen auf die Verkehrsstärken im Jahr 2020 | 32 |
| Nicht erneuerbare Rohstoffe | 17 | 1.6 UMWELTFORSCHUNG BADEN-WÜRTTEMBERG | 33 |
| Holz für die stoffliche und energetische Nutzung | 17 | | |
| Anbaubiomasse | 18 | | |
| Bodennutzung | 19 | | |
| Flächeninanspruchnahme | 19 | | |
| Wassergewinnung | 20 | | |
| Wassernutzung/Wasserbedarf | 20 | | |
| 1.3 ENERGIEERZEUGUNG UND -VERBRAUCH | 21 | | |
| Primärenergieverbrauch | 21 | | |
| Primärenergie aus erneuerbaren Energieträgern | 21 | | |

1.1 Umweltbezogene Nachhaltigkeitsindikatoren

Nachhaltigkeit sichtbar machen

Die Nachhaltigkeitsstrategie Baden-Württemberg sucht konkrete Lösungen für eine nachhaltigere Entwicklung im Land. Sie hat das Ziel, Nachhaltigkeit zum zentralen Entscheidungskriterium der Landespolitik zu machen.

Der Nachhaltigkeitsstrategie Baden-Württemberg liegen die drei Nachhaltigkeitsdimensionen

- ökologische Tragfähigkeit,
- Teilhabe und gutes Leben sowie
- Rahmenbedingungen und vermittelnde Faktoren

zugrunde. Auf ihnen bauen 17 Leitsätze auf, die – ähnlich den Nachhaltigkeitsziele der UN (SDG) – auf übergeordneter Ebene politische Ziele festlegen und die Schwerpunkte der nachhaltigen Entwicklung im Land definieren. In einem Turnus von drei Jahren wird ein Indikatorenbericht der Landesregierung mit Statusindikatoren einer nachhaltigen Entwicklung publiziert.

Im vorliegenden Bericht wird davon ein Auszug mit dem Fokus auf den ökologischen Aspekten und dem Zustand von Natur und Umwelt vorgestellt.

Was sind Indikatoren?

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 Umweltautoritäten der Länder und des Bundes. Diese Indikatoren werden von der Umweltministerkonferenz zur Anwendung empfohlen.

www.liki.nrw.de

Sieben der 17 Leitsätze der nachhaltigen Entwicklung in Baden-Württemberg fokussieren die ökologischen Aspekte der Nachhaltigkeit, die im Folgenden anhand von 16 ausgewählten Indikatoren abgebildet werden.

Die Indikatoren werden auf Basis des erkennbaren Trends und – dem Indikatorenbericht 2019 des Landes folgend – anhand des aktuell erreichten Zustandes mit einem Ampelschema bewertet. Bei wenigen 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.

| Leitsatz und Indikator | Bewertung |
|--|-----------|
| NACHHALTIG HANDELN IN BADEN-WÜRTTEMBERG HEISST ... die <i>Energiewende</i> zügig, sicher und bezahlbar unter Einbindung der Zivilgesellschaft umzusetzen. | |
| Endenergieproduktivität | ● |
| Erneuerbare Energien | ● |
| NACHHALTIG HANDELN IN BADEN-WÜRTTEMBERG HEISST ... die Lebensgrundlagen und die <i>vielfältige Natur</i> sowie die einzigartigen Kulturlandschaften des Landes zu schützen und zu erhalten sowie Belastungen für Mensch, Natur und Umwelt auch über das Land hinaus möglichst gering zu halten. | |
| Waldzustand | ● |
| Artenvielfalt und Landschaftsqualität | — |
| Nitrat im Grundwasser | ● |
| Landwirtschaft mit hohem Naturwert | ● |
| NACHHALTIG HANDELN IN BADEN-WÜRTTEMBERG HEISST ... <i>Klimaschutz</i> als Querschnittsaufgabe wahrzunehmen und umweltbezogene Gefahren infolge des Klimawandels zu minimieren. | |
| Treibhausgasemissionen | ● |
| Klimawandel und Vegetationsentwicklung | — |

| Leitsatz und Indikator | Bewertung |
|--|-----------|
| NACHHALTIG HANDELN IN BADEN-WÜRTTEMBERG HEISST ... den Einsatz von <i>Ressourcen</i> zu optimieren und das Wirtschaftswachstum vom Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen zu entkoppeln. | |
| Rohstoffproduktivität | ● |
| Vergärung von Bioabfällen | ● |
| NACHHALTIG HANDELN IN BADEN-WÜRTTEMBERG HEISST ... verantwortungsbewusste <i>Konsumstile</i> und fairen Handel zu fördern. | |
| Häusliche Abfälle | ● |
| Ökologischer Landbau | ● |
| NACHHALTIG HANDELN IN BADEN-WÜRTTEMBERG HEISST ... <i>eine gesundheitsförderliche Lebenswelt</i> zu ermöglichen. | |
| Stickstoffdioxidbelastung | ● |
| Lärm | ● |
| NACHHALTIG HANDELN IN BADEN-WÜRTTEMBERG HEISST ... innovative, umweltgerechte und soziale <i>Mobilität</i> zu fördern und umzusetzen. | |
| Öffentlicher Personennahverkehr | ● |
| Straßenverkehr nach Fahrzeugkategorien | ● |

- 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.



Nachhaltig handeln in Baden-Württemberg heißt

... die *Energiewende* zügig, sicher und bezahlbar unter Einbindung der Zivilgesellschaft umzusetzen.

Energieproduktivität

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

Definition: Die Endenergieproduktivität ergibt sich aus der wirtschaftlichen Leistung, dargestellt durch das Bruttoinlandsprodukt (preisbereinigt, verkettet), bezogen auf den Endenergieverbrauch. Sie wird als Index (2008 = 100) dargestellt.

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

Bewertung: Im Jahr 2019 lag die Endenergieproduktivität in Baden-Württemberg niedriger als im Vorjahr. Die mittlere Steigerung der Endenergieproduktivität lag im Zeitraum 2008 bis 2019 bei 1,7 % im Jahr und damit unter dem Bundesziel. Dies ist einem gestiegenen Endenergieverbrauch bei gleichzeitigem Rückgang des Bruttoinlandsproduktes geschuldet.

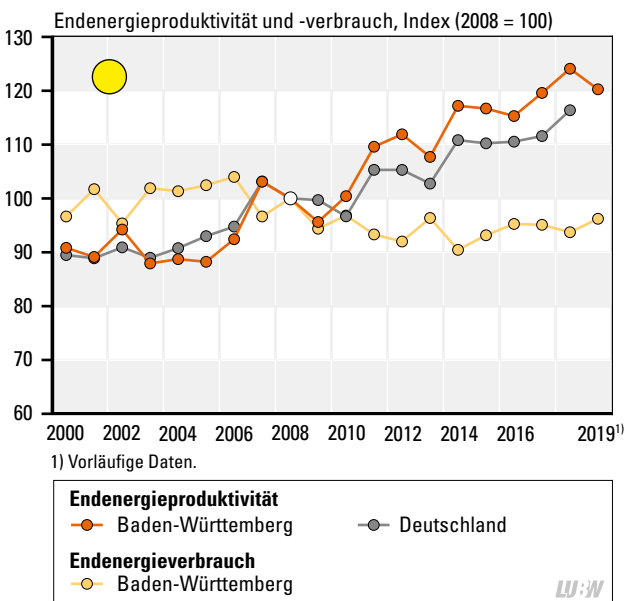


Abb. 1.1-1: Endenergieproduktivität. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg; AK UGRdL, Stand Juni 2021.

Erneuerbare Energien

Die Umstellung auf erneuerbare Energien vermindert den Ausstoß von Treibhausgasen durch die Reduktion der Verbrennung fossiler Rohstoffe und reduziert deren Verbrauch. Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist ein wesentlicher Baustein für eine klimafreundliche, zukunfts-sichere und bezahlbare Energieversorgung.

Definition: Dargestellt wird der Anteil regenerativ erzeugter Energie am Primärenergieverbrauch und am Stromverbrauch in %. Der Primärenergieverbrauch beschreibt die Energieträger in ihrer ursprünglichen Form wie Kohle, Rohöl oder Biomasse ohne Umwandlungsverluste, beispielsweise zur Strom- oder Wärmerzeugung.

Ziel: Bis im Jahr 2050 sollen 89 % des Stromverbrauchs aus erneuerbaren Energien gedeckt werden [IEKK 2014].

Bewertung: Im Jahr 2019 lag der Anteil erneuerbarer Energien aus Baden-Württemberg am Bruttostromverbrauch bei rund 24,5 %. 2020 wurden ersten Abschätzungen zufolge 26,4 % erreicht [UM 2021]. Der Verbrauch von Primärenergie wurde im Jahr 2019 zu 14,2 % aus regenerativen Energiequellen gedeckt, der größte Anteil entfällt auf Biomasse.

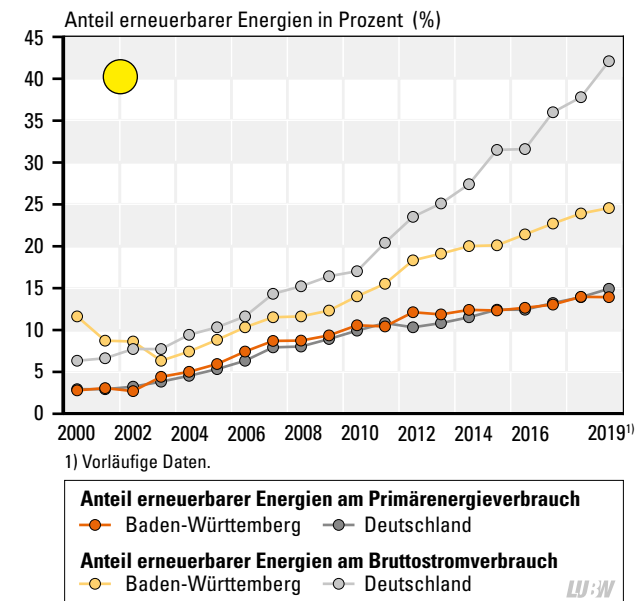


Abb. 1.1-2: Anteil erneuerbarer Energien. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg; BMWI, Stand Sept. 2020.

Nachhaltig handeln in Baden-Württemberg heißt

... die Lebensgrundlagen und die *vielfältige Natur* sowie die einzigartigen Kulturlandschaften des Landes zu schützen und zu erhalten sowie Belastungen für Mensch, Natur und Umwelt auch über das Land hinaus möglichst gering zu halten.

Waldzustand

Für die Waldschäden lässt sich nicht ein einzelner Faktor als Ursache verantwortlich machen. Einerseits wirken beispielsweise Luftschadstoffe direkt, andererseits führt zum Beispiel die Bodenversauerung indirekt zu einer Schädigung. Der Klimawandel und hierdurch bedingte Wetterextreme üben zunehmend zusätzlichen Stress auf die Wälder aus.

Definition: Die Erfassung der Waldschäden basiert auf einer Beurteilung der Baumkronen. Dargestellt wird der Anteil der deutlich geschädigten Bäume der Schadstufen 2 bis 4 (mittelstark geschädigt bis abgestorben) in %.

Ziel: Durch den Umbau der Waldbestände in standortangepasste, strukturierte Mischwälder soll die Widerstandsfähigkeit der Wälder gestärkt werden.

Bewertung: Der Zustand der Wälder in Baden-Württemberg hat sich auch im Jahr 2020 weiter dramatisch verschlechtert. Nach den heißen und trockenen Sommern 2018 und 2019, in denen der Schädigungsgrad der Wälder bereits massiv angestiegen war, steigen die Waldschäden im Jahr 2020 auf ein bisher nicht erreichtes Ausmaß von 46 % [FORSTBW 2020].

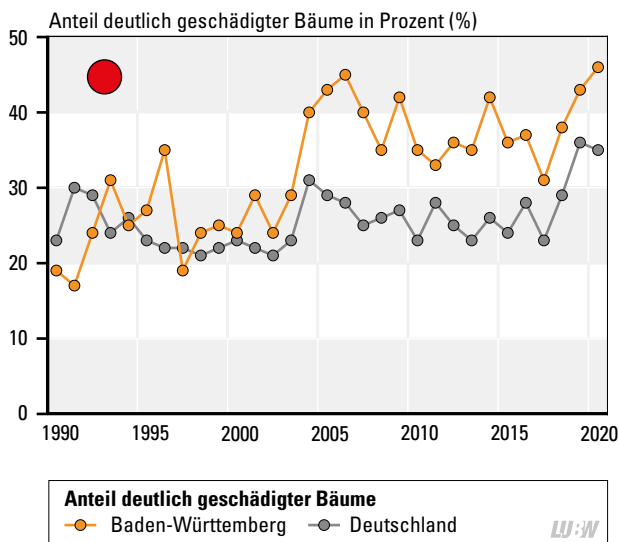


Abb. 1.1-3: Waldzustand. Quelle ForstBW, Stand Sept. 2020.

Artenvielfalt und Landschaftsqualität

Die Bestandsentwicklungen ausgewählter Vogelarten stehen stellvertretend für den Zustand der Artenvielfalt in der Normallandschaft, also der genutzten und nicht besonders geschützten Landschaft, und spiegeln mittelbar die Nachhaltigkeit der Landnutzung wider.

Definition: Die Berechnung des von der Umweltministerkonferenz empfohlenen Indikators zur Bestandsentwicklung repräsentativer Arten ist für Baden-Württemberg aktuell noch nicht möglich. Dargestellt wird deshalb hier die quantitative Bestandsentwicklung von drei repräsentativen Vogelarten des Teillebensraums Agrarland.

Ziel: Der Rückgang der Biodiversität in den Agrarökosystemen des Landes soll gestoppt und für die typischen Arten der Agrarlandschaft ein Aufwärtstrend erreicht werden. Ziel ist es, einen „günstigen Erhaltungszustand“ aller für die Kulturlandschaft des Landes typischen Arten zu erreichen [MLR 2014].

Bewertung: In Baden-Württemberg wie auch auf Bundesebene ist beim Teilindikator Agrarland keine Trendwende absehbar.

Um den Artenrückgang zu stoppen, hat die Landesregierung ein Sonderprogramm zur Stärkung der biologischen Vielfalt aufgesetzt. Denn der Schutz der Biodiversität ist ein Schwerpunkt der Landespolitik.

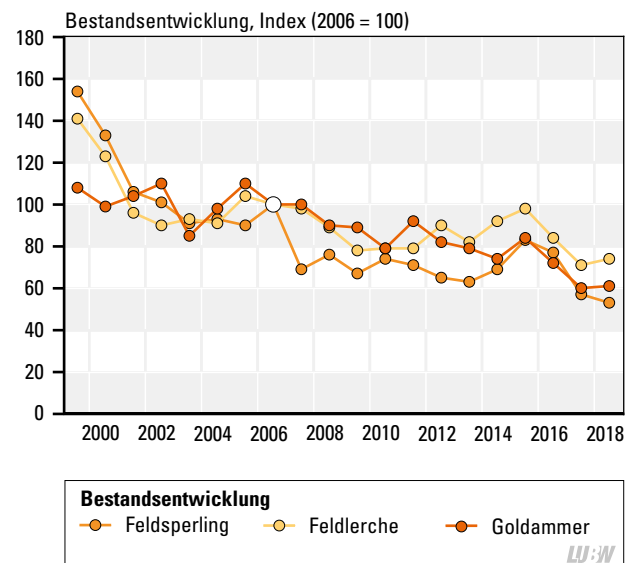


Abb. 1.1-4: Bestandsentwicklung repräsentativer Vogelarten. Quelle LUBW, Stand Sept. 2020.

Landwirtschaft mit hohem Naturwert

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

Definition: Dargestellt ist der Anteil der Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert an der gesamten Landwirtschaftsfläche in %.

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 bei rund 14,7 % der Agrarfläche. Gegenüber 2009 ist damit ein leichter Rückgang zu beobachten. Der Verlust liegt im Rückgang von naturschutzfachlich wertvollen Ackerflächen und Grünland begründet und weniger im Verlust von Landschaftselementen wie Hecken oder Staudenfluren.

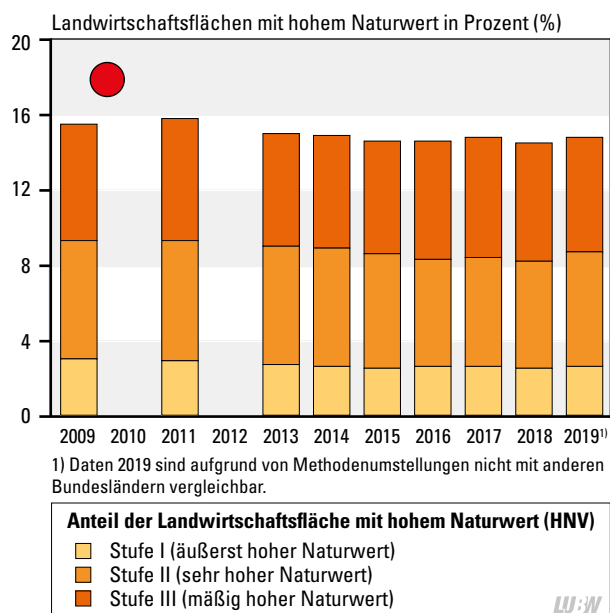


Abb. 1.1-5: Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert. Quelle LUBW, Stand Sept. 2020.

Nitrat im Grundwasser

Über 70 % des Trinkwassers in Baden-Württemberg werden aus Grund- oder Quellwasser gewonnen. Stickstoff aus der landwirtschaftlichen Düngung kann im Grundwasser erhöhte gesundheitsschädliche Nitratgehalte verursachen. Außerdem verändern sich die Lebensraumfunktionen der Gewässer durch Nährstoffeinträge. Andauernde hohe Einträge führen zur Eutrophierung.

Definition: Betrachtet werden der Anteil der Messstellen mit einem Nitratgehalt über 50 Milligramm pro Liter (mg/l) sowie der Anteil der Messstellen mit einem Nitratgehalt über 25 mg/l. Herangezogen werden 120 seit 1994 durchgehend beprobte Messstellen in ganz Baden-Württemberg (EUA-Messnetz).

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

Bewertung: Im Jahr 2020 wurde an 7,6 % der betrachteten 119 Messstellen eine Überschreitung des Schwellenwerts von 50 mg/l festgestellt. Langfristig zeigt die Nitratbelastung des Grundwassers einen rückläufigen Trend, welcher seit einigen Jahren jedoch stagniert. Nitrat stellt weiterhin die Hauptbelastung des Grundwassers dar.

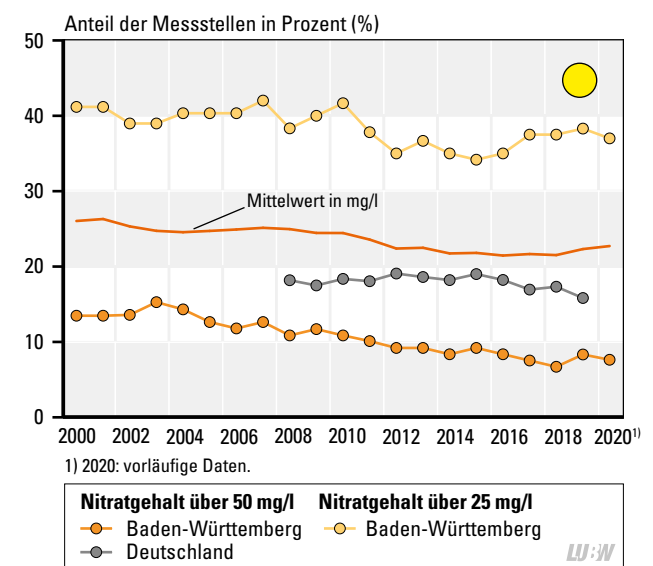


Abb. 1.1-6: Nitratbelastung des Grundwassers. Quelle LUBW, Stand Sept. 2020.

Nachhaltig handeln in Baden-Württemberg heißt

... Klimaschutz als Querschnittsaufgabe wahrzunehmen und umweltbezogene Gefahren infolge des Klimawandels zu minimieren.

Treibhausgasemissionen

Treibhausgase sind verantwortlich für die Erwärmung der Erdatmosphäre. Vom Menschen verursachte Treibhausgasemissionen verstärken diesen Effekt und führen zu einer Klimaveränderung.

Definition: Angegeben werden die Emissionen der Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (N₂O) in Tonnen CO₂-Äquivalente pro Einwohnerinnen und Einwohner und Jahr. Sie werden als Index (1990 = 100) dargestellt.

Ziel: Laut dem Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg von 2013, das zuletzt im Oktober 2021 novelliert wurde, soll das Land bis 2040 netto-treibhausgasneutral sein. Im Zwischenschritt soll bis 2030 eine Senkung um 65 % im Vergleich zu den Emissionen des Jahres 1990 erreicht werden.

Bewertung: Im Jahr 2019 wurden in Baden-Württemberg rund 72,2 Millionen Tonnen (Mio. t) Treibhausgase emittiert. Den größten Beitrag leisten mit 87 % die energiebedingten CO₂-Emissionen, die zu einem Drittel (35 %) vom Straßenverkehr verursacht werden. Ersten Schätzungen des Statistischen Landesamtes zufolge wurden im Jahr 2020 knapp 26,8 % weniger Treibhausgase emittiert als 1990. Das frühere Ziel der Landesregierung wäre damit erreicht. Allerdings ist das Jahr 2020 stark geprägt von den Auswirkungen der Corona-Pandemie, vor allem dem starken Rückgang der Mobilität.

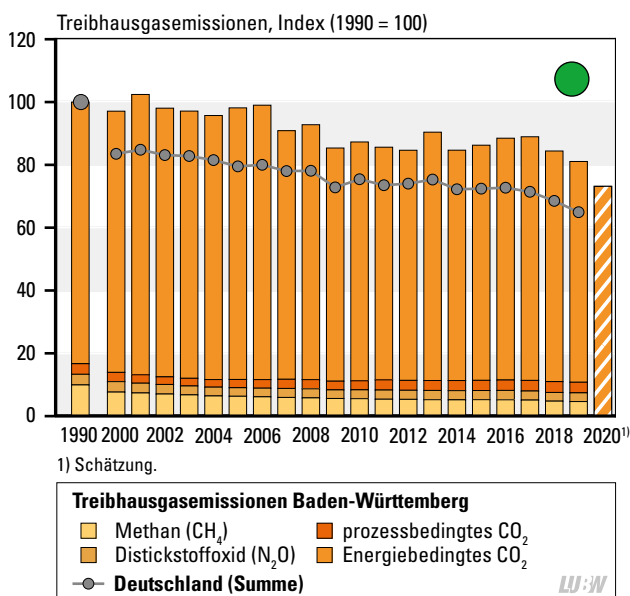


Abb. 1.1-7: Treibhausgasemissionen. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand Juni 2020.

Klimawandel und Vegetationsentwicklung

Beginn und Ende pflanzlicher Entwicklungsphasen wie Blattaustrieb oder Blattfall sind unter anderem von Witterung und Klima abhängig. Die Veränderung dieser phänologischen Phasen ist als Folge des Klimawandels zu sehen.

Definition: 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 unter anderem einen Prozess anstoßen, der dazu beiträgt, die Verwundbarkeit des Landes zu mindern, mögliche Klimafolgen zu erkennen, entstehende Kosten zu senken und sich ergebende Chancen zu nutzen.

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

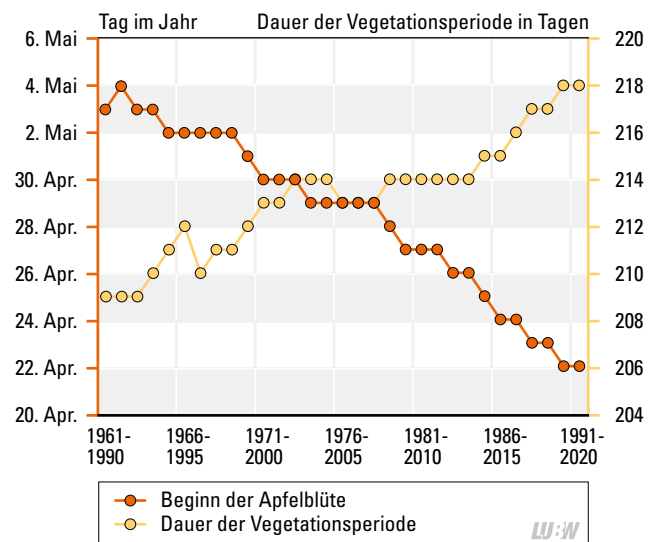


Abb. 1.1-8: Vegetationsentwicklung. Quelle DWD, Stand Sept. 2020.

Nachhaltig handeln in Baden-Württemberg heißt

... den Einsatz von *Ressourcen* zu optimieren und das Wirtschaftswachstum vom Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen zu entkoppeln.

Rohstoffproduktivität (und -verbrauch)

Die Gewinnung oder Nutzung von nicht erneuerbaren Rohstoffen ist endlich und mit Umweltbelastungen und Schadstoffemissionen verbunden. Die Rohstoffproduktivität drückt aus, wie viel wirtschaftliche Leistung (dargestellt als Bruttoinlandsprodukt (BIP)) durch den Einsatz einer Einheit Rohstoffe „produziert“ wird.

Definition: Die Rohstoffproduktivität ergibt sich aus dem Verhältnis des BIP zur Inanspruchnahme von nicht erneuerbaren Rohstoffen wie Kohle, Erdöl, Erzen, Mineralien in 1000 Euro pro Tonne. Sie wird als Index mit dem Basisjahr 1994 dargestellt.

Ziel: Deutschland hat sich mit der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel gesetzt, bei der Gesamtrohstoffproduktivität bis 2030 den Trend der Jahre 2000 bis 2010 beizubehalten.

Bewertung: Im Jahr 2018 ist bei steigendem Rohstoffverbrauch im dritten Jahr in Folge ein Rückgang der Rohstoffproduktivität zu verzeichnen. Dies ist vor allem auf die seit 2016 verstärkte Entnahme von Baumineralien zurückzuführen.

Gegenüber 1994 konnte die Rohstoffproduktivität in Baden-Württemberg um 52 % gesteigert werden.

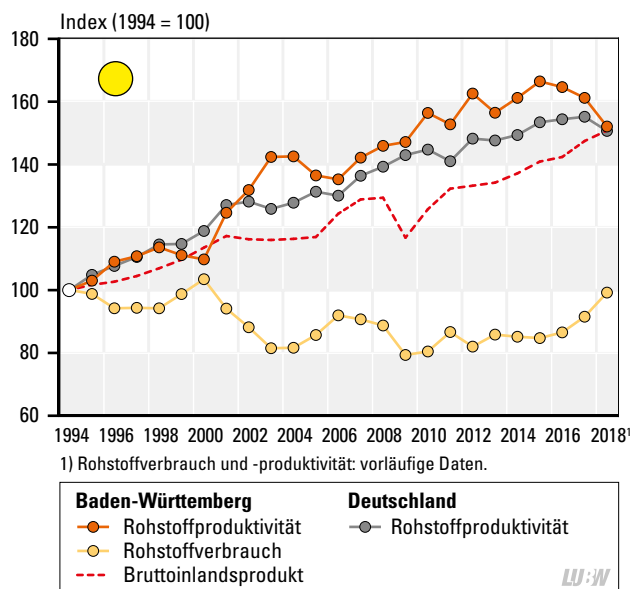


Abb. 1.1-9: Rohstoffproduktivität. Quelle AK UGRdL, Stand Mrz. 2021.

Vergärung von Bioabfällen

Bioabfälle stellen eine besondere Ressource dar, die sowohl stofflich als auch energetisch genutzt werden kann. Daher sind seit dem 01. Januar 2015 häusliche Bioabfälle gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) getrennt zu erfassen und hochwertig zu verwerten.

Definition: Betrachtet werden die häuslichen Bioabfälle in Baden-Württemberg, die einer hochwertigen Verwertung in einer kombinierten Vergärungs- und Kompostierungsanlage mit Biogaserzeugung und Kompostproduktion zugeführt werden. Die Angabe erfolgt in Kilogramm pro Einwohnerin und Einwohner (kg/EW) und Jahr.

Ziel: Mit dem Ziel, die Kaskadennutzung von Bioabfällen zu fördern, soll die getrennt gesammelte Menge von Abfällen aus der Biotonne auf 60 kg/EW bis zum Jahr 2020 erhöht werden [UM 2020].

Bewertung: Die Menge des über Biotonnen oder Biobeutel getrennt erfassten häuslichen Bioabfalls konnte von knapp 46 kg/EW im Jahr 2014 auf 55 kg/EW im Jahr 2020 gesteigert werden. Der Anteil häuslichen Bioabfalls, der einer kombinierten Vergärungs- und Kompostierungsanlage zugeführt werden konnte, liegt im Jahr 2020 bei 57 %.

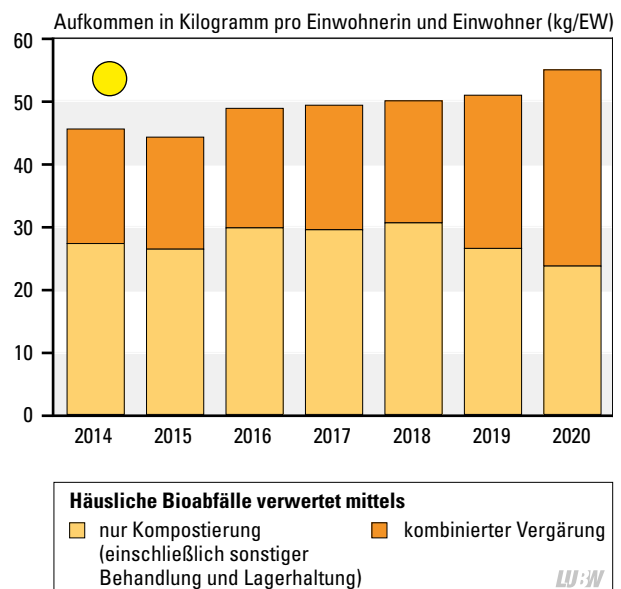


Abb. 1.1-10: Kompostierung und Vergärung mit Kompostierung (als Kaskadennutzung). Quelle Abfallbilanz 2020, Stand Aug. 2021.

Nachhaltig handeln in Baden-Württemberg heißt

... verantwortungsbewusste Konsumstile und fairen Handel zu fördern.

Häusliche Abfälle

Mit der Herstellung und der Verteilung von Produkten werden immer auch Rohstoffe wie Erdöl und Metalle sowie Energie verbraucht. Für eine langfristig sichere Energie- und Rohstoffversorgung ist eine Optimierung der Stoffkreisläufe unverzichtbar.

Definition: Dargestellt ist das häusliche Abfallaufkommen, unterteilt nach Haus- und Sperrmüll, Wertstoffen aus Haushalten, zum Beispiel Glas, Papier, „gelber Sack“, und Bioabfällen in Kilogramm pro Einwohnerin und Einwohner (kg/EW) und Jahr.

Ziel: Ziel ist die Verringerung des durchschnittlichen einwohnerbezogenen Haus- und Sperrmüllaufkommens. Gleichzeitig sollen die Erfassungsmengen von Bioabfall und von Wertstoffen erhöht werden [UM 2015].

Bewertung: Das häusliche Abfallaufkommen liegt seit Jahren nahezu konstant bei im Mittel 350 kg/EW. Im „Corona-Jahr“ 2020 stieg die Abfallmenge jedoch um rund 14 kg/EW auf 368 kg/EW. Mit einem Anstieg bei den getrennt gesammelten häuslichen Bioabfällen um gut 3 kg/EW gegenüber dem Vorjahr setzt sich der Zuwachs weiter fort.

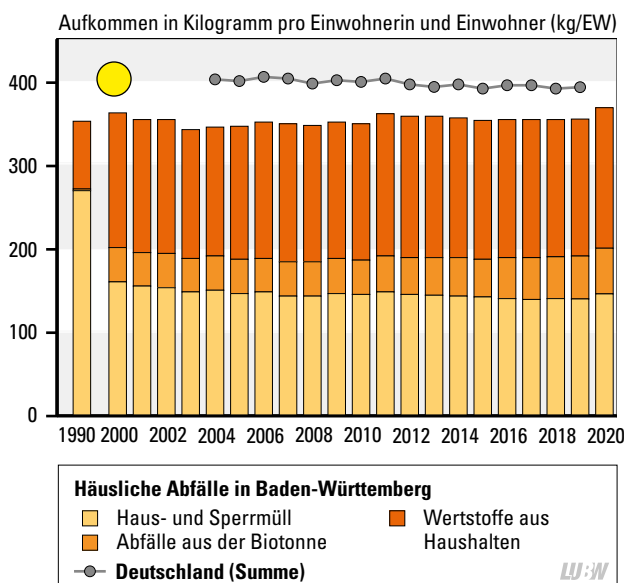


Abb. 1.1-11: Häusliche Abfälle. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg; LIKI, Stand Aug. 2021.

Ökologischer Landbau

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

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

Ziel: Das Land Baden-Württemberg fördert den ökologischen Landbau gezielt mit dem 2012 ins Leben gerufenen Aktionsplan „Bio aus Baden-Württemberg“. Bis 2030 soll der Anteil des ökologischen Landbaus Schritt für Schritt auf 30 bis 40 % der landwirtschaftlichen Fläche ausgebaut werden [MLR 2020].

Bewertung: Der Anteil der ökologisch bewirtschafteten Fläche an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche steigt in Baden-Württemberg stetig an und liegt im Jahr 2020 bei 13,7 %. Gut 12 % der landwirtschaftlichen Betriebe in Baden-Württemberg wirtschaften nach ökologischen Richtlinien [BMEL 2021].

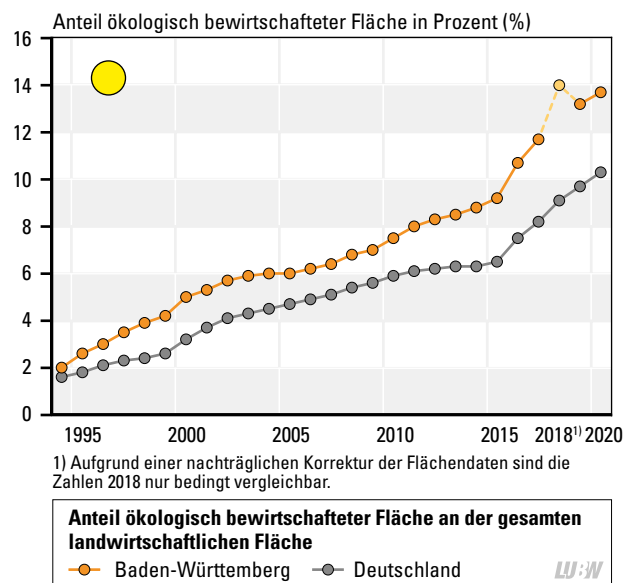


Abb. 1.1-12: Ökologischer Landbau. Quelle Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung; LIKI, Stand Sept. 2020.

Nachhaltig handeln in Baden-Württemberg heißt

...eine gesundheitsförderliche Lebenswelt zu ermöglichen.

Luftqualität – Stickstoffdioxid

Die Schadstoffbelastung der Luft gefährdet die menschliche Gesundheit und wirkt schädigend auf Ökologie und Bausubstanz. Stickstoffdioxid wird hier beispielhaft für die von Kraftfahrzeugverkehr, Hausbrand und Industrie verursachten Luftschadstoffe betrachtet.

Definition: Dargestellt werden die Jahresmittelwerte der Stickstoffdioxidkonzentration im städtischen Hintergrund, in Verkehrsnähe und im ländlichen Hintergrund in Mikrogramm pro Kubikmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Ziel: Ziel ist die Einhaltung des Immissionsgrenzwertes für Stickstoffdioxid nach der 39. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) vom $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel.

Bewertung: Die Stickstoffdioxidbelastung ist im städtischen Hintergrund und in Straßennähe seit Anfang der 1990er-Jahre rückläufig. Im Jahr 2020 liegen die Stickstoffdioxidkonzentrationen im städtischen Hintergrund und in Verkehrsnähe deutlich unter dem Vorjahreswert.

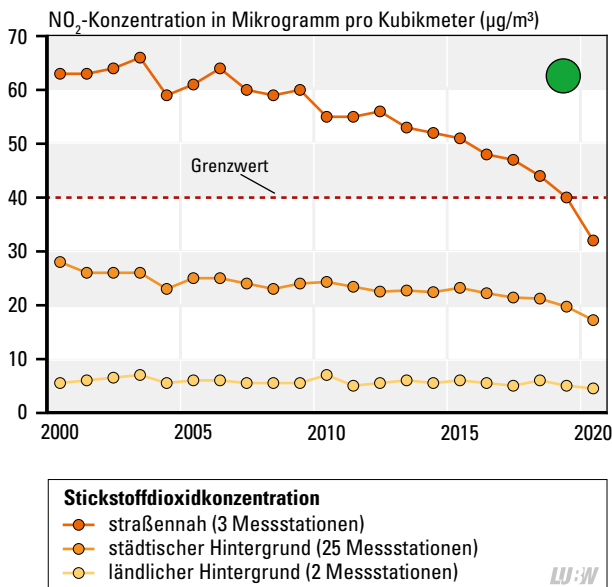


Abb. 1.1-13: Luftqualität – Stickstoffdioxid. Quelle LUBW, Stand Sept. 2020.

Lärmbelastung

Lärm ist eine der wichtigsten umweltbedingten Gefahren für die körperliche und psychische Gesundheit und das Wohlbefinden der Bevölkerung. Bei Dauerbelastungen durch Lärm besteht ein signifikant höheres gesundheitliches Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, für Bluthochdruck und weitere Erkrankungen.

Definition: Bei verkehrsbedingtem Lärm wird der prozentuale Anteil der Bevölkerung, der dauerhaft einem definierten Geräuschpegel ausgesetzt ist, erfasst. Dabei wird einmal die über 24 Stunden gemittelte Lärmbelastung L_{DEN} mit Zuschlägen für den Abend- und Nachtzeitraum betrachtet und zum anderen die ausschließlich über die Nacht gemittelte Lärmbelastung L_{NIGHT} .

Ziel: Bis 2030 sollen 20 % weniger Menschen einer verkehrsbedingten gesundheitsschädlichen Lärmbelastung ausgesetzt sein als 2017 [VM 2020].

Bewertung: Die Zahl der durch Straßenverkehrslärm Betroffenen ist zurückgegangen. Nach Ergebnissen der Lärmkartierung 2017 waren in Baden-Württemberg 2,2 % der Bevölkerung nachts einer gesundheitsschädlichen Lärmbelastung durch Straßenverkehrslärm von über 55 Dezibel (A) ausgesetzt, 13,3 % weniger als 2012. Um das Ziel der Landesregierung zu erreichen, sind weitere Anstrengungen nötig.

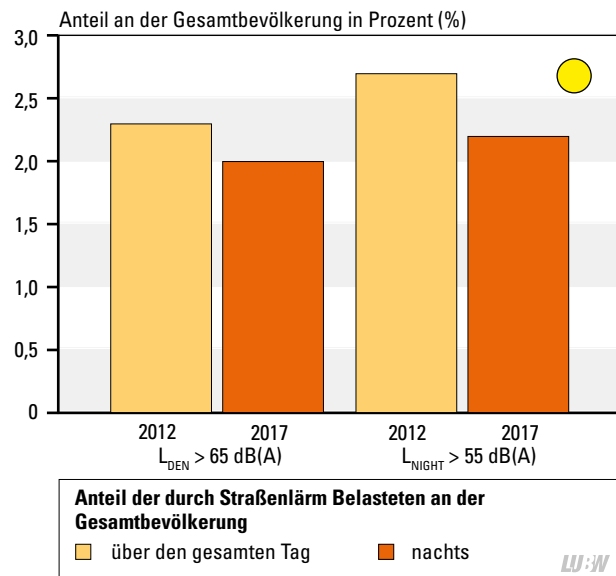


Abb. 1.1-14: Belastung durch Straßenlärm. Quelle LUBW, Stand Mrz. 2021.

Nachhaltig handeln in Baden-Württemberg heißt

... innovative, umweltgerechte und soziale *Mobilität* zu fördern und umzusetzen.

Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)

Die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel entlastet besonders Innenstädte, Hauptverkehrsstraßen und Wohngebiete mit Durchgangsstraßen von Lärm und Abgasen. Eine Reduktion des motorisierten Individualverkehrs schafft Raum für andere, umweltfreundlichere Nutzungen wie Radverkehr und Freiflächen.

Definition: Der Indikator umfasst den Liniennahverkehr innerhalb Baden-Württembergs mit Eisenbahnen (inklusive des S-Bahnverkehrs), Straßenbahnen und Omnibussen. Angegeben wird die Beförderungsleistung des ÖPNV in Personenkilometer pro Einwohnerin und Einwohner (Pkm/EW) und Jahr.

Ziel: Bis zum Jahr 2030 strebt die Landesregierung eine Verdoppelung der Fahrgastzahlen im ÖPNV an [VM 2020]. Um mehr Bürgerinnen und Bürger für die Nutzung des ÖPNV zu gewinnen, will die Landesregierung Busse und Bahnen im ganzen Land stärken.

Bewertung: Von 2004 bis 2008 war ein deutlicher Anstieg der Pkm im ÖPNV zu verzeichnen. Obwohl die Kapazitäten im ÖPNV in Baden-Württemberg kontinuierlich ausgebaut werden, ist seit 2012 eine Stagnation beziehungsweise ein Rückgang der Pkm festzustellen. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass durch eine wachsende Bevölkerungszahl der Bedarf an öffentlichem Nahverkehr stärker zunimmt, als das Angebot den Bedarf decken kann.

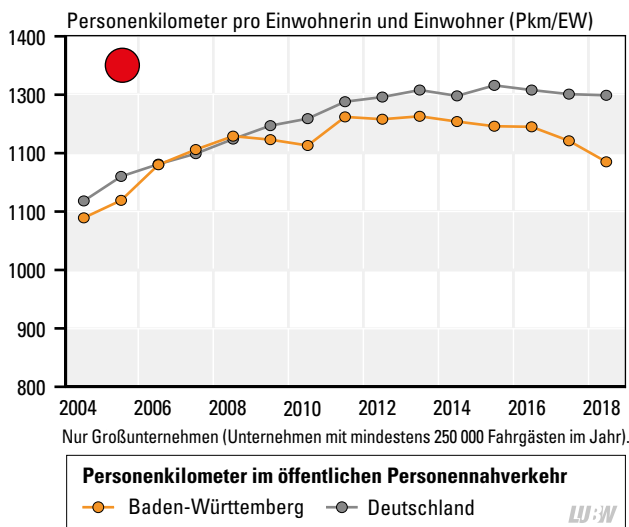


Abb. 1.1-15: Personenkilometer im öffentlichen Nahverkehr. Quelle LIKI auf Basis von Daten des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg, Stand Sept. 2020.

Straßenverkehr nach Fahrzeugkategorien

Straßenverkehr ist eine bedeutende Umweltbelastung: In Baden-Württemberg ist er die Hauptlärmquelle und stellt so eines der größten Gesundheitsprobleme unserer Zeit dar. Außerdem verursachte der konventionell angetriebene Verkehr im Jahr 2019 30 % der Treibhausgasemissionen in Baden-Württemberg und ist für die Luftschadstoffbelastung in den Städten mitverantwortlich. Neu- und Ausbau von Straßen tragen außerdem zum Verlust, zur Verkleinerung und zunehmenden Zerschneidung der natürlichen Lebensräume bei.

Definition: Dargestellt sind die pro Jahr gefahrenen Kilometer, unterteilt nach Fahrzeugkategorien in Milliarden Kilometer pro Jahr (Mrd. km/a).

Ziel: Die Vermeidung von Verkehr durch konventionell angetriebene Pkw und schwere Nutzfahrzeuge ist ein Kernpunkt nachhaltiger Mobilität – neben der Verlagerung auf ökologisch sinnvolle Verkehrsträger, der besseren Vernetzung der Verkehrsmittel und der umweltverträglicheren Gestaltung des motorisierten Verkehrs.

Bewertung: Bis 2019 ist die Jahresfahrleistung angestiegen, in den vergangenen Jahren nur noch schwach. In der Folge der COVID-19-Pandemie ging vor allem der Pkw-Verkehr im Jahr 2020 deutlich um fast 19 % zurück, wohingegen der Güterverkehr mit schweren Nutzfahrzeugen mit einem Minus von 5 % weniger stark betroffen war.

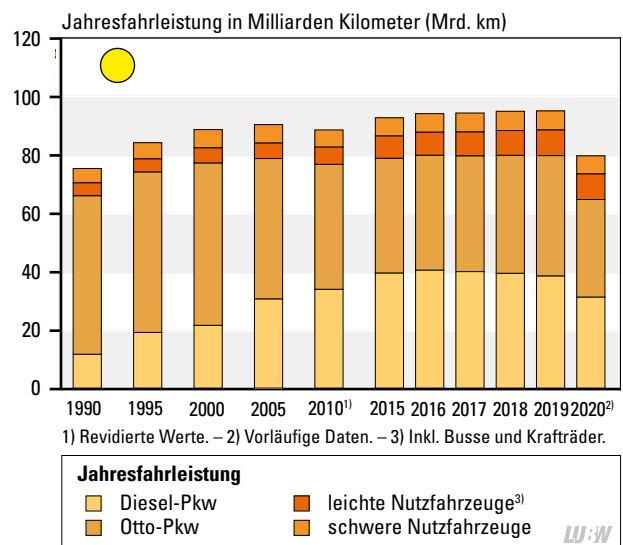


Abb. 1.1-16: Jahresfahrleistung des Straßenverkehrs. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand Sept. 2021.

1.2 Natürliche Ressourcen

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 abgebaut:

- Kiese und Sande für den Verkehrswegebau, für Baustoffe und als Betonzuschlag,
- Natursteine, vor allem für den Verkehrswegebau, aber auch als hochwertige Naturwerksteine,
- Zement- und Ziegeleirohstoffe sowie
- Industriemineralien wie Gips, Anhydrit, Kalk, Quarz, Steinsalz, Fluss- und Schwerspat.

Insgesamt wurden im Jahr 2018 in Baden-Württemberg 96,3 Millionen Tonnen mineralische Rohstoffe gefördert. Die wichtigsten Rohstoffe in Baden-Württemberg sind Kiese und Sande sowie Natursteine wie Kalksteine, Vulkanite, Plutonite, Metamorphite und Sandsteine. Sie machen zusammen 80 % der gesamten geförderten Rohstoffmenge aus.

Die knapp 500 Gewinnungsbetriebe sind insgesamt relativ gleichmäßig über die Landesfläche verteilt und ermöglichen dadurch bei den meisten Rohstoffgruppen kurze Transportwege [LGRB 2019]. Zur Schonung der Steine- und Erden-Rohstoffe unterstützt das Land den Einsatz von Recyclingmaterial bei der Betonherstellung.

www.lgrb-bw.de > Produkte > LGRB-Schriften > **LGRB-Informationen**

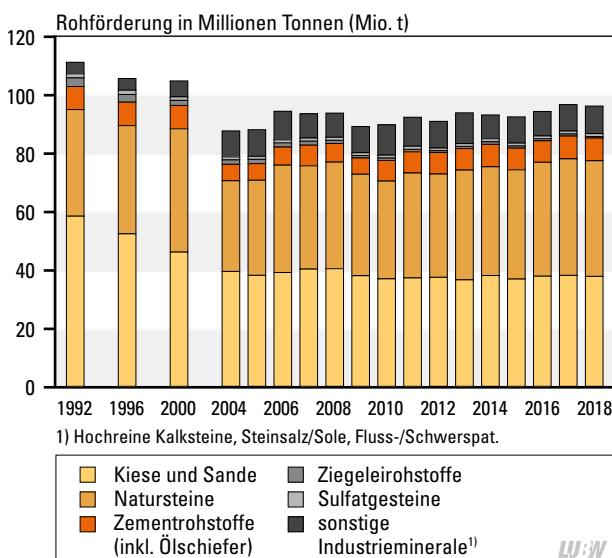


Abb. 1.2-1: Fördermengen von mineralischen Rohstoffen in Baden-Württemberg. Quelle LGRB, Stand 2021.

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, was einem Zuwachs um 17,2 Millionen (Mio.) m³, bezogen auf ganz Baden-Württemberg, entspricht. 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 2019 bei 7,4 Mio. m³.

75 % des in Baden-Württemberg eingeschlagenen Holzes werden im Land verarbeitet. Rund 65 % gehen in die Sägeindustrie, die damit der bedeutsamste Abnehmer und Verwerter von Holz aus Baden-Württemberg ist. Die Rohstoffbeschaffung erfolgt dabei überwiegend örtlich, und ihre wichtigste Holzart ist Fichtenholz, das in nahezu allen Landesteilen gesägt wird.

2,1 Mio. m³ (27,8 %) des Holzeinschlags waren Energieholz wie Hackschnitzel, Brennholz (stückiges Holz) und nicht verwertbares Stamm- und Astholz.

Da bei der Verbrennung von Holz nicht mehr Kohlendioxid freigesetzt wird, als beim Wachstum eingelagert wurde, gilt Holz als „CO₂-neutraler“ Energieträger und kann einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten.

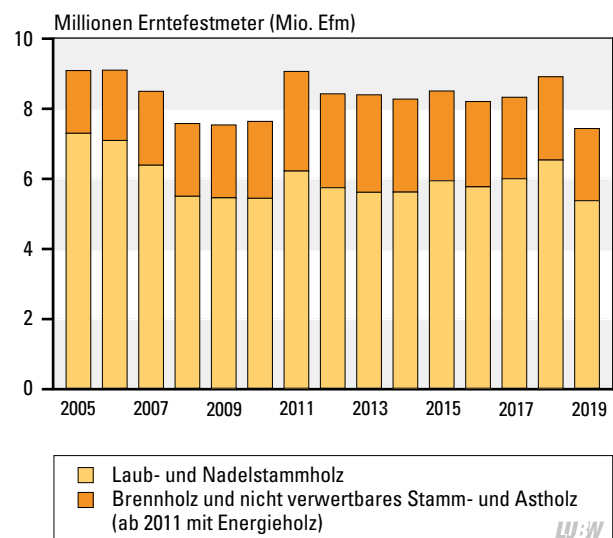


Abb. 1.2-2: Holzeinschlag in Baden-Württemberg. Quelle ForstBW, Stand Feb. 2021.

Anbaubiomasse

Die technischen Gesamtpotenziale der zur Energieerzeugung nutzbaren Biomasse in Baden-Württemberg reichen je nach Berechnungsgrundlage und zugrunde gelegter Annahmen von rund 130 Petajoule pro Jahr (PJ/a) bis 200 PJ/a. Insgesamt wird Biomasse in einem Umfang von etwa 135 PJ/a (Stand 2020) energetisch genutzt, davon stammen etwa 80 % der Bioenergieträger aus Baden-Württemberg. Aus anderen Bundesländern und dem Ausland werden vor allem flüssige Brenn- und Treibstoffe wie auch deren Rohstoffe importiert. Anbaubiomasse, im Sinne von Energiepflanzen als nachwachsenden Rohstoffen, kann zum technischen Gesamtpotenzial der Energieerzeugung aus Biomasse nur zu 14 bis 34 PJ/a beitragen. Das entspricht einem Anteil von 10 bis 20 % [WM 2010].

Derzeit werden in Baden-Württemberg Mais, Raps, Gerste, Weizen, Zuckerrüben und verschiedene Grünfüttermischungen als Energiepflanzen angebaut. Dazu kommt der Anbau von Riesen-Chinaschilf (*Miscanthus*) und schnell wachsenden Baumarten wie Pappeln und Weiden auf Ackerflächen zur Herstellung von Hackschnitzeln und Pellets. Weitere energetische Nutzungen von schnell wachsenden Baumarten und *Miscanthus* werden vom Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Außenstelle Rheinstetten-Forchheim, getestet und ausgewertet.

www.ltz-augustenberg.de

Tab. 1.2-1: Durchschnittlich geschätzter Flächenbedarf für die Biogaserzeugung in Baden-Württemberg auf Basis der mittleren Biomasseverwertung. Quelle LAZBW, Stand Jun. 2021.

| Substrat | Anteil in % | Menge in Tonnen Frischmasse | Flächenbedarf in Hektar | Anteil an der Landesfläche in % |
|------------------------|-------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Mais | 66 | 3 643 000 | 70 000 | 1,9 |
| GPS | 8 | 442 000 | 13 000 | 0,9 |
| sonstige Ackerkulturen | 9 | 497 000 | 1 000 | 1,2 |
| Grassilage | 17 | 938 000 | 38 000 | 2,7 |
| gesamt | 100 | 5 520 000 | 138 000 | 9,7 |

GPS: Ganzpflanzsilage

LU:W

Die Anzahl der Biogasanlagen in Baden-Württemberg hat sich von rund 400 im Jahr 2005 auf 978 Anlagen im Jahr 2019 mehr als verdoppelt. Schwerpunkte liegen in den Landkreisen Ravensburg (111 Anlagen, elektrische Bemessungsleistung 30 770 Kilowatt (kW)) und Biberach (101 Anlagen, 39 352 kW) [LEL 2021]. Der Zubau an Biogasanlagen ist mit Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) 2012 jedoch massiv eingebrochen und beschränkt sich seither auf Bioabfall- und Kleinanlagen (bis 75 kW_{elektrisch}) zur Vergärung von Gülle. Die Rohstoffe für Biogas stammen in der Regel aus Baden-Württemberg. Es werden vorwiegend Reststoffe aus der Landwirtschaft und Energiepflanzen als Substrat eingesetzt. In nicht landwirtschaftlichen Anlagen werden Inhalte aus der Biotonne, Speisereste und sonstige Bioabfälle als Energieträger verwendet.

Im Rahmen der im Jahr 2019 beschlossenen Landesstrategie Nachhaltige Bioökonomie Baden-Württemberg werden die stoffliche Nutzung von Biomasse und die Kreislaufführung von Roh- und Nährstoffen priorisiert und durch verschiedene Maßnahmen unterstützt. Die energetische Nutzung von Anbaubiomasse ist weiterhin notwendig und sinnvoll, soll aber zukünftig in Verbindung mit Koppel- und Kaskadennutzungskonzepten stattfinden. Hierbei werden biogene Nebenströme und Reststoffe aus der Verarbeitung, die keiner höherwertigeren Nutzung mehr zugeführt werden können, energetisch genutzt.

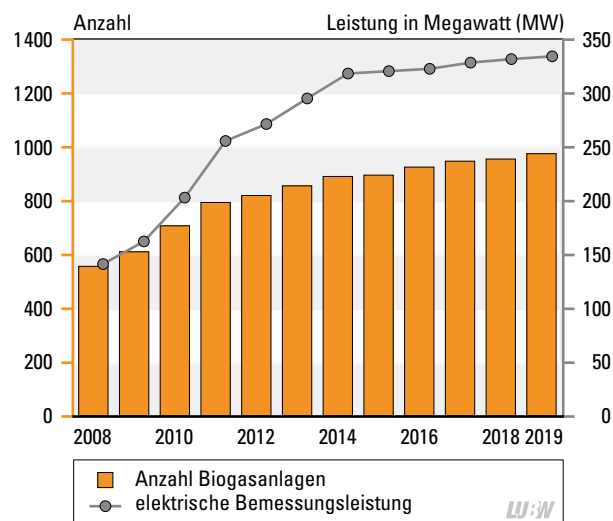


Abb. 1.2-3: Entwicklung der Anzahl und der elektrischen Bemessungsleistung der Biogasanlagen in Baden-Württemberg. Quelle MLR; LEL, Stand Feb. 2021.

Bodennutzung

Baden-Württemberg umfasst eine Fläche von 3 574 783 Hektar (ha). Davon wird der größte Anteil – etwa 1,6 Millionen (Mio.) ha oder 45 % – als Landwirtschaftsfläche genutzt; davon 58 % als Acker- und 39 % als Grünland. Die restlichen 3 % teilen sich auf in Gartenland, Weingarten und, stark untergeordnet, Brachland. 38 % der Landesfläche sind mit Wald bestockt.

2020 betrug die Siedlungs- und Verkehrsfläche 525 676 ha. Dies entspricht 14,7 % der Landesfläche. Innerhalb dieser belegen Verkehrs- und Wohnbauflächen, gefolgt von den Industrie- und Gewerbeflächen, die größten Anteile. Die Siedlungs- und Verkehrsfläche beinhaltet zu einem erheblichen Teil auch Grün- und Freiflächen wie Gärten, Grünanlagen oder Straßenbegleitgrün sowie Sport und Freizeitanlagen.

Nach Schätzungen des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg ist knapp die Hälfte der Siedlungs- und Verkehrsfläche versiegelt. Siedlungsfläche und Verkehrswege sowie deren Ausweitung beeinträchtigen in erheblichem Maß den Naturhaushalt. Böden werden versiegelt, womit ihre Funktionen im Naturhaushalt und natürliche Lebensräume verloren gehen. Technische Strukturen zerschneiden weite Bereiche der Landschaft mit gravierenden Auswirkungen auf den Naturhaushalt und die Lebensräume für Tier- und Pflanzenarten.

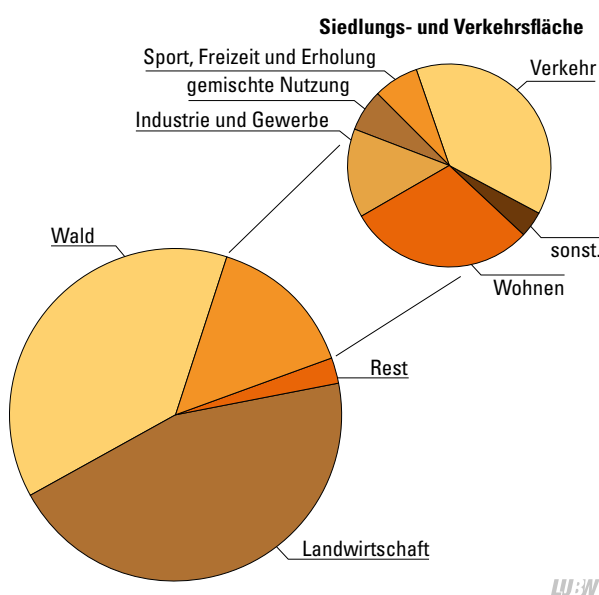


Abb. 1.2-4: Flächennutzung in Baden-Württemberg. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand September 2021.

Flächeninanspruchnahme

Die Fläche, die in Baden-Württemberg für Siedlungen und Verkehr in Anspruch genommen wird, nimmt ständig zu, im Jahr 2020 um 5,4 Hektar pro Tag (ha/d). Die Zuwächse gehen fast ausschließlich zulasten des größten Flächennutzers, der Landwirtschaft. Innerhalb der Landwirtschaftsfläche wiederum gehen überproportional viele als Ackerland genutzte Flächen verloren.

In einer langfristigen Betrachtung zeigt sich eine rückläufige Tendenz der Flächeninanspruchnahme in Baden-Württemberg. 2020 liegt die Flächenneuanspruchnahme, auch Flächenverbrauch genannt, mit 5,4 ha/d geringfügig über dem Vorjahreswert.

Der Flächenverbrauch hängt unter anderem mit der positiven Bevölkerungsentwicklung in Baden-Württemberg, die mit einem erheblichen Anstieg von Wohnraumbedarf verbunden ist, zusammen. Um die Bedarfe für dringend benötigten Wohnraum, Infrastruktur, aber auch für gewerbliche Entwicklungen zu decken und gleichzeitig den Außenbereich zu schonen, setzt sich die Landesregierung mit zahlreichen Maßnahmen für die Innenentwicklung ein. Ziel in Baden-Württemberg ist es, den Flächenverbrauch einzudämmen und die Netto-Null zu erreichen.

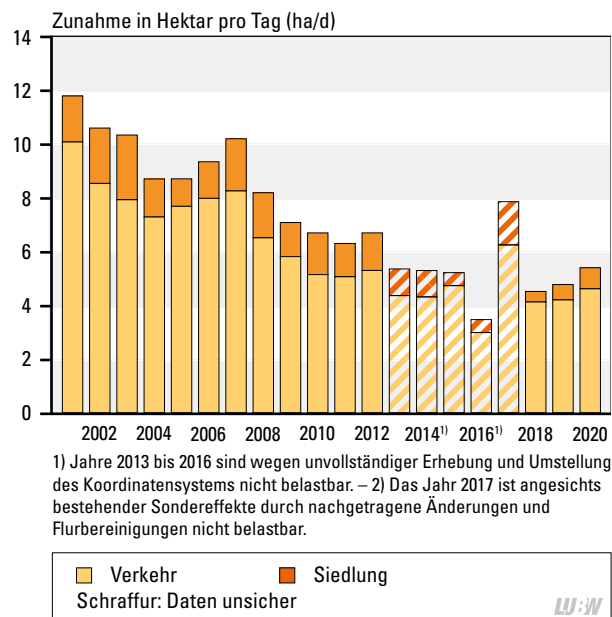


Abb. 1.2-5: Tägliche Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Baden-Württemberg. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand September 2021.

Wassergewinnung und Wassernutzung

Die Wassergewinnung ist seit Ende der 1980er-Jahre rückläufig und hat sich seitdem mehr als halbiert. Im Jahr 2019 wurden in Baden-Württemberg 3,4 Milliarden Kubikmeter (Mrd. m³) Wasser aus Grund-, Quell- und Oberflächengewässern entnommen, wovon der mit 80 % größte Teil aus Oberflächengewässern stammte. Oberflächengewässer umfassen dabei auch Uferfiltrat, angereichertes Grundwasser sowie aufgefangenes Niederschlagswasser.

Im Wesentlichen erfolgt die Wassergewinnung durch das produzierende Gewerbe, der größte Anteil davon entfiel mit 2,2 Mrd. m³ auf die Energiewirtschaft (66 %). Die öffentliche Trinkwasserversorgung förderte 0,7 Mrd. m³ (21 %) und das übrige produzierende Gewerbe 0,4 Mrd. m³ (12 %).

Der von der Energiewirtschaft gewonnene Anteil stammt fast ausschließlich aus Oberflächengewässern. Der Einsatz wassersparender Technologien bei der Kühlung bewirkte hier einen deutlichen Rückgang bei der Wassergewinnung.

Rund 73 % des gewonnenen Wassers, das sind 2,5 Mrd. m³, werden für Kühlzwecke im Kraftwerksbetrieb der Energiewirtschaft und im produzierenden Gewerbe verwendet.

Bei der Verteilung des Wassers durch Gemeinden und Zweckverbände kommt es zu Verlusten in Höhe von 6,8 % am gesamten Wasseraufkommen im Leitungsnetz, das sich aus der Abgabe an Letztverbraucher, der Abgabe an andere Wasserversorgungsunternehmen zur Weiterverteilung, den Verlusten und dem Wasserverbrauch zusammensetzt.

Die öffentliche Wasserversorgung gewinnt Wasser zum Großteil für die Nutzung als Trinkwasser durch die Endverbraucher. Mit knapp 70 % wird der überwiegende Anteil aus Grund- und Quellwasser gewonnen. Für Baden-Württemberg ergibt sich für das Jahr 2019 ein durchschnittlicher Verbrauch von 125 Litern (vorläufige Zahl) je Einwohnerin beziehungsweise Einwohner und Tag.

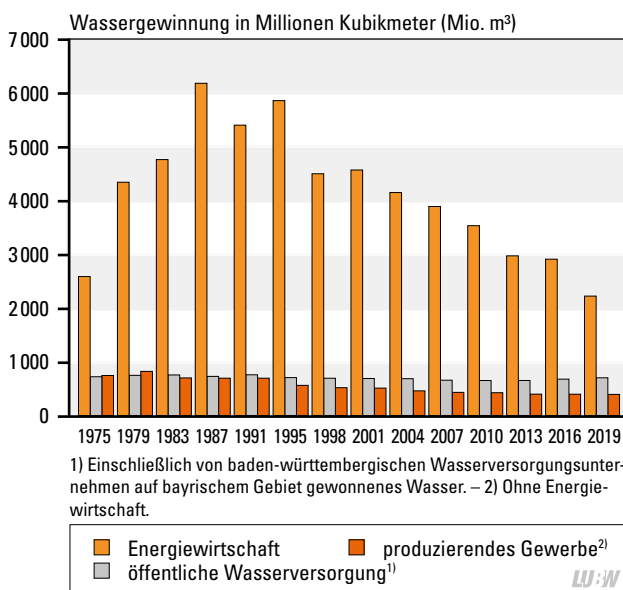


Abb. 1.2-6: Wassergewinnung in Baden-Württemberg. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand Sept. 2021.



Abb. 1.2-7: Wasserverwendung in Baden-Württemberg 2019. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand Sept. 2021.

1.3 Energieerzeugung und -verbrauch

Primärenergieverbrauch

Primärenergie ist die in verschiedenen Energieträgern wie Kohle, Uran oder Biomasse gespeicherte Energie. Aus physikalischen Gründen kann nur ein Teil der Primärenergie in nutzbare Endenergie umgewandelt werden. Im Jahr 2019 gingen so knapp 20 % der gewonnenen Primärenergie durch Umwandlungs- und Leitungsverluste verloren.

Von 1990 bis 2006 erfolgte eine Zunahme des Primärenergieverbrauchs (PEV) um 19,1 % von 397,1 Terawattstunden (TWh) auf 473,0 TWh. In den Folgejahren nahm der PEV ab und lag 2019 mit 391,1 TWh leicht unter dem Niveau von 1990.

Bei Betrachtung der Anteile der einzelnen Energieträger gab es in der Vergangenheit größere Verschiebungen: Beispielsweise ist der Anteil der Mineralöle am PEV gefallen, von 45,8 % (1990) auf 36,5 % (2019). Die Kernenergie erreichte im Jahr 1994 mit 27,6 % 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. Der Einsatz von Erdgas erhöhte sich. Dessen Anteil stieg von rund 13,0 % im Jahr 1990 auf 19,6 % im Jahr 2019. Durch die vor allem seit 2003 zunehmende Nutzung der erneuerbaren Energien Biomasse, Photovoltaik und Wind stieg deren Anteil am PEV von rund 2,0 % im Jahr 1990 auf 14,2 % im Jahr 2019. Der Anteil aller fossilen Energien am PEV sank im gleichen Zeitraum von 72 auf 65 %.

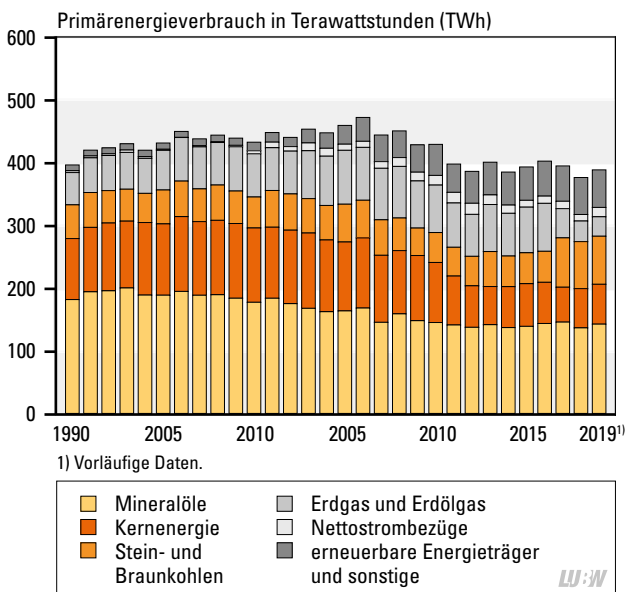


Abb. 1.3-1: Primärenergieverbrauch in Baden-Württemberg nach Energieträgern. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand 2021.

Primärenergie aus erneuerbaren Energieträgern

Die Nutzung erneuerbarer Energien ist ein wichtiger Baustein, um die Klimaschutzziele in Baden-Württemberg zu erreichen.

Im Jahr 2019 wurden in Baden-Württemberg 37,1 Terawattstunden (TWh) Biomasse als Primärenergie genutzt. Dies entspricht 66,9 % des Primärenergieverbrauchs (PEV) aus erneuerbaren Energien und 9,5 % am gesamten PEV. Den größten Anteil hat hierbei die Nutzung von Holz als Brennstoff. Die Wasserkraft mit 4,5 TWh hatte in 2019 einen Anteil von 1,2 % am gesamten PEV und 8,2 % am PEV aus erneuerbaren Energieträgern. Der PEV aus Solarenergie (Solarthermie und Photovoltaik) und Windkraft lag 2019 zusammen bei 10,0 TWh, was einem Anteil am gesamten PEV von 2,6 % und 18,1 % des PEV aus erneuerbaren Energien entspricht. Der Energieträger Wind trug in der Vergangenheit nur mit einem sehr geringen Anteil am PEV aus erneuerbaren Energien bei und lag im Jahr 2003 noch bei 1,2 %. Die Nutzung von Wind- als auch Solarenergie nahm jedoch in den letzten Jahren stetig zu. Geothermie und sonstige erneuerbare Energieträger spielen in Baden-Württemberg bislang nur eine untergeordnete Rolle.

Insgesamt ist die als Primärenergie genutzte erneuerbare Energiemenge in den Jahren 2003 bis 2019 von 19,9 TWh auf 55,4 TWh angestiegen, was mehr als einer Verdoppelung entspricht.

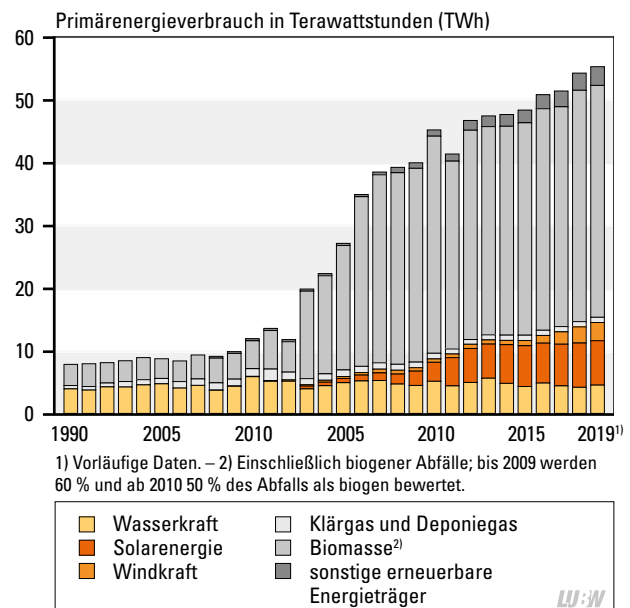


Abb. 1.3-2: Primärenergieverbrauch aus erneuerbaren Energieträgern in Baden-Württemberg. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand 2021.

Endenergieverbrauch – Anteile der Energieträger

Der Endenergieverbrauch (EEV) hat bis 2006 tendenziell zugenommen. Im Jahr 2006 erreichte er einen Höchstwert von 317,7 Terawattstunden (TWh). Gegenüber 1990 ist dies eine Zunahme um 17,1 %. Seit 2007 ist der EEV mit Schwankungen leicht rückläufig und lag im Jahr 2019 bei 294,0 TWh. 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 42,5 % (2019) ist neben der Steigerung der Energieeffizienz zu einem großen Teil der Umstellung auf andere Heizungssysteme geschuldet. Mit Heizöl betriebene Heizungen wurden zunehmend durch Gasheizungen, Holzfeuerungen und Fernwärme ersetzt. Im Zuge dieser Entwicklung ist der Erdgasanteil im gleichen Zeitraum von 15,5 auf 21,6 %, der Anteil von Biomasse von 0,8 auf 7,3 % und der Anteil von Fernwärme von 2,9 % auf 4,0 % gestiegen. Der Anteil des Stroms am EEV stieg von 20,2 % im Jahr 1990 auf 21,6 % im Jahr 2019.

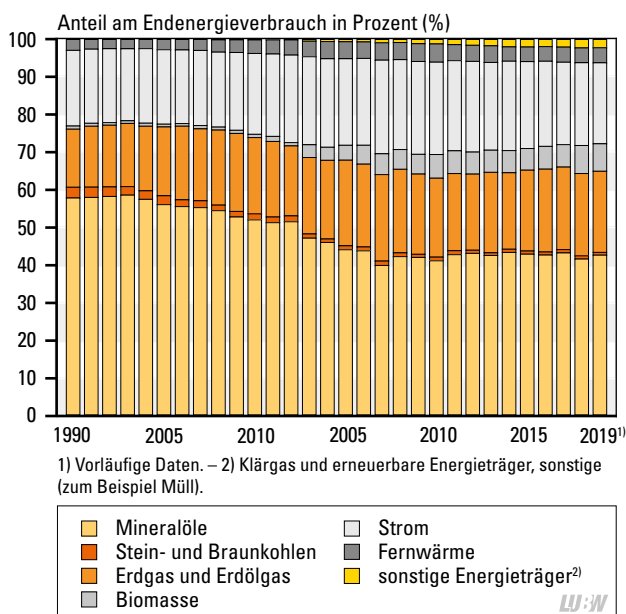


Abb. 1.3-3: Anteile der Energieträger am Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand 2021.

Endenergieverbrauch – Anteile der Verbrauchersektoren

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs (EEV) in den letzten Jahren ist von einer Zunahme des Verkehrs- und einer Abnahme des Industrieanteils gekennzeichnet. Der EEV des **Verkehrssektors** stieg in den Jahren 1990 bis 1999 von 80,0 Terawattstunden (TWh) auf 95,1 TWh an und sank in den Jahren 2000 bis 2009 wieder bis auf 83,5 TWh. Seit 2009 ist allerdings wieder ein leichter Anstieg festzustellen. Im Jahr 2019 lag er mit 92,3 TWh bei einem Anteil von 31,4 %. 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 andererseits durch die Tendenz zu immer größeren, schwereren und leistungsstärkeren und damit mehr Kraftstoff verbrauchenden Fahrzeugen überkompensiert.

Der EEV der **Industrie** ist in den Jahren 1990 bis 1999 von 67,4 auf 58,4 TWh gefallen. Seit 2000 bewegt er sich in einer Bandbreite zwischen 59,5 und 70,6 TWh. Im Jahr 2019 lag er mit 60,1 TWh bei einem Anteil von 20,4 %. Der EEV in der Industrie wird im Wesentlichen von der Wirtschaftslage beeinflusst. Zunehmende Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen verringern hier den EEV.

Der Anteil der **Haushalte und Kleinverbraucher** am EEV unterliegt vor allem witterungsbedingten Schwankungen. Im Jahr 2019 lag der EEV dieses Sektors mit 141,6 TWh bei einem Anteil von 48,2 %. Die Zahlen des Sektors Haushalte und Kleinverbraucher lassen noch ein erhebliches Einsparpotenzial in diesen Sektoren vermuten.

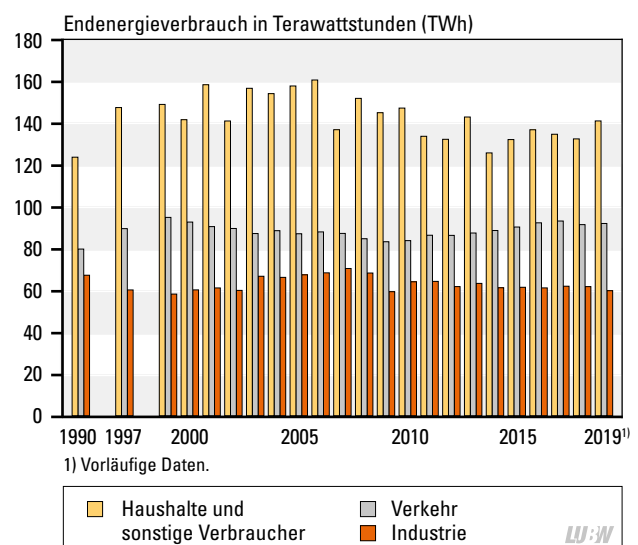


Abb. 1.3-4: Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg nach Verbrauchergruppen. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand 2021.

Stromerzeugung

Zur Stromerzeugung in Baden-Württemberg werden fossile Energieträger, Kernenergie sowie erneuerbare Energien (EE) genutzt. 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. Die Landesregierung von Baden-Württemberg verfolgt das Ziel, die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 65 % zu verringern, bis 2040 soll Baden-Württemberg netto-treibhausneutral sein [LT-Drs. 17/521].

Die Abschaltung der Kernkraftwerksblöcke Philippsburg (KKP1) und Neckarwestheim (GKN1) zum 16. März 2011 wirkte sich erkennbar auf die durch Kernkraftwerke erzeugte Leistung aus. Ende 2019 wurde auch der Kernreaktor Philippsburg (KKP2) abgeschaltet, und Neckarwestheim (GKN2) wird spätestens Ende 2022 vom Netz genommen, sodass die Stromerzeugung über Kernkraftwerke ab diesem Zeitpunkt ganz wegfallen wird.

Im Jahr 2019 wurden in Baden-Württemberg 57,2 Terawattstunden (TWh) Strom erzeugt. Dabei kamen 36,8 % Kernenergie und 27,7 % fossile Energieträger (Steinkohle, Heizöl, Erdgas) zum Einsatz. Der Anteil der erneuerbaren Energieträger erhöhte sich von 7,4 % im Jahr 2003 auf 31,0 % im Jahr 2019. Sonstige Energieträger spielen nur eine untergeordnete Rolle.

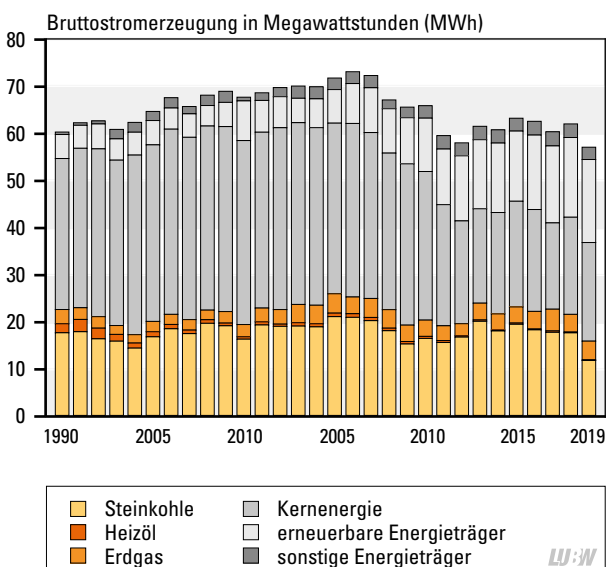


Abb. 1.3-5: Stromerzeugung in Baden-Württemberg. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand Dez. 2020.

Strom aus erneuerbaren Energieträgern

Im Jahr 2019 stammte die in Baden-Württemberg erzeugte Strommenge (Bruttostromerzeugung) zu 7,9 % aus Wasserkraft, zu 8,4 % aus Biomasse, zu 5,1 % aus Windkraft und zu 9,2 % aus Photovoltaikanlagen. Gegenüber 2010 stieg die aus diesen Quellen gewonnene Strommenge um 55,9 % auf 17,7 Terawattstunden (TWh). Unter den erneuerbaren Energieträgern hat die Stromerzeugung aus Photovoltaik mit 29,9 % den größten Anteil, knapp gefolgt von Biomasse mit 27,0 % und Wasserkraft mit 25,5 %. Die Stromerzeugung aus Windkraft lag bei 16,4 %.

Ersten Abschätzungen zufolge lag der Anteil der Windenergie an der Stromerzeugung in Baden-Württemberg im Jahr 2020 bei 6,8 % [UM 2021]. Das Ziel der Landesregierung, bis 2020 den Anteil der Windenergie an der Stromversorgung auf 10 % zu erhöhen, wurde unter anderem aufgrund veränderter Rahmenbedingungen nicht erreicht. Auch das neue Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2020 lässt hier keine Trendwende erwarten.

Nur bei der Wasserkraft ging die produzierte Strommenge in den letzten Jahren leicht zurück. Für große Wasserkraftwerke ist das Ausbaupotenzial in Baden-Württemberg nahezu erschöpft. Auch die Ausbaumöglichkeiten für kleinere Wasserkraftwerke, die in der Summe nur einen kleinen Beitrag zur Stromerzeugung liefern können, sind sehr begrenzt.

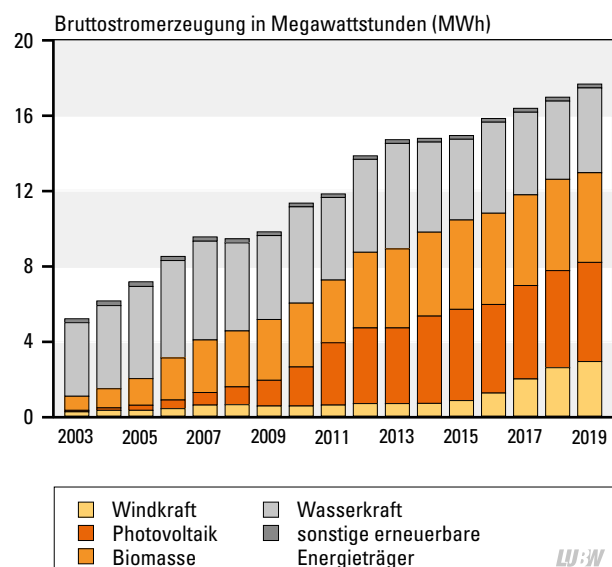


Abb. 1.3-6: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern in Baden-Württemberg. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand Dez. 2020.

Windenergieanlagen in Baden-Württemberg

Die Energieversorgung mit erneuerbarer Energie und insbesondere der Ausbau der Windenergie sind zentrale Ziele der Landesregierung im Rahmen der Energiewende. Der Ausbau der Windenergie in Baden-Württemberg verlief in den letzten Jahren nur sehr schleppend. Wurden in den Jahren 2015 bis 2017 insgesamt noch fast 300 Windenergieanlagen in Betrieb genommen, so lagen in den darauffolgenden Jahren die Ausbauzahlen weit darunter. Außerdem ist zu beachten, dass inzwischen immer mehr ältere Windenergieanlagen, deren Förderung ausläuft, außer Betrieb genommen werden.

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 145,5 MW und 120 Anlagen mit 334,9 MW in 2016. Im Jahr 2017 kamen nochmals 123 Anlagen mit einer installierten Leistung von 388,8 MW hinzu. Ende 2017 waren in Baden-Württemberg 686 Windenergieanlagen mit einer installierten Leistung von insgesamt 1420,5 MW in Betrieb.

Unter anderem aufgrund der Regelungen im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2017 ist der Ausbau der Windenergie seit 2018 stark zurückgegangen. So wurden 2019 nur acht Anlagen mit 26,1 MW und 2020 nur neun Anlagen mit 29,4 MW zugebaut. Ende 2020 waren somit 731 Windenergieanlagen mit einer installierten Leistung von 1579,4 MW am Netz.

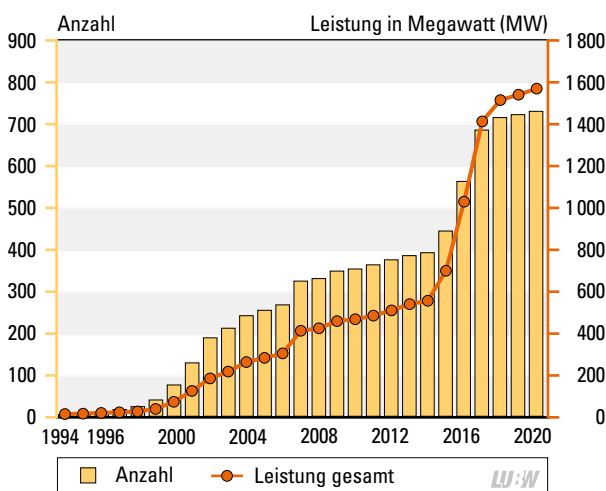


Abb. 1.3-7: Anzahl der Windenergieanlagen und installierte Leistung in Baden-Württemberg. Quelle LUBW, Stand 2021.

Wärme aus erneuerbaren Energien

Wärme wird größtenteils in den drei Endverbrauchssektoren „private Haushalte“, „Industrie“ sowie „Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD)“ direkt erzeugt und verbraucht.

In den privaten Haushalten werden über 90 % der Endenergie für Wärmeanwendungen aufgewendet. Hierbei entfallen allein rund zwei Drittel auf den raumwärmebedingten Endenergieverbrauch, der stark von der Witterung abhängt und daher größeren Schwankungen unterworfen ist [UBA 2020]. Seit 2000 ist in Baden-Württemberg der Endenergieverbrauch privater Haushalte für Raumwärme und Warmwasserbereitung, bezogen auf 100 Quadratmeter (m²) Wohnfläche, um etwa ein Viertel gesunken. Im Jahr 2019 wurden pro 100 m² 54 Gigajoule (temperaturbereinigt) verbraucht, etwa 1,4 % mehr als im Vorjahr.

Nach dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) des Bundes muss seit dem 1. Januar 2009 die Wärmeversorgung aller neuen Wohn- und Nichtwohngebäude zu einem bestimmten Prozentanteil (je nach gewählter Technologie) durch erneuerbare Energien gedeckt werden, oder es muss eine sogenannte Ersatzmaßnahme realisiert werden. Im Jahr 2019 lag der Anteil der regenerativ erzeugten Heizenergie in Neubauten bei 69 %, Heizöl spielt mit nur noch 1 % keine Rolle mehr.

Weitere Informationen sind im Monitoringbericht der Energiewende in Baden-Württemberg zusammengefasst.

um.baden-wuerttemberg.de > service > publikationen >

Monitoring der Energiewende in Baden-Württemberg: Statusbericht 2020

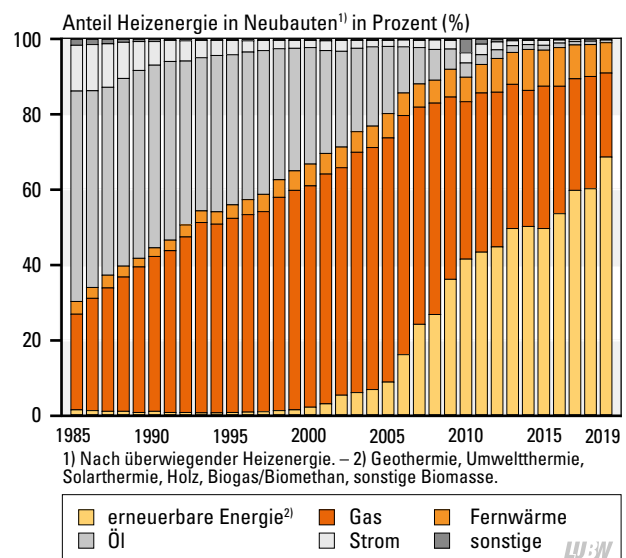


Abb. 1.3-8: Heizenergie in Neubauten nach überwiegender Heizenergie in Baden-Württemberg. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand Feb. 2021.

Energieatlas Baden-Württemberg

Der Energieatlas Baden-Württemberg ist das gemeinsame Internetportal der LUBW und des Umweltministeriums zum Thema erneuerbare Energien in Baden-Württemberg. Er bietet Daten und Karten zum Anlagenbestand und dem Potenzial erneuerbarer Praxisbeispiele bietet er zudem Beispiele zum Nachahmen anregen. Neben mit Suchfunktion stehen Hintergrund- zu den Berechnungsverfahren zur Ver- Verwaltung, Forschung und Wirtschaft im Erweiterten Daten- und Karten- und Auswertemöglichkeiten zur Ver- Möglichkeit, die zahlreichen Daten zu zu exportieren. Der Energieatlas Baden-Württemberg ist ein Informationsportal und stellt kein Planungswerkzeug dar. Lokale, kommunale und regionale Planungen können durch ihn nicht ersetzt werden. Ziel ist es, auf anschauliche Weise über den aktuellen Datenstand zu informieren.



Energien. Über den Themenbereich spiele effizienter Energieverwendung, einem Einstieg in anschauliche Karten informationen zum Datenstand oder führung. Für Bürgerinnen und Bürger, mit weitergehendem Interesse stehen angebot zusätzliche Informationen führung. Hier besteht außerdem die überlagern oder für eigene Analysen

Praxisbeispiele Bioenergiedörfer Einzelprojekte und Smart Grids

Solarenergie
Nutzung und Potenziale



Wasserbauwerke
Wasserkraftpotenzial



Windatlas
Anlagen und
Potenziale



**Verteilnetz-
betreiber**
Netzausbau-
planung



Biomassefeuerungsanlagen
Biomethaneinspeiseanlagen

Wärmebedarf von Wohngebäuden
Wärmenetze

Bildquellen: Glühbirne: Csaba Deli/123rf.com; Photovoltaikmodule: Mariusz Blach/123rf.com; brennendes Holz: Xiong Xunqiang/123rf.com; Holzscheite: atosan/123rf.com; Wasserfall: Vaclav Volrab/123rf.com; Strommasten: meinzahn/123rf.com; Windenergieanlagen: Wajan/123rf.com.

1.4 Umweltschutz in Wirtschaft und Kommune

Umweltschutzinvestitionen

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

- **Additive Maßnahmen** sind meist zusätzliche an den Produktionsprozess angefügte Anlagenteile wie Filteranlagen für Abluft oder Abwasser.
- **Integrierte Maßnahmen** lassen sich nicht vom Produktionsprozess trennen. Sie dienen in der Regel dem vorsorgenden Umweltschutz. Hierzu zählt beispielsweise die Nutzung von Restwärme. Der finanzielle Aufwand, der tatsächlich dem Umweltschutz zuzuordnen ist, lässt sich hierbei meist nicht exakt beziffern.

2019 lagen die Umweltschutzinvestitionen des produzierenden Gewerbes in Baden-Württemberg bei etwa 1,3 Milliarden (Mrd.) Euro. Dies entspricht einem Gesamtzuwachs um 56 Millionen Euro. Somit lagen die Investitionen bereits im zweiten Jahr in Folge über 1 Mrd. Euro. Mit einem Anteil von 33 % an den Gesamtinvestitionen im Umweltbereich stellen Klimaschutzinvestitionen weiterhin den bedeutendsten Bereich der Umweltschutzinvestitionen dar. Die Sektoren Abfall- und Abwasserwirtschaft machen zusammen 57 % der Investitionen aus.

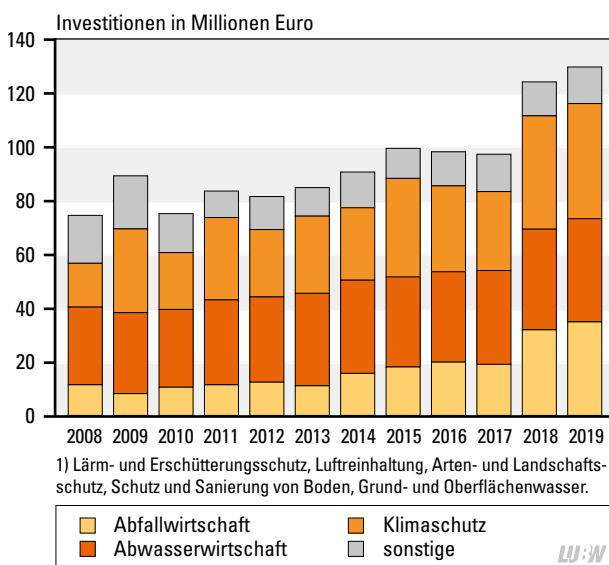


Abb. 1.4-1: Umweltschutzinvestitionen im produzierenden Gewerbe in BW. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand Jan. 2020.

Wirtschaftsfaktor Umweltschutz

Die Umsätze, die Betriebe in Baden-Württemberg mit Waren, Bau- und Dienstleistungen nach § 12 Umweltstatistikgesetz (UStatG) für den Umweltschutz erwirtschaften, beliefen sich im Jahr 2018 auf etwa 11,8 Milliarden (Mrd.) Euro und lagen damit etwa 6 % (-0,74 Mrd. Euro) niedriger als im Vorjahr. Mit 24,5 % an den Gesamtumsätzen von Betrieben, die Waren-, Bau- und Dienstleistungen erbringen, lag der Anteil der Umsätze mit Umweltschutzgütern auf einem neuen Tiefstand. Etwa 87 % aller Umsätze der Umweltbranche entfielen auf das verarbeitende Gewerbe inklusive der Gewinnung von Steinen und Erden. Gegenüber dem Vorjahr war allerdings ein Rückgang von etwa 8,5 % auf 10,2 Mrd. Euro im Jahr 2018 zu verzeichnen. Mit 5,1 Mrd. Euro Umsatz war der Maschinenbau der umsatzstärkste Wirtschaftszweig des verarbeitenden Gewerbes. Einen Anstieg auf etwa 728 Millionen (Mio.) Euro (plus 12 % zu 2017) verzeichneten die Dienstleistungen im Bereich des Umweltschutzes. Im Baugewerbe stiegen die Umsätze im Umweltschutzbereich 2018 auf etwa 844 Mio. Euro.

In den Umweltbereichen dominierte der Klimaschutz trotz eines Umsatzrückganges um 721 Mio. Euro. Mit 4,5 Mrd. Euro machten energieeffiziente Antriebs- und Steuerungstechnik und die Nutzung erneuerbarer Energien im Jahr 2018 38 % am Gesamtumweltumsatz aus. Umsätze in der Abwasser-, der Abfallwirtschaft, der Luftreinhaltung und der Lärmbekämpfung blieben hingegen in etwa konstant.

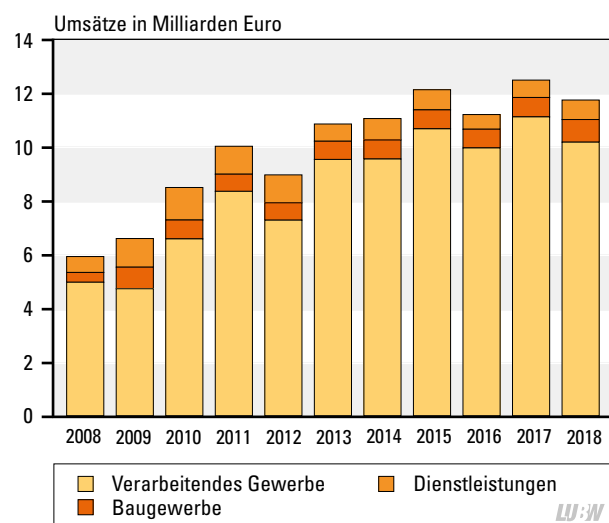


Abb. 1.4-2: Umsätze der Betriebe mit Waren, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz in BW. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand Jun. 2021.

Betriebliches Umweltmanagement

Zur Verankerung des Umweltschutzes in Unternehmen gibt es verschiedene Managementsysteme und Ansätze:

Seit über 25 Jahren ist **EMAS** (Eco Management and Audit Scheme) ein anerkannter Standard auf europäischer Ebene für Umweltmanagement. Die EMAS-Teilnehmerzahlen sind bundesweit und auch in Baden-Württemberg rückläufig. Im Ländervergleich verzeichnet Baden-Württemberg jedoch weiterhin die höchsten Teilnehmerzahlen, was auch ein Ergebnis von Förderprogrammen ist.

Die **ISO 14001** ist ein weltweit gültiger zertifizierbarer Umweltmanagementstandard privatrechtlicher Natur. Belastbare Daten für die einzelnen Bundesländer liegen nicht vor, da es für die ISO-Zertifikate keine gemeinsame Registrierung gibt.

Die **ISO 50001** ist eine weltweit gültige Norm für Energiemanagementsysteme. Auch hier gibt es keine gemeinsame Registrierung, sodass für die einzelnen Bundesländer keine aussagekräftigen Daten vorliegen.

Das Förderprogramm **ECOfit Baden-Württemberg** wendet sich als Einstiegsprogramm an Betriebe, die sich erstmalig systematisch mit dem Umweltmanagement auseinandersetzen möchten. Durch konkrete Maßnahmen in den Bereichen Energieeinsparung, Abfallmanagement, Wassereinsatz und Luftreinhaltung werden Kosteneinsparungen aufgezeigt.

Die **WIN-Charta Baden-Württemberg** ist ein Nachhaltigkeitsmanagementsystem speziell für kleine und mittlere Unternehmen. Diese freiwillige Selbstverpflichtung zielt darauf ab, den Nachhaltigkeitsgedanken in allen Branchen der Wirtschaft zu verbreiten und zu verankern.

Mit dem **Klimabündnis Baden-Württemberg** werden zwischen Land und klimaengagierten Unternehmen Unternehmensziele für zehn Jahre festgehalten und mit einem 5-Jahres-Zwischenziel sowie Maßnahmen konkretisiert. Am 7. Oktober 2020 wurde das Klimabündnis eingeführt, inzwischen sind 23 Unternehmen dem Klimabündnis beigetreten.

Tab. 1.4-1: Managementsysteme und Ansätze zur Verankerung des betrieblichen Umweltschutzes.

| | Betriebe / Zertifikate 2021 | |
|---------------------------------------|-----------------------------|-------------|
| | Baden-Württemberg | Deutschland |
| EMAS (Betriebe) ¹⁾ | 337 | 1 113 |
| ISO 14001 (Zertifikate) ²⁾ | keine Daten | 8 465 |
| ISO 50001 (Zertifikate) ²⁾ | keine Daten | 5 786 |
| ECOfit (Betriebe) ³⁾ | 505 | — |
| WIN-Charta (Betriebe) ³⁾ | 240 | — |

1) Quelle DIHK, Stand: Jul. 2021. – 2) Quelle ISO International Organization for Standardization, Stand Dez. 2019. – 3) Quelle Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Stand Jul. 2021.

Umwelt- und Energiemanagement der Landesverwaltung

Auch die Landesverwaltung stellt sich den Anforderungen des betrieblichen Umweltschutzes. Innerhalb der Zielsetzung, die Landesverwaltung bis zum Jahr 2030 klimaneutral zu organisieren, ist die Öko-Auditierung ein zentraler Baustein. In Konvois wurde in allen Ministerien sowie einigen nachgeordneten Behörden ein Energiemanagement eingeführt und nach ISO 50001 zertifiziert. Teilweise wurden die Energiemanagementsysteme in Richtung Umweltmanagement nach ISO 14001 ausgedehnt. Über entsprechende Ziele und umgesetzte Maßnahmen in diesen Bereichen informieren die Ministerien im übergreifenden Berichtsteil des Nachhaltigkeitsberichts der Landesregierung.

www.nachhaltigkeitsstrategie.de > Strategie > Landesverwaltung > Nachhaltigkeitsberichte

Der zweite Fortschrittsbericht zur CO₂-Bilanz 2010 bis 2018 nach dem Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg zeigt, dass rund 82 % der Emissionen durch den Energieeinsatz in den Landesliegenschaften verursacht werden. Nach den seit dem Jahr 2010 erhobenen CO₂-Bilanzdaten haben sich die Treibhausgasemissionen der Landesverwaltung insgesamt rückläufig entwickelt.

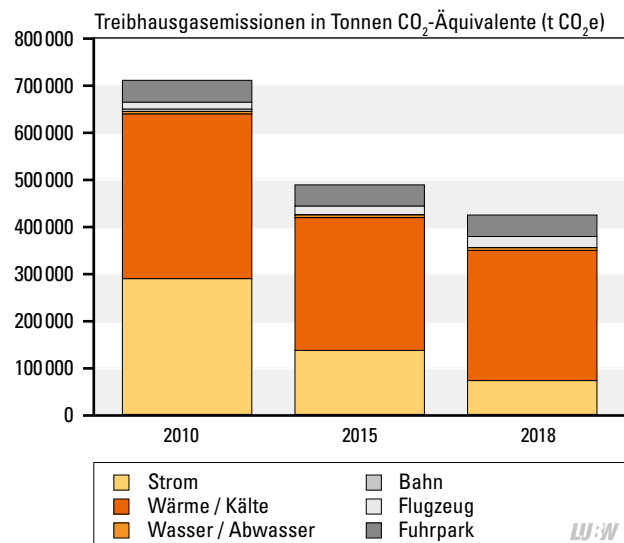


Abb. 1.4-3: Treibhausgasemissionen der Landesverwaltung nach Sektoren. Quelle Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Stand Apr. 2020.

Nachhaltigkeitsaktivitäten in Kommunen und kommunaler Klimaschutz

Kommunen engagieren sich in Baden-Württemberg aktiv für eine nachhaltige Entwicklung. Im „**Nachhaltigkeitsatlas**“ Baden-Württemberg sind 152 Kommunen und ihre Aktivitäten im Bereich der Nachhaltigkeit erfasst (Stand Januar 2021). Direkt zugänglich ist so eine Übersicht von Kommunen zu Nachhaltigkeitsbausteinen wie Klimaschutzkonzepten, Indikatoren, nachhaltiger Beschaffung oder Verfahren zur Bürgerbeteiligung zu einer nachhaltigen Kommunalentwicklung.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > nachhaltigkeitsatlas

Beratungen zur nachhaltigen Kommunalentwicklung werden durch das **Nachhaltigkeitsbüro** (N!-Büro) der LUBW unterstützt. In den Jahren 2018 bis 2020 konnten insgesamt 22 Beratungen unterstützt werden. Durch die „**Schulungsoffensive nachhaltige Beschaffung für die öffentliche Verwaltung**“ konnten von der Auftaktveranstaltung 2018 bis Ende 2020 mehr als 700 Teilnehmerinnen und Teilnehmer durch Veranstaltungsformate wie regionale Beschaffungstage und Vertiefungsschulungen erreicht werden. Seit 2020 werden auch Vor-Ort-Schulungen in Kommunen oder Institutionen angeboten. Zusammen mit der Initiative Pro Recyclingpapier zeichnet das N!-Büro Kommunen mit weniger als 50 000 Einwohnerinnen und Einwohnern aus, die durch die Beschaffung von Recyclingpapier einen Beitrag zur nachhaltigen Beschaffung leisten.

Seit 2018 (Stand April 2021) haben sich 42 Kommunen an der Auszeichnung als **Recyclingpapierfreundliche Kommunen** beteiligt.

Für Aktivitäten zur Förderung des fairen Handels können sich Kommunen als „**Fairtrade-Towns**“ auszeichnen lassen. 2021 trugen bereits 128 Städte und Gemeinden in Baden-Württemberg, über 30 mehr als noch 2018, dieses Siegel [TRANSFAIR E.V. 2021].

Klimaschutzkonzepte können nach dem vom Land geförderten **European Energy Award** (eea) zertifiziert werden. 119 Gemeinden und Städte sowie 24 Landkreise nahmen bis Frühjahr 2021 am eea teil (Stand 06.04.2021). 35 Stadt- und Landkreise haben bisher mindestens einmal am Wettbewerb **Leitstern Energieeffizienz** Baden-Württemberg teilgenommen, mit dem Kreise für besonderes Engagement im Bereich Energieeffizienz ausgezeichnet werden [UM 2020b].

Mit dem 2015 geschlossenen und für 2020 und 2021 bereits zum zweiten Mal verlängerten „**Klimaschutzpakt**“ bekennen sich die Landesregierung und kommunale Landesverbände zur Vorbildwirkung der öffentlichen Hand beim Klimaschutz und zu den Zielen des Klimaschutzgesetzes. Der aktuelle Klimaschutzpakt umfasst ein Volumen von etwa 27 Millionen (Mio) Euro [UM 2020b]. Bereits 401 Kommunen unterstützen den Klimaschutzpakt und profitieren so auch von erhöhten Förderquoten im Rahmen der Förderprogramme Klimaschutz-Plus und KLIMOPASS [UM 2021b]. Mit dem Förderprogramm „**Klimaschutz-Plus**“ unterstützt das Land die kommunale Vorbildfunktion. Seit 2002 konnten etwa 1,2 Milliarden (Mrd.) Euro an Gesamtinvestitionen angestoßen werden und eine Reduktion des Kohlendioxid ausstoßes um mehr als 4,3 Mio. Tonnen pro Jahr erreicht werden. Kommunale Klimaschutzkonzepte waren 2019 in 387 Städten, Gemeinden und Landkreisen im Baden-Württemberg etabliert [UM 2020b]. Im Netzwerk der Klima- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH waren Stand April 2021 107 Kommunen gemeldet, die eine Klimaschutzmanagerin, einen Klimaschutzmanager oder mindestens eine für den Bereich Klimaschutz zuständige Person beschäftigen [KEA 2021].

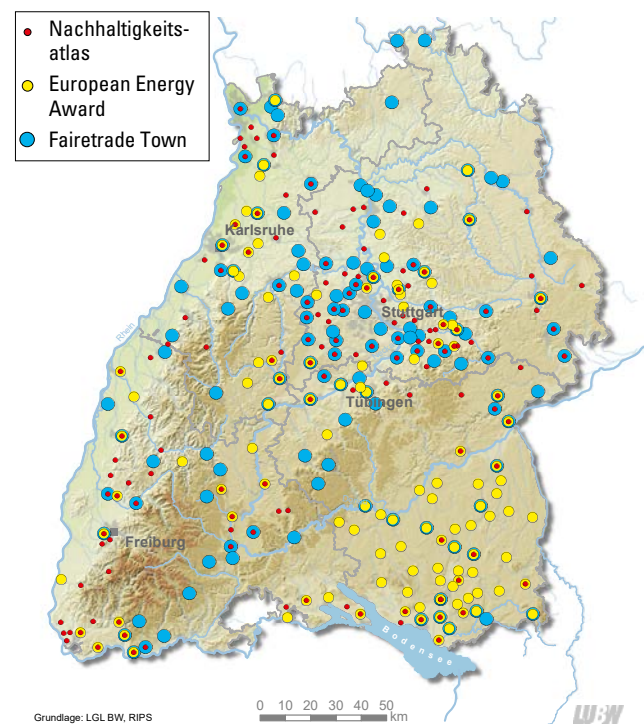


Abb. 1.4-4: Kommunen im Nachhaltigkeitsatlas, Fairtrade Towns und mit eea-Zertifikat. Quelle LUBW, Stand Mrz. 2021.

Zivilgesellschaftliches Engagement

Die LUBW unterstützt die Durchführung von **Nachhaltigkeits- und Klimawerkstätten** oder die Bildung von **Klimaschutzarbeitskreisen** in Kommunen und Landkreisen. Diese Werkstätten bringen Akteurinnen und Akteure aus Bevölkerung und Verwaltung zusammen. Diese finanzielle Unterstützung zur Initiierung oder Wiederaufnahme lokaler Projekte oder Initiativen zur nachhaltigen Entwicklung wurde in den Jahren 2018 bis 2020 für 23 Werkstätten bewilligt.

Im **Landesnetzwerk Ehrenamtlicher Energieinitiativen (LEE)** vernetzen sich Energiegenossenschaften, Vereine und Initiativen für erneuerbare Energien. Die Zahl der Energiegenossenschaften liegt bei rund 150. Gemeinnützige Initiativen, die einen Beitrag zur **Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE)** leisten, können durch das Programm des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft „Förderung beispielhafter Projekte für eine Bildung für nachhaltige Entwicklung“ unterstützt werden. Seit 2011 wurde die BNE Förderung 11-Mal ausgeschrieben. Seither konnten insgesamt 100 Projekte (Stand Januar 2021) bewilligt und mit einem Fördervolumen von 1.585.819 Euro erfolgreich durchgeführt werden.

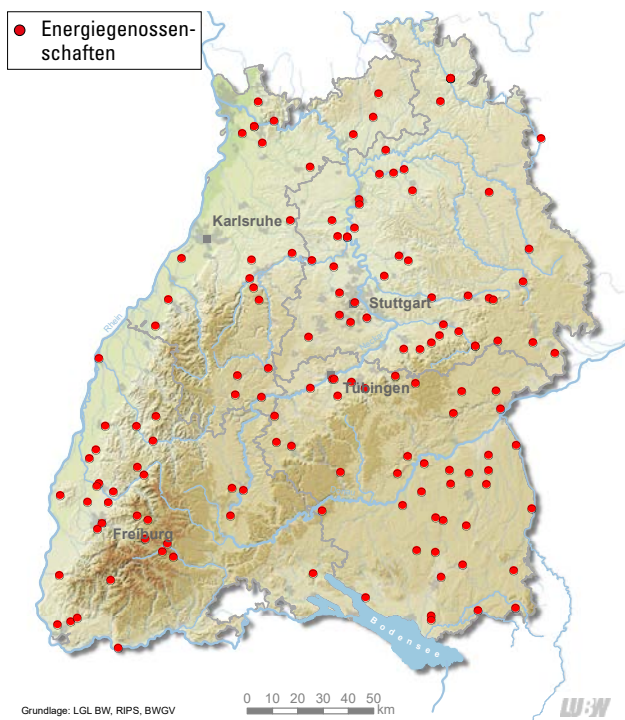


Abb. 1.4-5: Energiegenossenschaften in Baden-Württemberg. Quelle BWGV, Stand Mrz. 2021.

Regionale Netzstelle Nachhaltigkeitsstrategien – RENN.süd

RENN.süd (Regionale Netzstelle Nachhaltigkeitsstrategien) wurde auf Empfehlung des Rates für Nachhaltige Entwicklung 2016 ins Leben gerufen. Als eine von vier bundesweiten Netzstellen hat RENN.süd die Vernetzung und Unterstützung zivilgesellschaftlicher Aktivitäten im Bereich der nachhaltigen Entwicklung zum Ziel. Angesiedelt ist RENN.süd beim Nachhaltigkeitsbüro der LUBW in Karlsruhe und beim Landesnetzwerk Bürgerschaftliches Engagement (LBE) Bayern e.V. in Nürnberg. Themenschwerpunkte sind nachhaltiger Konsum, Ressourcenschonung, Kommune als Aktionsraum und nachhaltiges Wirtschaften. Von 2017 bis 2020 fanden insgesamt 25 RENN.süd-Veranstaltungen und 124 Kooperationsveranstaltungen mit Initiativen aus Baden-Württemberg statt. Darüber hinaus stärkt RENN.süd mit eigenen Projekten die Transformation hin zur Nachhaltigkeit. Das Projekt Nachhaltigkeit zeichnet jährlich 10 Projekte und ein Transformationsprojekt in Baden-Württemberg und Bayern aus. Mit dem Werkzeugkasten des Wandels wurde 2020 ein Ideenportal geschaffen, in dem sich inzwischen über 130 Projekte und Initiativen aus der Praxis präsentieren, die aufzeigen, wie der gesellschaftliche Wandel hin zu mehr Nachhaltigkeit gemeinsam gelingen kann. Zudem betreibt RENN.süd das Portal „Nachhaltiger Warenkorb“, eine Plattform für umweltbewussten und sozialen Konsum.



Abb. 1.4-6: Teilnehmende des RENN.süd-Forums im Austausch. Foto: RENN.süd/Boris Stöbe.

RENN.süd Aktivitäten

Ideenportal „Werkzeugkasten des Wandels“

Das Ideenportal bietet Impulse, Inspiration und konkrete Werkzeuge für Akteurinnen und Akteure aus der Zivilgesellschaft und aus Kommunen. Hintergrundinformationen und konkrete Projektbeispiele aus den Bereichen

- Nachhaltigkeit umfassend gestalten,
 - Handlungsfelder des Wandels,
 - Werkzeuge des Wandels und
 - kommunale Nachhaltigkeitsstrategien
- sollen zur Gestaltung, zum Mitmachen und Weiterdenken anregen.



www.werkzeugkasten-wandel.de/



<https://www.nachhaltiger-warenkorb.de/>

Der Nachhaltige Warenkorb – Ratgeber für umweltbewussten und sozialen Konsum

Das Portal informiert unter anderem zu

- Lebensmittel,
- Reisen und Mobilität,
- Wohnen und Bauen,
- Haushalt und Elektronik sowie
- Mode und Kosmetik.

Der Nachhaltige Warenkorb enthält außerdem unabhängige Informationen über Siegel und Produktbezeichnungen. Neben der Website gibt zehn themenspezifische Flyer und ein Aktionsspiel.

DEAB – Praxisworkshopreihe

Die jährlich stattfindenden Praxisworkshops richten sich an zivilgesellschaftliche Akteure und Akteurinnen in Baden-Württemberg, die sich in den Bereichen „Eine Welt“ und „Nachhaltigkeit“ engagieren. Veranstaltet wird die Reihe mit unterschiedlichen Workshopformaten von RENN.süd und dem DEAB – Dachverband Entwicklungspolitik Baden-Württemberg in Kooperation mit der Stiftung Entwicklungs-Zusammenarbeit Baden-Württemberg (SEZ), dem BUND und der Allianz für Beteiligung.

www.renn-netzwerk.de >
 RENN Süd >
 Veranstaltungen >
 Praxisworkshops aus den Bereichen
 Eine Welt und Nachhaltigkeit



1.5 Nachhaltige Mobilität

Schadstoffemissionen von Kraftfahrzeugen

Wie unser Mobilitätsbedürfnis nachhaltiger gestaltet werden kann, ist Gegenstand einer intensiven politischen und gesellschaftlichen Debatte. Das derzeitige Mobilitätsverhalten hat massive und unerwünschte Auswirkungen auf Mensch und Umwelt – als Beispiele seien Lärm- und Luftbelastung, der Beitrag des Verkehrssektors zum Klimawandel sowie der hohe Flächenbedarf des Verkehrs genannt.

Angesichts der Debatte und der weiterhin großen Herausforderungen werden die bislang erzielten Erfolge hin zu einer nachhaltigeren Mobilität oft nicht wahrgenommen. Beispielsweise sind hinsichtlich der Kfz-bedingten Luftschadstoffemissionen in den letzten Jahren und Jahrzehnten enorme Erfolge erzielt worden – so sind die Emissionen von Stickoxiden (NO_x) neuer Otto-Fahrzeuge (Benziner) schon in den 1990er-Jahren deutlich zurückgegangen, und Gleiches hat sich in den 2010er-Jahren bei den Diesel-Pkw wiederholt. Auch die Partikelemissionen von Dieselmotoren konnten massiv reduziert werden. Da der Verkehr einer der wichtigsten Verursacher dieser Schadstoffe ist, haben die erreichten Emissionsminderungen zu einem starken Rückgang der Luftschadstoffbelastungen in den Städten Baden-Württembergs geführt. Die Emissionsrückgänge sind jeweils auf eine strengere Abgasgesetzgebung zurückzuführen. Zukünftige Herausforderungen im Bereich der nachhaltigen Mobilität betreffen insbesondere die Minderung der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen.

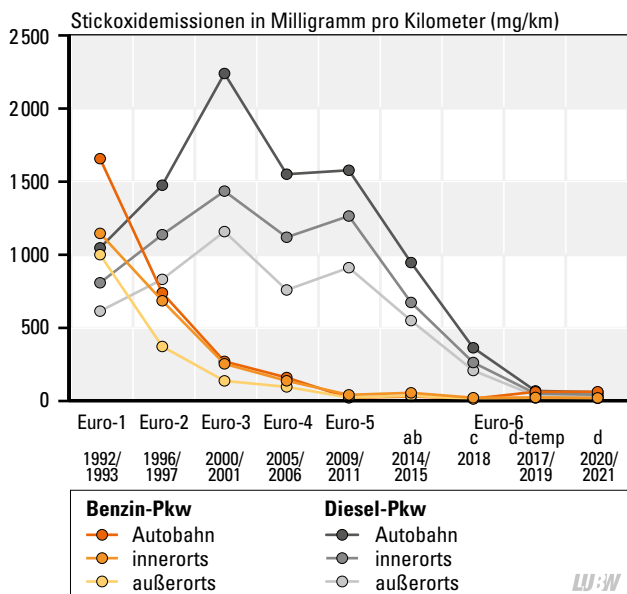


Abb. 1.5-1: Stickoxidemissionen von Pkw. Quelle HBEFA 4.1, Stand 2021.

Fahrzeuge mit alternativem Antrieb

In Baden-Württemberg waren zum 1. Januar 2020 etwa 8,2 Millionen Kraftfahrzeuge zugelassen, rund vier Fünftel davon Personenkraftwagen (Pkw). Pro Jahr kommen, grob geschätzt, etwa 100 000 Pkw dazu. Dabei wird der weitaus größte Teil der Pkw nach wie vor von Diesel- oder Benzinmotoren angetrieben. Nur einer von 43 Pkw verfügt über einen alternativen Antrieb wie Elektroantrieb, Gas oder Hybrid.

Allerdings ist die Zahl der neu zugelassenen Pkw mit Hybrid- oder Elektroantrieb zuletzt stark angestiegen: Im ersten Quartal 2021 verfügte bereits jeder zehnte neu zugelassene Pkw über einen Elektromotor im Antriebsstrang. Die Landesregierung hat sich das Ziel gesetzt, dass bis 2030 2 Millionen Elektro-Pkws auf den Straßen Baden-Württembergs unterwegs sein sollen.

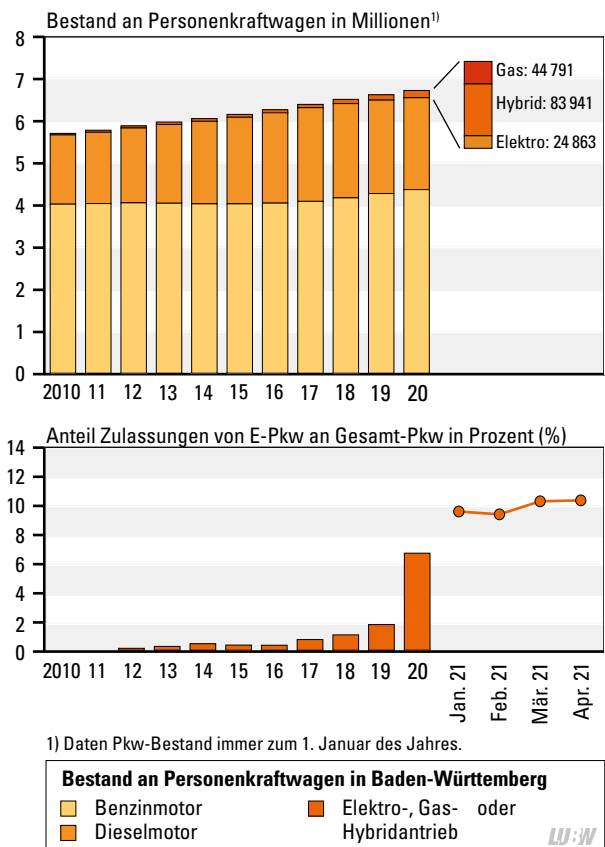


Abb. 1.5-2: Bestand und Entwicklung der Zulassungszahlen von Pkw. Quelle Kraftfahrt-Bundesamt, Stand Dez. 2020.

Auswirkungen der Corona-Beschränkungen auf die Verkehrsstärken im Jahr 2020

Im Jahr 2020 wurden durch die LUBW an zehn Verkehrs- und Spotmessstellen in Baden-Württemberg Verkehrszählungen vorgenommen. Die Messungen finden ergänzend zu den landesweiten Straßenverkehrszählungen der Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg in direkter Nähe der Luftmessstellen statt, um Auswirkungen von verkehrsbeeinflussenden Maßnahmen auf die Verkehrskenngrößen unmittelbar beurteilen zu können. Die gemessenen Daten dienen auch als Eingangsgrößen für weitere Untersuchungen im Umfeld der Verkehrs- und Spotmessstellen, beispielsweise zur Bestimmung der Verkehrszustände und daraus resultierender Emissionen.

An den von der LUBW eingerichteten Verkehrszähleinrichtungen wurden von 2019 auf 2020 Abnahmen der **durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV)** je nach Standort zwischen 9 % und 20 % festgestellt. Der Rückgang der DTV an den innerorts liegenden Messstellen liegt damit zum Teil etwas über dem im Rahmen der landesweiten Straßenverkehrszählungen außerorts festgestellten Rückgang von 15 % auf Bundes- und 15,9 % auf Landesstraßen.

An den Verkehrsmessstellen der LUBW kann abgeschätzt werden, inwieweit der Rückgang des Verkehrs auf die Beschränkungen in der COVID-19-Pandemie zurückzuführen ist oder andere verkehrsbeeinflussende Maßnahmen die langjährige Entwicklung prägen.

So liegt beispielsweise die Abnahme des Verkehrsaufkommens an den beiden Verkehrszähleinrichtungen Stuttgart Am Neckartor und Stuttgart Hohenheimer Straße durch den langjährigen Trend bei 6 %; die Abnahme durch die pandemiebedingten Beschränkungen liegt in Stuttgart zwischen 12 und 14 %.

An den beiden Standorten Karlsruhe Reinhold-Frank-Straße und Schramberg Oberndorfer Straße wurde jedoch vor den Corona-Beschränkungen eine leichte Zunahme des Ver-

kehrs gegenüber den Vorjahren beobachtet. In Karlsruhe ist dies auf den geringeren Baustelleneinfluss, der in den Vorjahren vor allem durch den Bau der sogenannten Kombilösung vorlag, zurückzuführen.

Bei den **schweren Nutzfahrzeugen** lag der Rückgang von 2019 auf 2020 an den innerorts liegenden Messstellen der LUBW zwischen 0 % und 23,4 %. Der innerorts festgestellte Rückgang des Schwerlastverkehrs ist damit zum Teil deutlich ausgeprägter als der im Rahmen der landesweiten Straßenverkehrszählungen festgestellte Rückgang von 4,2 % auf Autobahnen bis 6,9 % auf Landesstraßen. Zahlenmäßig gingen die schweren Nutzfahrzeuge am Standort Freiburg Schwarzwaldstraße um durchschnittlich 340 Fahrzeuge pro Tag am stärksten zurück.

Während des Lockdowns in der COVID-19-Pandemie im März 2020 und der anschließenden Osterferien gingen die Verkehrsstärken besonders stark zurück (etwa 40 %). Im Teil-Lockdown im November und Dezember 2020 war der Rückgang der Verkehrsstärken deutlich schwächer ausgeprägt (etwa 20 %). Mit dem harten Lockdown Ende Dezember wurde wiederum ein starker Rückgang der Verkehrsstärken an den Messstellen der LUBW festgestellt (etwa 40 %). Die Zählungen an den Messstandorten und Auswertungen stehen auf der LUBW-Internetseite der Öffentlichkeit zur Verfügung.

www.lubw.baden-wuerttemberg > Themen > Luft > Luftreinhaltung > **Verkehrszählungen**

Die Ergebnisse der landesweiten Straßenverkehrszählungen im übergeordneten Straßennetz (BAB, Bundes- und Landesstraßen) sind auf den Seiten der Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg eingestellt.

www.svz-bw.de > Verkehrszählung > Automatische Straßenverkehrszählung > **Ergebnisse**

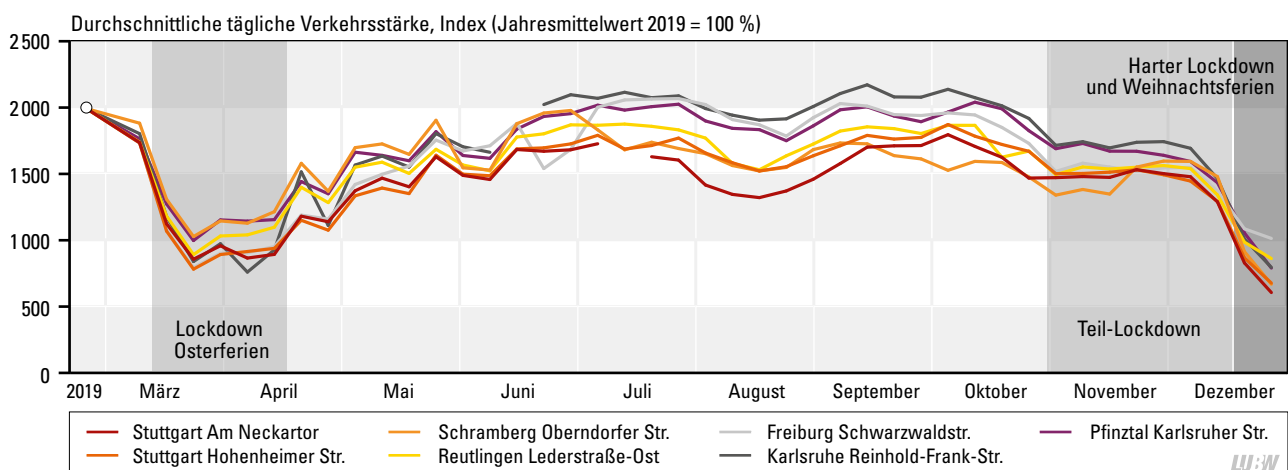


Abb. 1.5-3: Entwicklung der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken 2020 im Vergleich zur durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke 2019 an den Standorten der Verkehrszähleinrichtungen. Quelle LUBW.

1.6 Umweltforschung Baden-Württemberg

Seit 1999 fördert das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg mit „Baden-Württemberg Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung“ (BWPLUS) Projekte der anwendungsorientierten Umweltforschung mit besonderer Relevanz und Anwendbarkeit auf die Umweltpolitik in Baden-Württemberg. Das Programm wird an aktuellen Themen ausgerichtet und mit neuen Ausschreibungen zu relevanten Themen öffentlich und zeitnah ausgeschrieben. Es sind aber auch einzelne Projekte ohne einen Ausschreibungsbezug möglich, sofern diese für Baden-Württemberg eine forschungspolitische Relevanz nachweisen können. Während zu Beginn unter anderem Ökosystemforschung und Nachhaltigkeit im Fokus der Umweltpolitik standen, sind heutzutage vermehrt Fragen der Energietechnologie und der Digitalisierung relevant. Der Projektträger Karlsruhe (PTKA) berät die Antragstellenden und betreut die Projekte durch ihre Förderperiode.

Zwischen 2015 und August 2020 wurden 489 Projekte mit einem Gesamtvolumen von über 100 Millionen Euro gefördert.

Die meisten Projekte der vergangenen 5 Jahre sind den Forschungsbereichen „Smart Grid“ (79 Projekte), „Energieeffiziente Wärmenetze“ (69) und „Wasserstoff/Brennstoffzellen“ (49) zuzuordnen.

Einmal pro Jahr werden auf einem Kolloquium Umweltforschung die Zwischenergebnisse und der Stand der Projekte einer fachinteressierten Öffentlichkeit präsentiert. Dies dient einerseits dem Austausch und der Qualitätssicherung durch unabhängige wissenschaftliche Gutachterreviews und andererseits der Vernetzung der Projekte untereinander. Das letzte Kolloquium Umweltforschung als Präsenzveranstaltung konnte im März 2019 durchgeführt werden. Im Juli 2021 fand das Kolloquium in digitaler Form mit rund 200 Teilnehmenden und über 90 Vortragenden und Ausstellenden statt. Eine Übersicht über die Vielzahl verschiedener Projekte der Umweltforschung sowie die zugehörigen Projektberichte bietet der Publikationsdienst der LUBW. Mit Stand Juli 2021 sind dort 1494 Projekte und 471 Publikationen aus dem Bereich Umweltforschung abrufbar.

Tab. 1.6-1: Informationsmöglichkeiten im Internet. Stand 2021.

| | |
|-------------------------|--|
| Umweltministerium | um.baden-wuerttemberg.de > Umwelt & Natur > Umwelt- und Energieforschung |
| Projektträger Karlsruhe | www.ptka.kit.edu > Umwelt & Energie – BWP |
| Publikationsdienst | www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Angebote > Publikationen |

LUBW

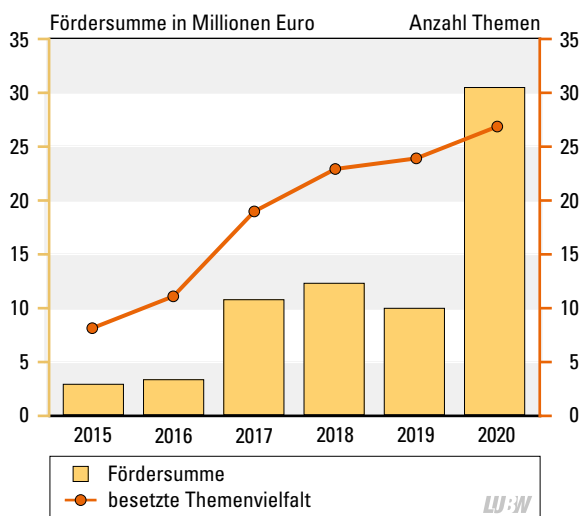


Abb. 1.6-1: Entwicklung des eingesetzten Fördervolumens und der besetzten Themenvielfalt über den Zeitraum 2015 bis August 2020. Quelle PTKA, Stand Jan. 2021.

Tab. 1.6-2: Fördersummen und Anzahl der geförderten Projekte in Themenclustern mit Gesamtfördersummen über 1 Million Euro zwischen 2015 und August 2020.

| Themencluster | Gesamtfördersumme in Euro | Anzahl |
|--------------------------------------|---------------------------|--------|
| Bioenergie | 1.864.162 | 22 |
| Boden / PFC | 1.588.043 | 10 |
| Digitalisierung / Ultraeffizienz | 6.030.242 | 16 |
| Elektromobilität / Batterierecycling | 12.732.236 | 11 |
| Elektromobilität / Smart Grid | 2.918.555 | 23 |
| Energieeffiziente Wärmenetze | 11.893.774 | 69 |
| Energiespeicherung | 7.501.117 | 35 |
| Energiewende / Transformation | 2.029.741 | 13 |
| Geologie / Geothermie | 6.583.012 | 34 |
| Moore | 1.350.762 | 5 |
| Photovoltaik | 3.905.476 | 10 |
| Photovoltaiknetzwerke | 3.484.272 | 24 |
| Ressourceneffizienz | 5.734.117 | 10 |
| Smart Grid | 9.762.988 | 79 |
| Wasserstoff / Brennstoffzellen | 15.850.026 | 49 |
| Windenergie | 1.254.948 | 1 |

LUBW



2 Klima

Das Wichtigste in Kürze

Der **Klimawandel** schreitet auch in Baden-Württemberg weiter voran. Die Jahresmitteltemperatur ist, gemittelt über das ganze Land, im Zeitraum 1881 bis 2020 um 1,5 °C gestiegen. Allein auf die letzten 30 Jahre entfällt eine beachtliche Zunahme von 1,1 °C. 16 der 20 wärmsten Jahre in Baden-Württemberg wurden seit 2000 verzeichnet.

Dies hat **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, zuletzt im Juli 2021 mit einer hohen Zahl Toter und Verletzter in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen.

Von zentraler Bedeutung für diese Entwicklungen ist die Freisetzung von Treibhausgasen durch den Menschen, insbesondere in den Industrieländern. Der größte Anteil an den anthropogenen **Treibhausgasemissionen** mit etwa 87,5 % entfällt auf das energiebedingte Kohlendioxid, das durch den Verkehr, Kraftwerke, Hausheizungen und industrielle Feuerungen verursacht wird.

Im Jahr 2020 wurden ersten Abschätzungen zufolge in Baden-Württemberg knapp 65,2 Mio. t Treibhausgase (CO₂-Äquivalente) ausgestoßen. Damit fielen die Treibhausgasemissionen um 8,7 % niedriger aus als im Vorjahr, und der seit 2018 zu beobachtende Rückgang der Emissionen setzte sich fort.



Foto: K I Photography/stock.adobe.com

| | |
|--|-----------|
| 2.1 EMISSION VON TREIBHAUSGASEN | 36 |
| Relevanz und Emissionsquellen von Treibhausgasen | 36 |
| Ziele zur Minderung der Treibhausgasemissionen | 37 |
| Entwicklung der Treibhausgasemissionen | 37 |
| EMISSIONSKATASTER BADEN-WÜRTTEMBERG | 38 |
| Emissionshandel zur Reduktion von Treibhausgasemissionen | 39 |
| Struktur der am Emissionshandel beteiligten Anlagen | 40 |
| Emissionen durch am Emissionshandel beteiligte Anlagen | 40 |
| 2.2 KLIMAWANDEL UND SEINE FOLGEN | 41 |
| Klima der letzten Jahrzehnte | 41 |
| Abschätzung der zukünftigen Klimaentwicklung | 42 |
| Direkte Auswirkungen des Klimawandels auf den Menschen | 43 |
| Indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf den Menschen | 44 |
| Auswirkungen des Klimawandels auf wasserwirtschaftliche Kenngrößen | 45 |
| Auswirkungen des Klimawandels auf Wildpflanzen | 46 |
| Auswirkungen des Klimawandels auf wärmeliebende Insekten | 47 |
| Auswirkungen des Klimawandels auf Flechten | 48 |
| Auswirkungen des Klimawandels auf Regenwürmer | 48 |
| Anpassung an den Klimawandel | 49 |
| Anpassungsstrategie des Landes | 49 |

2.1 Emission von Treibhausgasen

Relevanz und Emissionsquellen von Treibhausgasen

Treibhausgase sind verantwortlich für die Erwärmung der Erdatmosphäre. Sie absorbieren die langwellige Wärmestrahlung, die von der Erdoberfläche abgestrahlt wird und sonst an den Weltraum abgegeben würde. Ohne den durch die Treibhausgase verursachten Treibhauseffekt läge die mittlere globale Temperatur der Erde bei -18 Grad Celsius (°C) und nicht wie aktuell bei 15 °C [KLEIDON 2020]. Die vom Menschen verursachten Treibhausgasemissionen verstärken diesen Effekt und führen zu einer globalen Klimaänderung mit gravierenden ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Folgen.

Das mengenmäßig wichtigste Treibhausgas ist Kohlendioxid (CO₂). Um die Treibhauswirksamkeit der verschiedenen Gase beziehungsweise Gasgruppen bewerten und vergleichen zu können, wird die Treibhauswirkung der Gase mit der von Kohlendioxid verglichen und als sogenanntes „Kohlendioxidäquivalent“ ausgewiesen.

In dem 2005 in Kraft getretenen Kyoto-Protokoll werden seit der Ergänzung von Stickstofftrifluorid im Jahr 2012 sieben verschiedene Treibhausgase und Treibhausgasgruppen betrachtet, von denen in Baden-Württemberg aber nur CO₂, Methan und Distickstoffmonoxid in relevanten Größenordnungen emittiert werden.

Kohlendioxid hat trotz der relativ geringen Treibhauswirksamkeit allein aufgrund der ausgestoßenen Menge den größten Anteil an den klimarelevanten Emissionen in Ba-

Tab. 2.1-1: Treibhausgasäquivalente der sieben wichtigsten Treibhausgase nach dem Kyoto-Protokoll, bezogen auf 100 Jahre. Quelle [UNFCCC 2013].

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

LUBW

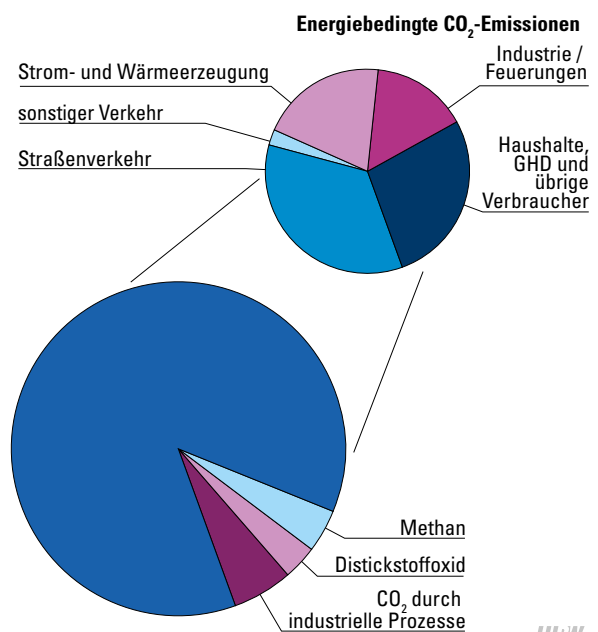
den-Württemberg. Bei der anthropogen verursachten Freisetzung von Kohlendioxid unterscheidet man zwischen

- 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, zum Beispiel bei der Zementherstellung.

Methan entsteht bei der Nutztierhaltung und entweicht aus Hausmülldeponien oder der Erdgasverteilung. Eine natürliche Quelle von Methan sind Sümpfe.

Distickstoffoxid (Lachgas) wird vor allem in der Landwirtschaft durch Stickstoffdünger freigesetzt.

Die anderen nach dem Kyoto-Protokoll zu betrachtenden Treibhausgase tragen deutschlandweit zusammen rund 1,7 %, in Baden-Württemberg etwa 2,5 % zu den Treibhausgasemissionen bei. Da derzeit keine Angaben zu verwendeten Mengen an fluorierten Treibhausgasen (F-Gase) auf Landesebene vorliegen, können die Emissionen nur grob abgeschätzt werden.



GHD: Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

LUBW

Abb. 2.1-1: Treibhausgasemissionen in Baden-Württemberg 2019. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand Jun. 2021.

Ziele zur Minderung der Treibhausgasemissionen


Europäische Union: Mit dem Kyoto-Protokoll von 1997 hatte die Europäische Union erste Minderungsziele für die Treibhausgasemission ausgegeben. Mit dem am 30. Juli 2021 in Kraft getretenen Europäischen Klimaschutzgesetz soll der Rahmen für die Verwirklichung der Klimaneutralität der EU bis 2050 geschaffen werden. Als Klimaziel für 2030 wird eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen um mindestens 55 % gegenüber 1990 formuliert.

Nationale Minderungsziele: Mit dem 2019 verabschiedeten Bundes-Klimaschutzgesetz wurden für verschiedene Sektoren verbindliche Treibhausgas-Minderungsziele festgelegt. Mit der Änderung des Klimaschutzgesetzes im August 2021 verschärft die Bundesregierung die Klimaschutzvorgaben und verankert das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2045. Bereits bis 2030 sollen die Emissionen um 65 % gegenüber 1990 sinken.

Baden-Württemberg: Das Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg von 2013 (KSG BW) wurde im Jahr 2020 erstmalig umfassend weiterentwickelt. Im Herbst 2021 hat der Landtag eine weitere Novelle verabschiedet. Danach soll Baden-Württemberg bis 2040 netto-treibhausgasneutral sein. Im Zwischenschritt soll bis 2030 eine Senkung um mindestens 65 % im Vergleich zu den Gesamtemissionen des Jahres 1990 erreicht werden. Das Integrierte Energie- und Klimaschutzkonzept (IEKK) von 2014 enthält konkrete Strategien und Maßnahmen für die Reduktion und Emissionen.

Tab. 2.1-2: Ziele zur Minderung von Treibhausgasemissionen. Stand Aug. 2021.

| | Zieljahr | Minderung gegenüber 1990 |
|-------------------------------------|----------|---|
| Kyoto-Protokoll ¹⁾ | 2020 | 20 % |
| Europäisches Klimagesetz | 2030 | 55 % |
| | 2050 | klimaneutral |
| Klimaschutzgesetz des Bundes | 2030 | 65 % (bisher 55 %) |
| | 2040 | 88 % |
| | 2045 | klimaneutral |
| Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg | 2030 | 65 % (bisher 42 %) |
| | 2040 | treibhausneutral (bisher 90 % bis 2050) |

1) Quelle <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/europaeische-energie-klimaziele>. 

Entwicklung der Treibhausgasemissionen

Im Jahr 2019 wurden in Baden-Württemberg 72,2 Millionen Tonnen (Mio. t) Treibhausgase ausgestoßen, knapp 4 % weniger als im Vorjahr. Der Großteil des Rückgangs war auf die Emissionsminderung bei der Strom- und Wärmeerzeugung für die allgemeine Versorgung zurückzuführen, vor allem durch den zuletzt massiven Rückgang beim Steinkohleeinsatz. Ursächlich dafür waren in erster Linie die deutlich höheren Preise für CO₂-Zertifikate im EU-Emissionshandel sowie die niedrigen Marktpreise für Erdgas [StALa 2020]. Der Verkehrssektor ist mit einem Anteil von 32,5 % nach wie vor der dominierende Verursacher von Treibhausgasen.

Ersten Abschätzungen zufolge wurden im Jahr 2020 knapp 65,2 Mio. t Treibhausgase ausgestoßen. Der Rückgang von 8,7 % fiel deutlich stärker aus als im Vorjahr, was auf die Auswirkungen der Corona-Pandemie und dabei vor allem auf die stark verminderte Mobilität zurückzuführen ist.

Bezogen auf das Referenzjahr 1990, wurde bis 2020 in Baden-Württemberg eine Minderung der Treibhausgasemissionen um voraussichtlich 26,8 % erreicht. Das im Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg (frühere Fassung) für 2020 festgelegte Minderungsziel von 25 % wurde damit erreicht.

Die Landesregierung veröffentlicht nach den Vorgaben des Klimaschutzgesetzes jährlich einen Monitoring-Kurzbericht zu Stand und Entwicklung der Treibhausgasemissionen sowie der Maßnahmen zur Reduktion.

um.baden-wuerttemberg.de >
 Klima > Klimaschutz in Baden-Württemberg >
 Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept >
Monitoring der Klimaschutzziele ...

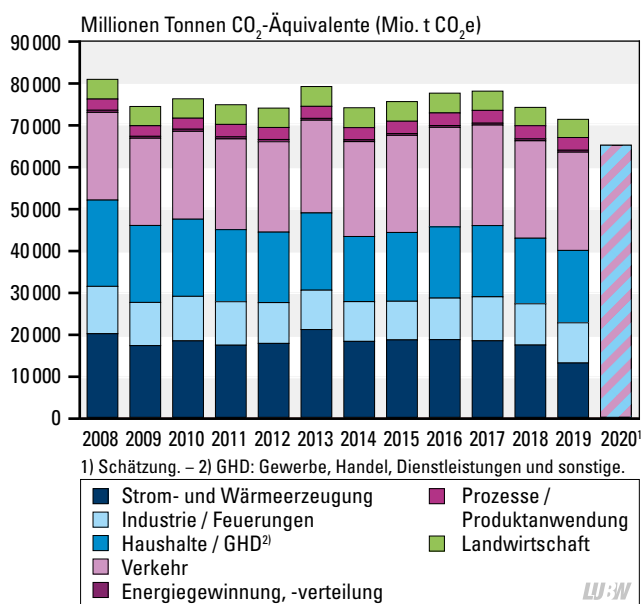


Abb. 2.1-2: Treibhausgasemissionen in Baden-Württemberg. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand Jun. 2021.

Emissionskataster Baden-Württemberg

Für die Entwicklung sachgerechter Maßnahmenpläne zur Reduktion von Luftschadstoffen sind fundierte Informationen über vorhandene Minderungspotenziale unverzichtbar. Dazu müssen die Verursachenden von Schadstoffemissionen auf lokaler und regionaler Ebene bekannt sein. Das flächendeckende Luftschadstoff-Emissionskataster Baden-Württemberg erfasst kleinräumig und vor Ort erhobene Emissionsdaten und ist damit ein wichtiges Werkzeug für eine fachlich fundierte und zielgerichtete Luftreinhaltepolitik.

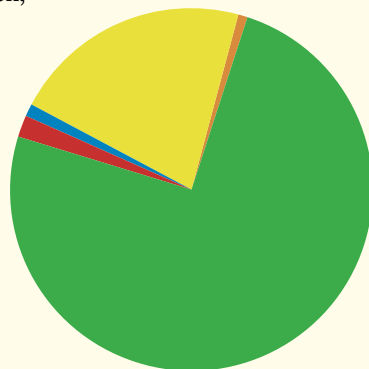
Seit 1995 werden die Emissionen aller relevanten Quellen in ganz Baden-Württemberg erfasst und regelmäßig aktualisiert. Alle wichtigen Luftschadstoffe sind dabei berücksichtigt.

Berücksichtigte Quellengruppen

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

Die räumliche Auflösung der Emissionen umfasst je nach Datenlage der einzelnen Quellengruppen Punkt-, Linien- oder Flächenquellen. Es wird immer ein Bezug zur kommunalen Ebene hergestellt.

Für jeden Stadt- oder Landkreis und für jede der 1101 Gemeinden Baden-Württembergs können alle relevanten Luftschadstoffemissionen, gegliedert nach den betrachteten Quellengruppen, abgerufen werden. Die Ergebnisse werden tabellarisch und grafisch dargestellt.



www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen >
Luft > Emissionen >
Emissionskataster

Erhobene Schadstoffe

- Kohlenmonoxid
- Stickstoffoxide
- Schwefeloxide
- gasförmige anorganische Fluorverbindungen
- gasförmige anorganische Chlorverbindungen
- flüchtige organische Verbindungen
- Gesamtstaub
- Feinstaub (PM₁₀, PM_{2,5})
- Kohlendioxid
- Ammoniak
- Distickstoffoxid (Lachgas)
- Schwermetalle
- Benzo[a]pyren
- Dioxine und Furane

Methanemissionen 2014 in Baden-Württemberg in Tonnen pro Jahr

| | |
|---|----------------|
| Biogene Systeme | 108.237 |
| Landwirtschaftliche Tätigkeiten | 99.625 |
| Natürliche Vegetation | 8.613 |
| Rest | n.v. |
| Kleine und Mittlere Feuerungsanlagen | 2.743 |
| Brenngase | 232 |
| Festbrennstoffe | 2.506 |
| Heizöl EL | 5 |
| Industrie und Gewerbe | 1.781 |
| Gewerbe (ohne Feuerungsanlagen) | n.v. |
| Industrie (11.BImSchV) | 1.781 |
| Sonstige Technische Einrichtungen | 30.740 |
| Abfalldeponien/Altablagerungen | 13.118 |
| Produkteinsatz | 19 |
| Rest | 17.604 |
| Verkehr | 1.059 |
| Bodensee | 6 |
| Flugverkehr | 9 |
| Motorsport | n.v. |
| Schienerverkehr | n.v. |
| Schiffverkehr | 15 |
| Straßenverkehr | 1.029 |
| Summe | 144.561 |

Emissionshandel zur Reduktion von Treibhausgasemissionen

Mit dem Ziel, die von der Industrie verursachten Treibhausgasemissionen effektiv zu reduzieren, wurde zum 1. Januar 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. 2012 wurde der innereuropäische Flugverkehr in den Emissionshandel mit eingebunden. Seit Beginn der vierten Handelsperiode (2021 bis 2030) nehmen in Baden-Württemberg etwa 150 Anlagen am Emissionshandel teil. Vom Emissionshandel betroffen sind überwiegend Feuerungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von mehr als 20 Megawatt, das sind in der Regel Kraftwerke zur Strom- und Prozesswärmeerzeugung.

Der Europäische Emissionshandel (EU-ETS) funktioniert nach dem Prinzip des „Cap & Trade“: Eine Obergrenze (Cap) legt fest, wie viele Treibhausgasemissionen von den emissionshandlungspflichtigen Anlagen insgesamt ausgestoßen werden dürfen. Die Anlagen erhalten – teilweise kostenlos, teilweise über Versteigerung – eine entspre-

chende Menge an Emissionsberechtigungen (Befugnis zur Emission von einer Tonne Kohlendioxid beziehungsweise Kohlendioxidäquivalenten). Die Emissionsberechtigungen können auf dem Markt frei gehandelt werden (Trade). Durch den Handel bildet sich in Abhängigkeit von Angebot und Nachfrage ein Preis für den Ausstoß von einer Tonne an Treibhausgasen (Kohlendioxid- oder 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. Wurden während der ersten drei Handelsperioden tendenziell zu viele Emissionsberechtigungen von der EU bereitgestellt, mit der Folge niedriger Preise, stieg der Preis infolge einer gekürzten Bereitstellung von Emissionsberechtigungen von etwa 5 Euro pro Tonne CO₂ (EUR/t CO₂) im Jahr 2019 auf 47 EUR/t CO₂ Anfang 2021.

Weitere Informationen zum EU-ETS (EU-Emission Trading System) sind auf der Internetseite der der LUBW abrufbar.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Luft > Emissionen > **Emissionshandel**

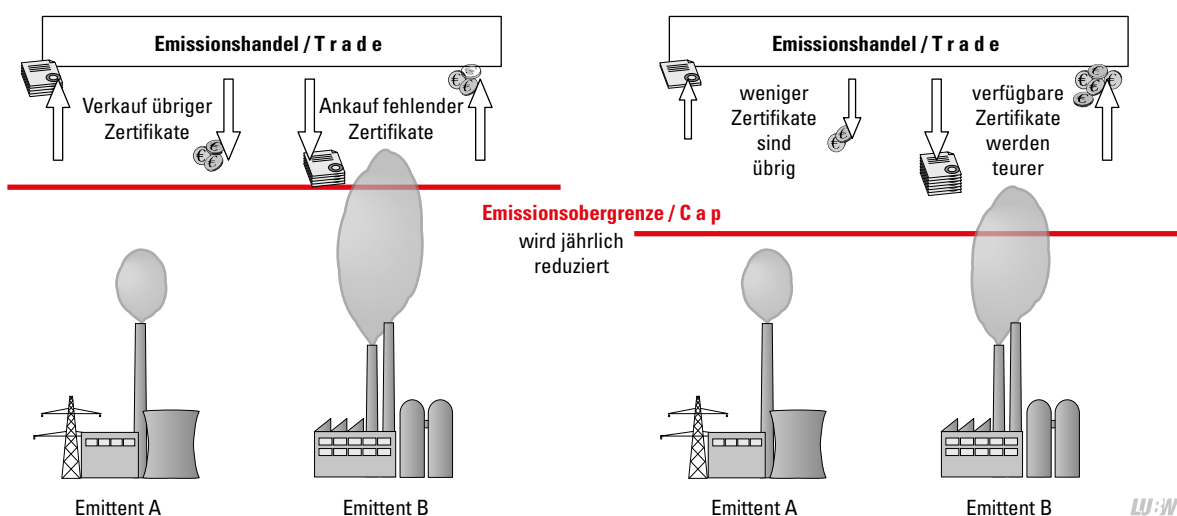


Abb. 2.1-3: Schematische Darstellung des Cap & Trade im europäischen Emissionshandel. Quelle LUBW.

Struktur der am Emissionshandel beteiligten Anlagen

Die etwa 150 dem europäischen Emissionsrechtehandel unterliegenden Anlagen in Baden-Württemberg emittierten im Jahr 2019 zusammen 20,4 Millionen Tonnen (Mio. t) Kohlendioxidäquivalente. Sie sind damit für etwa ein Drittel der Treibhausgasemissionen in Baden-Württemberg verantwortlich.

Der überwiegende Teil der Treibhausgasemissionen wird von Feuerungsanlagen, Anlagen zur Herstellung von Zementklinker und Mineralölraffinerien verursacht, die dem Emissionshandel unterliegen. Bei genauer Betrachtung der Einzelemittenten zeigt sich, dass 2019 die größten Emittenten (10 % der Anlagen) zusammen 83 % der dem Emissionshandel unterliegenden Treibhausgase emittieren.

Die Struktur der dem Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TEHG) unterliegenden Anlagen in Baden-Württemberg mit vielen Kleinemittenten, die einem geringen Anteil an den Gesamtemissionen aufweisen, und wenigen Großemittenten, die den Großteil der Emissionen verursachen, deckt sich mit der bundesweiten Anlagenstruktur.

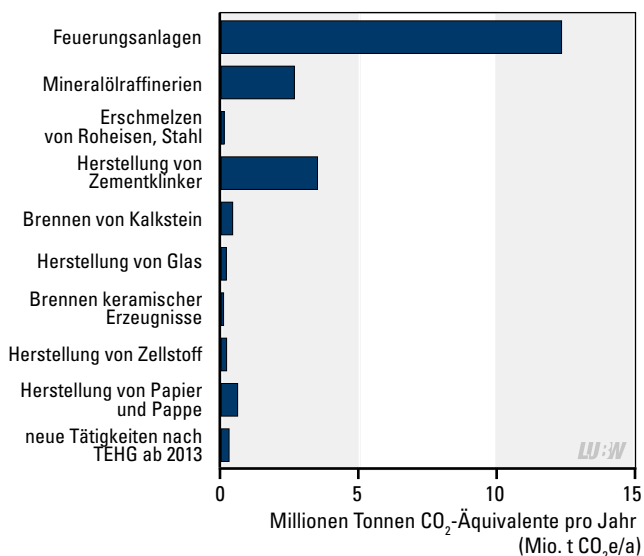


Abb. 2.1-4: Treibhausgasemissionen in Kohlendioxidäquivalenten aller dem Emissionsrechtehandel unterliegenden Anlagen in Baden-Württemberg im Jahr 2019, aufgegliedert nach Tätigkeiten. Quelle LUBW, Stand 2021.

Emissionen durch am Emissionshandel beteiligte Anlagen

Die Treibhausgasemissionen der am europäischen Emissionsrechtehandel beteiligten Anlagen gingen seit 2005 von anfänglich 30,3 Millionen Tonnen (Mio. t) Kohlendioxidäquivalenten um 10 Mio. t auf 20,4 Mio. t im Jahr 2019 zurück. Die jährliche Änderung der Emissionen von 2005 bis 2018 und die erhebliche Verringerung der Emissionen von 2018 auf 2019 um 5 Mio. t CO₂ wurden wesentlich von vier mit Steinkohle befeuerten Großkraftwerken (Großkraftwerk Mannheim, Rheinlifendampfkraftwerk Karlsruhe, Heizkraftwerk Heilbronn und Kraftwerk Altbach) bewirkt.

Von 2009 bis 2013 ist eine Zunahme der Treibhausgasemissionen um 4,6 Mio. t Kohlendioxidäquivalenten zu verzeichnen, insbesondere ausgelöst durch eine steigende Nachfrage nach Zement in der Bauindustrie und durch einen erhöhten Energiebedarf.

Bedingt durch einen gestiegenen Import von Strom und die Ausweitung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien, reduzierte sich die Stromproduktion der vier mit Steinkohle befeuerten Kraftwerke um ein Drittel und infolgedessen gingen deren Treibhausgasemissionen von 14,4 Mio. t im Jahr 2018 auf 9,9 Mio. t im Jahr 2019 zurück.

Auch ist 2019 ein Rückgang der Treibhausgasemissionen aller weiteren im Emissionshandel eingebundenen Industriezweige um etwa 5 % zu beobachten.

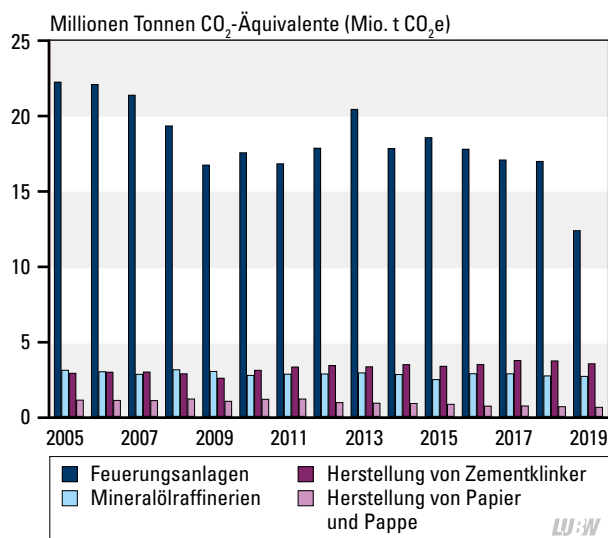


Abb. 2.1-5: Jährliche Treibhausgasemissionen in Kohlendioxidäquivalenten von dem Emissionsrechtehandel unterliegenden Anlagen in Baden-Württemberg, ausgewählte Tätigkeiten mit den höchsten Emissionen. Quelle LUBW, Stand 2019.

2.2 Klimawandel und seine Folgen

Klima der letzten Jahrzehnte

Temperatur

In ganz Baden-Württemberg ist die Jahresmitteltemperatur deutlich angestiegen. Im Zeitraum 1881 bis 2020 beträgt die Zunahme, gemittelt über das ganze Land, 1,5 Grad Celsius (°C). Seit der Jahrtausendwende ist das Temperaturniveau besonders hoch. Fast in jedem Jahr ab 2000 sind die Temperaturrekorde in der Folge gebrochen worden. Zuletzt wurde 2018 mit 10,4 °C ein neuer Höchstwert der Jahresmitteltemperatur für Baden-Württemberg erreicht. Dieses Maximum konnte 2020 mit durchschnittlich 10,2 °C fast erneut erreicht werden. 16 der 20 wärmsten Jahre in Baden-Württemberg wurden seit 2000 dokumentiert. Betrachtet man den aktuellen Klimazeitraum, das heißt die letzten 30 Jahre (1991 bis 2020), liegt die Mitteltemperatur für diesen Zeitraum bei 9,2 °C und damit um 1,1 °C höher als im internationalen Vergleichszeitraum 1961 bis 1990.

Regionale Unterschiede

Absolut gesehen, sind die ohnehin wärmeren 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 über 2 °C. Ab 2000 stieg die mittlere Jahrestemperatur dort schon auf über 10 °C, im internationalen Vergleichszeitraum 1961 bis 1990 waren es hingegen noch 8,8 °C.

Der prozentual größte Temperaturanstieg ist auf dem Feldberg zu verzeichnen. Hier nahm die Jahresmitteltemperatur seit den 1950er-Jahren um 1,7 °C zu. Bei einer relativ geringen Durchschnittstemperatur von 3,3 °C im Zeitraum 1961 bis 1990 ist dieser Anstieg beachtlich. 2018 wurde mit 5,7 °C sogar ein neuer Höchstwert der Jahresmitteltemperatur auf dem Feldberg ermittelt, und auch in den Jahren 2019 und 2020 lag die Temperatur im Durchschnitt über 5 °C.

Anzahl Heißer Tage

Es ist nicht nur wärmer, sondern vor allem auch heißer geworden. Die mittlere Anzahl Heißer Tage (Tage mit Temperaturen über 30 Grad Celsius (°C)) hat sich mehr als verdoppelt. Ebenso sind längere gesundheitlich belastende Hitzeperioden von 7 oder 14 Tagen, in denen Temperaturen von 30 °C und mehr herrschen, 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 von extremen Hitzewellen, in denen 14 Tage lang über 30 °C erreicht werden, mehr als verdreifacht.

Niederschlag

An der jährlichen Niederschlagssumme in Baden-Württemberg von etwa 940 Millimeter (mm) hat sich wenig geändert. Durch die trockenen Jahre in jüngster Zeit (seit 2015) hat sich der Trend der Zunahme beim Jahresniederschlag abgeschwächt. Sie liegt bei unter 8 % (+74 mm) und ist damit, verglichen mit den Schwankungen von Jahr zu Jahr, eher gering. Bei Betrachtung der Jahreszeiten zeigen sich jedoch eine deutliche Zunahme der Winter- (+68 mm, entsprechend +33 %) und eine leichte Abnahme der Sommerniederschläge (-18 mm beziehungsweise -6 %).

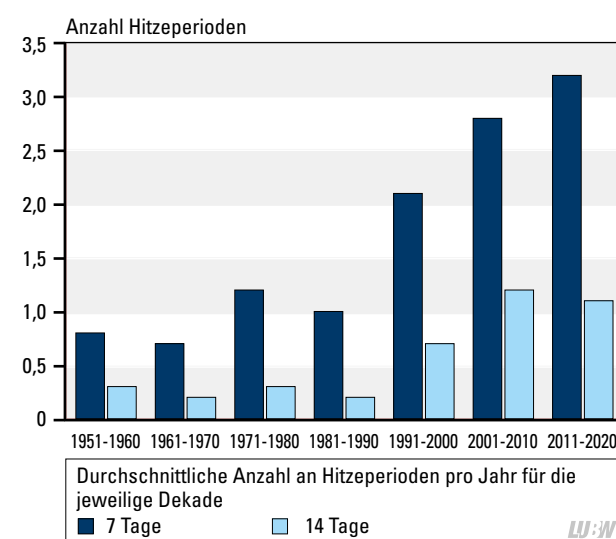


Abb. 2.2-1: Dekadenmittel der Anzahl von Hitzeperioden für die Klimamessstation Mannheim. Berechnung LUBW. Quelle DWD.

Abschätzung der zukünftigen Klimaentwicklung

Temperatur

Die in der Vergangenheit beobachtete Temperaturzunahme wird sich in Zukunft sehr wahrscheinlich weiter fortsetzen. Dies zeigen aktuelle Klimamodelle, basierend auf den sogenannten RCP-Szenarien (Representative Concentration Pathways). Das Modellensemble des Szenarios RCP 8.5 (ohne wirksamen Klimaschutz) projiziert für Baden-Württemberg für die nahe Zukunft (2021 bis 2050) eine mittlere Temperaturzunahme von +1,4 Grad Celsius (°C) mit einer Bandbreite zwischen +0,8 °C und +1,8 °C im Vergleich zum modellierten Referenzzeitraum 1971 bis 2000. Für die ferne Zukunft, also den Zeitraum 2071 bis 2100, wird von einer Erhöhung von +3,0 °C bis 4,5 °C ausgegangen [LUBW 2021].

Beim Vergleich der Modellergebnisse mit der beobachteten Temperaturentwicklung wird deutlich, dass die untere Bandbreite des RCP 8.5-Szenarios für die nahe Zukunft bereits erreicht ist. Die Jahresmitteltemperatur Baden-Württembergs stieg von 8,4 °C im Zeitraum 1971 bis 2000 auf 9,2 °C in den letzten 30 Jahren und damit um 0,8 °C an.

Anzahl Heißer Tage

Die Anzahl Heißer Tage wird laut der Modelle ebenso weiter ansteigen. Zum Ende des Jahrhunderts könnten es im Extremfall landesweit durchschnittlich pro Jahr 38 statt bisher etwa 5 Heiße Tage sein. Sommer wie 2003 mit 27 Heißen Tagen oder 2018, in dem es in Baden-Württemberg an 21 Tagen über 30 °C heiß wurde, wären dann nur noch unterdurchschnittlich und im Vergleich dazu eher kühle Sommer. In einzelnen Regionen wie dem Oberrheingraben oder der Rhein-Neckar-Region wird die Anzahl Heißer Tage sehr wahrscheinlich weit höher liegen. So könnten zum Beispiel im Oberrheingraben statt bisher an etwa 14 Tagen zukünftig an bis zu 70 Tagen Temperaturen über 30 °C erreicht werden. Fast den ganzen Sommer über wäre es am Oberrhein folglich sehr heiß.

Niederschlag

Bei den Niederschlagsparametern streuen die Modellergebnisse stärker. Die durchschnittliche Jahresniederschlagssumme des Landes wird sich auch in Zukunft auf einem ähnlichen Niveau von etwa 1000 Millimeter (mm) bewegen. Allerdings werden wahrscheinlich die durchschnittlichen Sommerniederschläge ab- und die Winterniederschläge sowie die Tage mit Starkniederschlägen und Trockenphasen 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 > Themen >
Klimawandel und Anpassung

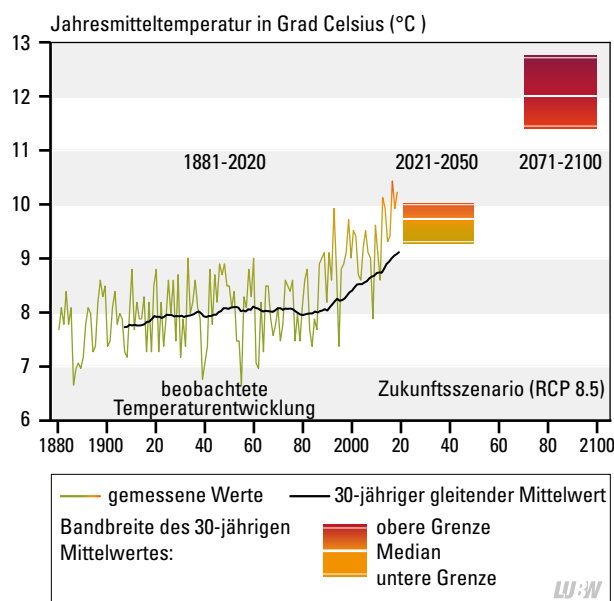


Abb. 2.2-2: Beobachtete Temperaturentwicklung und zukünftige Entwicklung der Temperatur in Baden-Württemberg für das Szenario RCP 8.5. Berechnung LUBW. Quelle DWD, ReKliEs-De.

Direkte Auswirkungen des Klimawandels auf den Menschen

Zu den unmittelbaren Auswirkungen des Klimawandels auf den Menschen zählen Belastungen durch Hitzewellen, extreme Wetterereignisse mit den damit verbundenen lokalen Hochwasserereignissen, Unfallgefahren und eine erhöhte UV-Strahlung.

Die aktuellen Klimamodelle zeigen für die Zukunft eine deutliche Zunahme der Dauer und Intensität an heißen Tagen und **Hitzewellen** in Baden-Württemberg. Zusätzlich wird mit dem demografischen Wandel der Anteil alter und hochbetagter Menschen in der Bevölkerung weiter steigen. Häufigere und stärkere Hitzewellen werden daher in der Zukunft auf eine ältere und damit anfälligere Gesellschaft treffen.

Die gesundheitlichen Belastungen durch Hitzewellen können im Extremfall zum Tod führen. Die Todesursache ist dabei in der Regel nicht primär die Hitzeeinwirkung selbst, sondern der Tod ist Folge von Überlastungen des Herz-Kreislauf-Systems, von Stoffwechselstörungen oder auch von psychischen und Verhaltensstörungen, hier insbesondere von Demenz. Letzteres führt unter anderem dazu, dass die meist hochbetagten Menschen ein fehlendes Durstempfinden haben und nicht ausreichend Flüssigkeit zu sich nehmen.

In den extrem heißen Sommermonaten Juni, Juli und August der Jahre 2006, 2015 und zuletzt 2018 starben in Baden-Württemberg annähernd 2 000 Menschen infolge der Hitze. Im Rekordsommer 2003 waren es sogar fast 2 700 Personen. Nur in vier Jahren, nämlich 2004, 2008, 2009 und 2012, lag die Anzahl wärmebedingter Sterbefälle unter 1 000.

Die in den einzelnen Jahren sehr unterschiedliche Zahl hitzebedingter Todesfälle ist nicht allein Folge hoher Temperaturen, auch die Luftfeuchtigkeit und die Windverhältnisse bestimmen die Belastung. Außerdem können die mit Hitzewellen oftmals einhergehenden windschwachen Hochdrucklagen dazu führen, dass die Konzentration von Schadstoffen wie Feinstaub, Ozon und Kohlenmonoxid

deutlich ansteigt. Die damit einhergehende Zunahme von Atemwegsinfektionen kann zu einer nochmals erhöhten Sterblichkeit führen. Einen wichtigen Einfluss nehmen auch individuelle Risikofaktoren. Hierzu zählen insbesondere ein höheres Alter sowie Vorerkrankungen, etwa chronische Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Neben Hitzewellen werden durch den Klimawandel auch extreme Wetterereignisse wie Starkniederschläge häufiger. Die verheerenden Folgen wurden im Juli 2021 bei Überschwemmungen in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen sichtbar, bei denen über 170 Tote zu beklagen waren und Sachschäden in Milliardenhöhe entstanden.

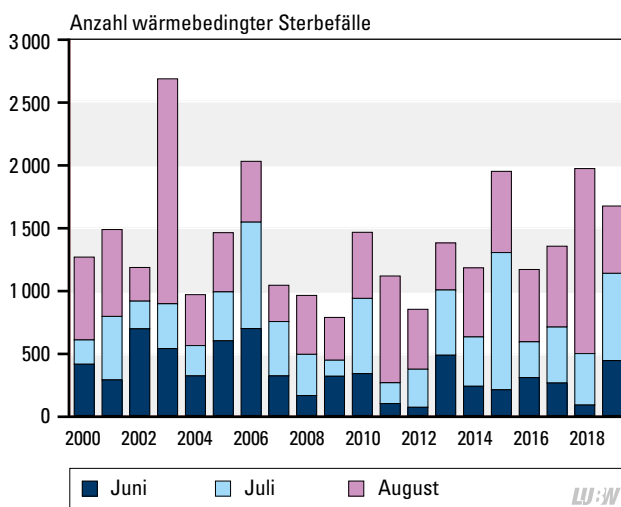


Abb. 2.2-3: Anzahl wärmebedingter Sterbefälle in Baden-Württemberg. Quelle Modellrechnung des Statistischen Landesamtes auf Basis der Statistik der natürlichen Bevölkerungsbewegung, Stand Jul. 2021.

Indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf den Menschen

Indirekte gesundheitliche Auswirkungen durch den Klimawandel ergeben sich zum Beispiel durch eine Verstärkung der Allergenexposition aus tierischer oder pflanzlicher Herkunft, zunehmende lebensmittel- und trinkwasserhygienische Probleme sowie Beeinträchtigungen der hygienischen Badegewässerqualität. Zudem gibt es neue Infektionsrisiken infolge der Ausbreitung tierischer Überträger von Krankheitserregern.

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

So können die Pollen der um 1860 von Nordamerika nach Deutschland eingeführten **Beifuß-Ambrosie** (*Ambrosia artemisiifolia*) starke allergische Symptome beim Menschen hervorrufen. Zudem 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 Ertragseinbußen führen. Besonders betroffen sind Frühjahrskulturen wie Mais, Sonnenblumen, Erbsen, Ackerbohnen, Soja, Gemüse, Zuckerrüben und Hafer.

Auch der **Eichenprozessionsspinner** (*Thaumetopoea processionea*) mit seinen giftigen und allergieauslösenden Brennhaaren profitiert von höheren Temperaturen. Unter günstigen Witterungsbedingungen kann er sich stark vermehren und lokal zur Gesundheitsgefahr werden.

Der globale Personen- und Güterverkehr trägt zudem zur Einschleppung von exotischen Stechmückenarten bei, die durch die steigenden Temperaturen immer bessere Lebensbedingungen in Baden-Württemberg vorfinden.

Auf diese Weise ist auch die **Asiatische Tigermücke** (*Aedes albopictus*), ein potenter Vektor für Krankheiten wie Dengue-, Gelb- und Chikungunya-Fieber, 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. Entsprechend ist der Anteil positiver Befunde von Eiern und Mücken sowohl von Beprobungen als auch von Fallen stark angestiegen. Waren in 2007 unter 1 % der Beprobungen und noch weniger Fallen mit positivem Befund, so konnten 2019

bereits in über 10 % der Beprobungen und fast 40 % der Fallen Eier und Mücken von *Aedes albopictus* nachgewiesen werden.

Weitere krankheitsübertragende Mückenarten sind die Asiatische Buschmücke (*Aedes japonicus*) und die Sandmücke (*Phlebotominae*). Aber auch bereits heimische Mückenarten können als Krankheitsüberträger für klimabedingt importierte Infektionskrankheiten wie das West-Nil-Virus wichtig werden.

Bei den **Zecken** gibt die Ausbreitung des Gemeinen Holzbocks (*Ixodes ricinus*), der wärmeliebenden und trockenheitsverträglichen Auwaldzecke (*Dermacentor reticulatus*) sowie der Schafzecke (*Dermacentor marginatus*) Anlass zur Besorgnis. Mit der Besiedelung höherer Lagen und dem vermehrten Vorkommen steigt das Risiko für die Übertragung der für den Menschen gefährlichen Borreliose und Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME).

Auch **lebensmittelrelevante Erreger** mit ausgeprägter saisonaler Schwankung der Befallsdichte wie Salmonellen oder Campylobacter profitieren vom Klimawandel und können sich in unsachgemäß behandelten und aufbewahrten Lebensmitteln besser vermehren.

Die Temperaturerhöhung verstärkt zudem die Ausbreitung und das Wachstum von **parasitären Wasserbewohnern und Cyanobakterien (Blualgen)** in Badegewässern. Diese können zum Beispiel zu einer gesundheitlichen Gefahr für Badende werden.

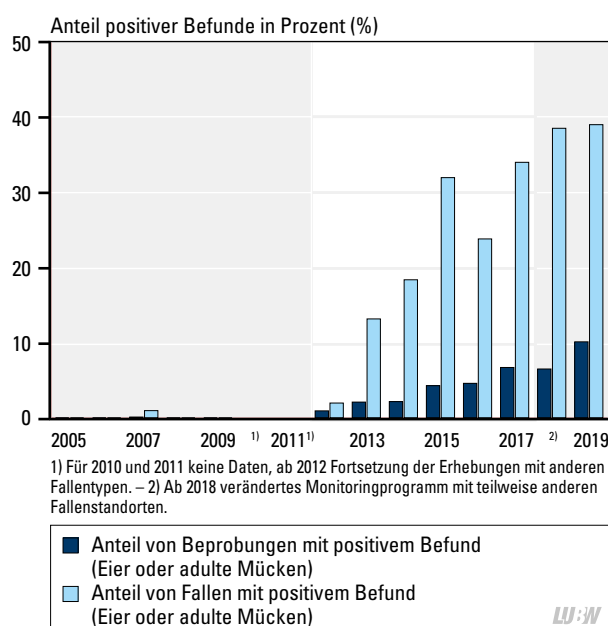


Abb. 2.2-4: Funde der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg. Quelle Kommunale Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Schnakenplage KABS e.V. (Mückenmonitoring), Stand Jul. 2021.

Auswirkungen des Klimawandels auf wasserwirtschaftliche Kenngrößen

Die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz sowie der Deutsche Wetterdienst haben im Jahr 1999 gemeinsam das Kooperationsvorhaben „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ (KLIWA) vereinbart, um Aussagen über die zukünftige Entwicklung verschiedener wasserwirtschaftlicher Kenngrößen treffen zu können. Für die Wasserwirtschaft sind insbesondere die Auswirkungen des Klimawandels auf hydrologische Extreme wie Hoch- und Niedrigwasser sowie die Grundwasserneubildung von Bedeutung. Für die Projektion künftiger wasserwirtschaftlicher Kenngrößen werden Wasserhaushaltsmodellierungen durchgeführt, die klimatische Eingangsgrößen benötigen. Diese sind das Ergebnis verschiedener Modellketten aus globalen und regionalen Klimamodellen, die auf einem bestimmten Emissionsszenario basieren. Durch die Verwendung mehrerer Modelle wird eine Bandbreite an zukünftig möglichen klimatischen und hydrologischen Zuständen abgedeckt.

Die zugrunde gelegten Klimaprojektionen lassen eine Änderung der Jahresniederschläge im einstelligen positiven und negativen, Prozentbereich erwarten. Im Zusammenspiel mit einem Anstieg der Lufttemperatur führt dies im Mittel der Projektionsbandbreite zu einer geringfügig höheren Grundwasserneubildung aus Niederschlag. Dem gegenüber deuten innerhalb der ermittelten Bandbreite zugleich mehrere Projektionen auf erhebliche Abnahmen der Grundwasserneubildung bis über -20 % hin.

In Baden-Württemberg ist eine Unterscheidung in nivale, durch Schnee geprägte, und pluviale, durch Regen geprägte, Gewässer sinnvoll. Nival geprägte Gewässer wie der Bodensee sowie der Hoch- und Oberrhein sind im mittleren Jahresgang durch höhere Abflüsse im Sommerhalbjahr und niedrigere Abflüsse im Winterhalbjahr gekennzeichnet,

wohingegen pluvial geprägte Gewässer im mittleren Jahresgang niedrigere Abflüsse im Sommerhalbjahr und höhere Abflüsse im Winterhalbjahr aufweisen.

Die Wasserhaushaltsmodellierungen der LUBW zeigen, dass die Niedrigwasserabflüsse in Gebieten mit nivalem Abflussregime im Winterhalbjahr in der nahen Zukunft (2021 bis 2050) höher sein werden als im Vergleich zum Zeitraum 1971 bis 2000. Das heißt, ein Teil des Niederschlags, der früher als Schnee im Einzugsgebiet gespeichert wurde, wird stattdessen als Regen direkt abflusswirksam und erhöht den mittleren winterlichen Niedrigwasserabfluss. Im Sommerhalbjahr, also in der Jahreszeit, in der in der Vergangenheit Schneeschmelze zu höheren Niedrigwasserabflüssen führte, nehmen die Abflüsse hingegen etwas ab. Dies folgt aus der Überlagerung von weniger und zugleich früher abfließendem Schneeschmelzwasser und weniger Niederschlag im Sommer. In Gebieten mit pluvial geprägtem 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 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 die Modellergebnisse in den pluvialen Gebieten nicht eindeutig. Es werden sowohl Zu- als auch Abnahmen der zukünftigen Hochwasserabflüsse projiziert.

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). Quelle LUBW, 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% | -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 % |

LU-W

Auswirkungen des Klimawandels auf Wildpflanzen

Das Wachstum und die Entwicklung von Pflanzen folgen im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Rhythmen, sogenannten phänologischen Phasen. Sie hängen in starkem Maße von Witterung und Klima ab. Die deutliche Verschiebung phänologischer Phasen über viele unterschiedliche Beobachtungsstandorte und lange Zeiträume hinweg ist somit auf die veränderten klimatischen Verhältnisse zurückzuführen.

Das Jahr kann in zehn phänologische Jahreszeiten unterteilt werden, um eine Veränderung anhand pflanzlicher Indikatoren zu beobachten:

| | |
|-----------------------|--|
| Winter (Jahresanfang) | 1. Januar |
| Vorfrühling | Blüte Huflattich |
| Erstfrühling | Blüte Buschwindröschen |
| Vollfrühling | Blattentfaltung Stiel-Eiche |
| Frühsommer | Blüte Schwarzer Holunder |
| Hochsommer | Blüte Sommerlinde |
| Spätsommer | Fruchtreife Eberesche |
| Frühherbst | Fruchtreife Schwarzer Holunder |
| Vollherbst | Blattverfärbung der Hänge-Birke |
| Spätherbst | Blattverfärbung der Stiel-Eiche |
| Winter (Jahresende) | Blattfall Stiel-Eiche bis 31. Dezember |

Die Winterphase verkürzt sich bei einem Vergleich der Zeiträume 1951 bis 1980 und 1991 bis 2020 um rund fünf Tage. Dadurch ergibt sich ein früherer Eintritt des Vorfrühlings (Blüte Huflattich), des Erstfrühlings (Blüte Buschwindröschen) und des Vollfrühlings (Blattentfaltung Stiel-Eiche). Dies hängt vor allem mit dem Temperaturanstieg im Winter zusammen, die Frühjahrsgeophyten, Bäume und Sträucher früher blühen lässt. Die Dauer des Frühlings verkürzt sich

zugunsten des Sommers um knapp 7 Tage. Der Frühsommer setzt mit der Blüte des Schwarzen Holunders um mehr als 11 Tage früher ein als zu Beginn der Zeitreihe. Grund ist vor allem die frühere und stärkere Erwärmung von April bis August, die die Entwicklung der Pflanzen vorantreibt. Die Dauer des Sommers (Frühsommer, Hochsommer und Spätsommer) hat sich bis heute gegenüber dem ersten Beobachtungszeitraum mit knapp zwei Tagen Verkürzung wenig verändert. Der Frühherbst (Beginn der Fruchtreife Schwarzer Holunder) setzt im Periodenvergleich um 13 Tage früher ein, da sommerlicher Hitzestress und Trockenheit die Fruchtreife und die herbstliche Blattverfärbung sowie -alterung beschleunigen. Der Herbst mit seinen zwei über den Gesamtzeitraum vergleichbaren Phasen Frühherbst und Vollherbst erfährt zudem eine deutliche zeitliche Ausdehnung um knapp 17 Tage; der Winter setzt später ein.

Durch den längeren Herbst und den verkürzten Winter hat sich die Vegetationsperiode um mindestens 9 Tage verlängert (ohne Berücksichtigung des Spätherbstes).

Die Veränderungen in den Entwicklungszyklen bergen Risiken oder können eingespielte Wechselbeziehungen zwischen den Arten stören. So erhöht die frühere Entwicklung der Pflanzen das Risiko einer Schädigung durch Spätfröste. Tiere können unter Umständen an Kälte oder Nahrungsmangel sterben, wenn sie durch eine frühe Entwicklung nicht mehr durch die Mechanismen der Winterruhe geschützt sind oder noch nicht genügend Nahrung finden. Ferner kann das Räuber-Beute-Gefüge im Nahrungsnetz durch Ausfall von Arten beeinträchtigt werden, oder es kann zu neuen Konkurrenzverhältnissen mit anderen Insekten kommen.

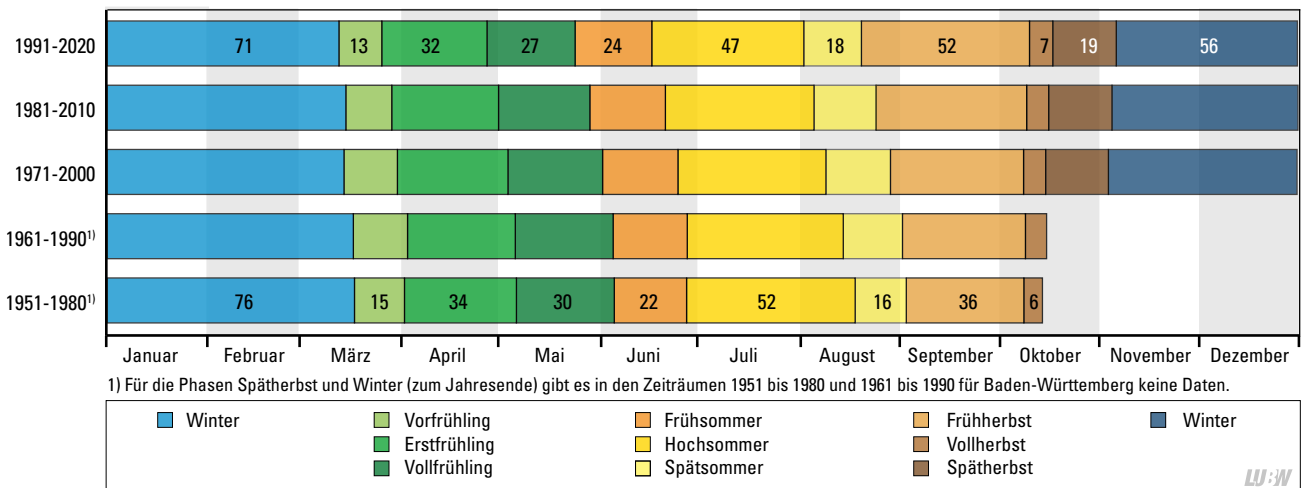


Abb. 2.2-5: Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten in Baden-Württemberg. Berechnung LUBW. Quelle DWD, Stand 2021.

Auswirkungen des Klimawandels auf wärmeliebende Insekten

Insekten reagieren sehr unmittelbar auf Witterungs- und Klimaänderungen und sind daher gute Zeiger für den Klimawandel. Für Baden-Württemberg zeigt sich anhand von Daten zum Vorkommen von zehn Wildbienen-, Tagfalter- und Libellenarten, dass sich seit 1991 vermehrt wärmeliebende Insektenarten ausbreiten. Während Anfang der 1990er-Jahre nur drei Arten, nämlich die Feuerlibelle (*Crocothemis erythraea*), der Kurzschwänzige Bläuling (*Cupido argiades*) und die Dichtpunktirte Goldfurchenbiene (*Halictus subauratus*), jeweils einmal in der montanen Höhenstufe zwischen 500 und 1200 Höhenmeter gefunden wurden, gab es im Zeitraum 2016 bis 2018 bereits zu acht Arten insgesamt 70 Funde in dieser Höhenstufe. 2018 erreichte zudem die erste wärmeliebende Art die subalpine Höhenstufe (> 1200 Meter).

Dies ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass die Arten aufgrund der gestiegenen Temperaturen zunehmend in höheren Lagen geeignete Lebensräume vorfinden. Am Beispiel der Gelbbindigen Furchenbiene (*Halictus scabiosae*) lässt sich der Zusammenhang zwischen steigenden Temperaturen und Arealverbreitung sehr gut veranschaulichen (Abb. 2.2-7).

Das Areal der Gelbbindigen Furchenbiene (*Halictus scabiosae*) umfasst Gebiete mit einer Jahresmitteltemperatur von mindestens 9 Grad Celsius (°C). Ab 1990 hat sich die

9 °C-Isotherme ausgehend von den Klimagunstgebieten Oberrheinebene, Kraichgau und Neckarbecken, insbesondere nach Osten und in höhere Lagen verschoben. Die Arealausdehnung der Gelbbindigen Furchenbiene folgte dieser Entwicklung und kommt nun auch in ursprünglich nicht besiedelten Landesteilen wie dem Tauberland, der Schwäbisch-Fränkischen Waldberge, dem Vorland der Schwäbischen Alb und dem Bodenseebecken bis hin zum Westallgäuer Hügelland vor.

Arealveränderungen von Arten sind differenziert zu bewerten. In manchen Ökosystemen ergänzen die neu hinzukommenden Arten die Biodiversität, sie können Ökosystemdienstleistungen, etwa die Bestäubung von Pflanzen, unterstützen oder Ausfälle anderer Arten zumindest teilweise kompensieren. Allerdings können einwandernde und sich verbreitende wärmeliebenden Arten auch andere Arten verdrängen. Diese Prozesse werden beispielsweise in höher gelegenen artenreichen Bergmähwiesen vermutet. Beweise für durch den Klimawandel herbeigeführte Verluste sind aber sehr schwer zu führen, denn auch Veränderungen der Landnutzung haben einen erheblichen Einfluss auf die Populationsentwicklung von Arten. Es bedarf daher langer Beobachtungsreihen, um langfristige Trends von kurzfristigen Schwankungen unterscheiden zu können.

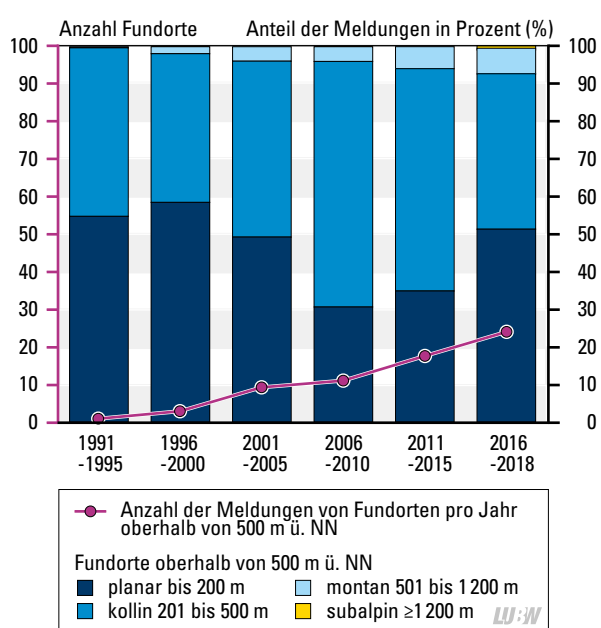


Abb. 2.2-6: Ausbreitung wärmeliebender Insektenarten. Quelle MUB an der LUBW, Stand 2021.

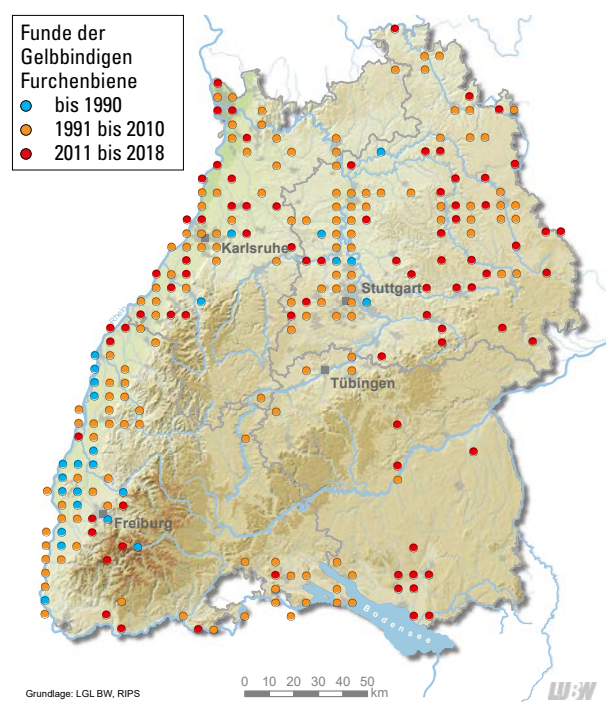


Abb. 2.2-7: Verbreitungskarte der Gelbbindigen Furchenbiene (*Halictus scabiosae*) in Baden-Württemberg. Quelle MUB an der LUBW, Stand 2021.

Auswirkungen des Klimawandels auf Flechten

Flechten sind Pilze, die in einer Lebensgemeinschaft mit kleinsten Algen beispielsweise an Felsen und Baumrinden siedeln. Sie reagieren vergleichsweise empfindlich auf Klimaveränderungen und legen im Gegensatz zu den meisten Gefäßpflanzen im Winter keine Ruhephase ein. Somit eignen sie sich auch, um Witterungsveränderungen in den Wintermonaten anzuzeigen. Die Veränderungen der Flechtengemeinschaften werden in Baden-Württemberg seit 1986 an Baumstämmen an 17 Waldstandorten systematisch untersucht. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf 45 Flechtenarten, die als „Klimawandelindikatoren“ eingestuft sind, da sie ursprünglich in milden und eher atlantisch geprägten Klimagebieten beheimatet sind.

Mit Ausnahme eines Standortes hat die Anzahl der als Klimawandelzeiger eingestuften Flechtenarten deutlich zugenommen, selbst in kühlen, teils über 1000 Meter hoch gelegenen Wäldern. Die Zunahme ist also im gesamten Bundesland und in allen Höhenstufen zu beobachten.

An Bedeutung gewinnen vor allem die Arten, die mildere und im Jahresverlauf weniger stark schwankende Temperaturen und niederschlagsreiche Winter bevorzugen. Das sind insbesondere die atlantischen Arten. Die mittlere Kontinentalitätszahl der Gemeinschaft nimmt deshalb im Verlauf der Zeitreihe signifikant ab. Sommerliche Hitze und Trockenheit ist für die Flechten weniger ein Problem, da sie in den Sommermonaten bei Trockenheit in eine Art Trockenstarre verfallen und dann unempfindlich gegenüber Hitze und weitere Austrocknung sind.

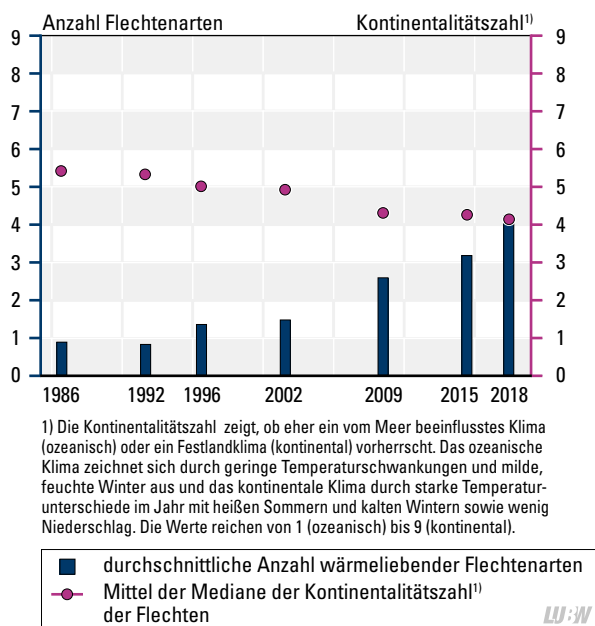


Abb. 2.2-8: Flechten als Klimawandelindikatoren. Quelle MuB an der LUBW.

Auswirkungen des Klimawandels auf Regenwürmer

Bodenlebewesen wie Regenwürmer haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Fruchtbarkeit unserer Böden. Auch als Nahrung für Vögel oder Kleinsäuger spielen Regenwürmer eine wichtige Rolle. Eine starke Abnahme der Anzahl der Regenwürmer führt daher zu erheblichen Störungen der Ökosysteme. In der Landwirtschaft können deutliche Ertragseinbußen die Folge sein.

Seit 2015 werden im Rahmen des Biologischen Messnetzes der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung der LUBW an 13 Walddauerbeobachtungsflächen jährlich Regenwürmer untersucht. Die ausgewachsenen Würmer, die an der Bodenoberfläche leben (epigäische Arten) oder dort zumindest ihre Nahrung aufnehmen (epi-anezische Arten), reagieren deutlich auf die Dürrejahre 2015 und 2018.

Die Effekte auf die Populationen werden erst im darauffolgenden Jahr sichtbar, da die Probenahme immer in den Monaten April bis Juni erfolgt. Somit sind die Populationseinbrüche in 2016 und 2019 sicherlich auf die Trockenjahre 2015 und 2018 zurückzuführen. Nach der Dürre in 2015 brauchten die Regenwürmer zwei Jahre, um zu regenerieren. Dürrejahre in kurzer Folge hintereinander sind auf längere Sicht daher möglicherweise ein Problem für diese Arten. 2019 lagen die Populationen infolge des sehr trockenen Jahres 2018 an allen 13 Standorten auf einem besonders niedrigen Niveau. Erst in 2020 zeigte sich wieder ein Anstieg, da das Jahr 2019 feuchter war.

Die vorwiegend in tieferen Bodenschichten lebenden Arten (endogäisch) überdauern ungünstige Perioden in einer Art Kokon und sind dort vor Austrocknung besser geschützt. Bei diesen Arten gibt es keine vergleichbaren Populationseinbrüche.

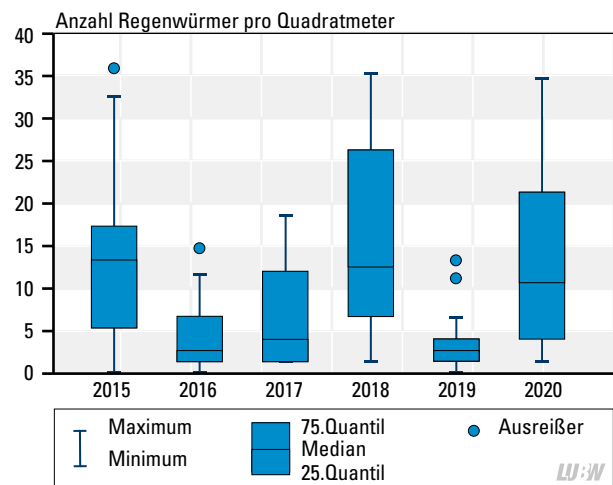


Abb. 2.2-9: Mittlere Anzahl ausgewachsener Regenwürmer pro m² von Arten, die an der Oberfläche leben (epigäisch) oder dort zumindest ihre Nahrung finden (epi-anezisch). Quelle Untersuchungen im Auftrag der LUBW durch Dr. Otto Ehrmann.

Anpassung an den Klimawandel

Neben dem Klimaschutz nimmt die Wichtigkeit der Anpassung zu. Dabei sollten Anpassung und Klimaschutz gemeinsam gedacht und umgesetzt werden. Kommunen spielen hierbei eine zentrale Rolle. Einerseits können Kommunen durch die Verringerung der klimawirksamen Emissionen wesentlich dazu beitragen, dass eine weitere Änderung des Klimas begrenzt wird. Andererseits müssen sie auf die nicht vermeidbaren und unmittelbaren Folgen des Klimawandels reagieren.

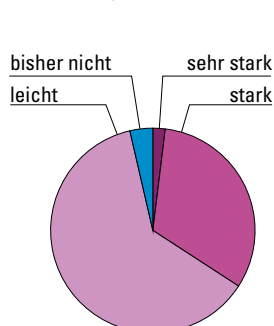
In einer von der LUBW durchgeführten Umfrage von 2019 gaben über 90 % der Kommunen an, aktuell schon Auswirkungen des Klimawandels festzustellen und diese verstärkt in der Zukunft zu erwarten. Knapp drei Viertel der Kommunen und Kreise stimmen der Dringlichkeit von Klimaanpassung, auch im Vergleich zu anderen Umweltthemen, zu. Das Bewusstsein für die Anpassung nimmt auf regionaler und lokaler Ebene zu. Vor allem größere Kommunen sehen einen zunehmenden Handlungsbedarf und haben bereits beachtliche Fortschritte in der Anpassung erzielt. Der Bedarf für spezifische Informationen besteht übergreifend.

Die LUBW baut zur stärkeren Unterstützung der Kommunen und weiterer Akteurinnen und Akteure derzeit ein Kompetenzzentrum Klimawandel und Anpassung auf. Entlang der Leitfragen

- Welche klimatischen Veränderungen sind bei uns zu erwarten?
- Welche Herausforderungen stellen sich unserem Lebensumfeld?
- Wie können wir uns an unvermeidbare Folgen anpassen?

werden Grundlagen, Informationsprodukte und Veranstaltungen erarbeitet. Dabei spielt auch die Vernetzung eine wichtige Rolle. So soll die bereits vorhandene Expertise im Land Baden-Württemberg, beispielsweise in der Wissenschaft und bei den Klimaschutzagenturen, eingebunden werden.

Bisher feststellbare Auswirkungen des Klimawandels



Erwartete Entwicklung der Auswirkungen des Klimawandels

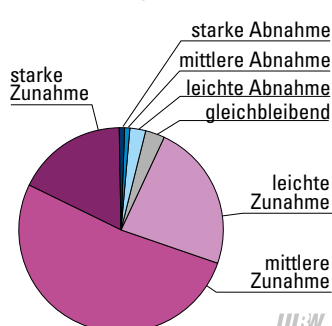


Abb. 2.2-10: Anteil der befragten Kommunen und Kreise zur Einordnung der Entwicklung der Auswirkungen des Klimawandels. Quelle [LUBW 2020].

Anpassungsstrategie des Landes

Baden-Württemberg hat die Anpassung an die Folgen des Klimawandels seit 2013 im „Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes in Baden-Württemberg“ (KSG BW) als eigenständige Säule aufgenommen. Mit der in 2015 beschlossenen „Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg“ wurde auf Landesebene ein Prozess angestoßen, der dazu beiträgt, die Verwundbarkeit des Landes zu mindern, mögliche Klimafolgen und dabei entstehende Kosten zu senken sowie sich ergebende Chancen zu nutzen.

Ein regelmäßiges Monitoring der Klimafolgen und Anpassungsfortschritte soll eine dynamische Weiterentwicklung der Anpassung auf Landesebene unterstützen. Die in den vorherigen Seiten dargestellten Indikatoren zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Umwelt zeigen dabei nur einen kleinen Ausschnitt eines umfangreichen Sets von knapp 60 Indikatoren, die neun Handlungsfeldern zugeordnet sind:

- Wald und Forstwirtschaft,
- Landwirtschaft,
- Boden,
- Naturschutz und Biodiversität,
- Wasserhaushalt,
- Tourismus,
- Gesundheit,
- Stadt- und Raumplanung,
- Wirtschaft und Energiewirtschaft.

2021 wurde bereits der zweite Monitoringbericht veröffentlicht. In den meisten Handlungsfeldern zeichnen sich bereits deutliche Veränderungen durch den Klimawandel ab. So ist bei 20 von 35 Klimafolgenindikatoren ein Trend nachweisbar. In der Klimawandelanpassung zeigen die Datenreihen bei sieben von 22 Indikatoren einen statistisch interpretierbaren, zunehmenden Trend. So nimmt zum Beispiel der Anbau von wärmeliebenden Kulturarten und Sorten zu, und der Anteil der Erholungs- und Friedhofsfläche an der Siedlungs- und Verkehrsfläche steigt.

Auf Basis der Ergebnisse des Monitorings und der Stellungnahme des Landesbeirats für Nachhaltige Entwicklung soll die Anpassungsstrategie bis zum Ende des Jahres 2022 fortgeschrieben werden.

um.baden-wuerttemberg.de >
Klima > Anpassung an den Klimawandel >
Anpassungsstrategie Baden-Württemberg



3 Luft

Das Wichtigste in Kürze

Die **Luftqualität** in Baden-Württemberg hat sich in den letzten 20 Jahren stetig verbessert. Besonders bei den klassischen Luftverunreinigungen Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Benzol und Blei lagen die gemessenen Konzentrationen im Jahr 2020 weit unterhalb der vom Gesetzgeber festgelegten Grenzwerte.

Bei **Feinstaub** (Partikel PM₁₀) sind die Konzentrationen in den letzten Jahren vor allem im verkehrsnahen Bereich, aber auch im städtischen und ländlichen Hintergrund weiter zurückgegangen. Dadurch werden seit dem Jahr 2018 die Immissionsgrenzwerte für PM₁₀ flächendeckend eingehalten. Die Konzentrationen von **Stickstoffdioxid** sind vor allem in den letzten Jahren an vielen verkehrsnahen Messstellen zum Teil deutlich zurückgegangen, sodass es im Jahr 2020 nur noch an drei Messstellen zu einer Überschreitung des Immissionsgrenzwerts von 40 µg/m³ gekommen ist. Bei **Ozon** können die Zielwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit im Mittel der letzten Jahre flächendeckend nicht eingehalten werden. Die Informationsschwelle von 180 µg/m³ (1-Stunden-Mittelwert) wurde im Jahr 2020 an einigen Messstellen im Juli und August überschritten. Die Alarmschwelle für Ozon von 240 µg/m³ (1-Stunden-Mittelwert) wurde im Jahr 2020 an keiner Messstelle erreicht.

Bei den **Emissionen von Luftschadstoffen** in Baden-Württemberg konnten von 2000 bis 2018 bei allen Luftschadstoffen Rückgänge verzeichnet werden. Diese lagen in diesem Zeitraum im Bereich von 3 % bei den Ammoniakemissionen, bei bis zu 64 % bei den Kohlenmonoxidemissionen und bei 68 % bei den Schwefeldioxidemissionen.

| | | | |
|---|-----------|---|-----------|
| 3.1 GRUNDLAGEN DER ERHEBUNG VON EMISSIONEN UND IMMISSIONEN | 52 | Ozon – Immissionswerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit | 63 |
| Quellengruppen der Emissionen | 52 | Ozon – Zielwert zum Schutz der Vegetation | 63 |
| Immissions- und Depositionsmessnetze | 53 | 3.5 BENZOL UND KOHLENMONOXID | 64 |
| Übersicht und Beschreibung der erfassten Luftschadstoffe | 54 | Benzol | 64 |
| Immissionsgrenzwerte | 56 | Kohlenmonoxid | 64 |
| 3.2 STICKSTOFFOXIDE | 57 | 3.6 AMMONIAK | 66 |
| Emissionen – Quellengruppen | 57 | Emissionen | 66 |
| Emissionen – Entwicklung | 57 | Immissionen | 66 |
| Immissionen – Stand und Entwicklung | 58 | 3.7 SCHWEFELDIOXID | 67 |
| Immissionen – Überschreitung von Grenzwerten | 58 | Emissionen | 67 |
| Ursachenanalyse | 59 | Immissionen | 67 |
| Einfluss Corona-Pandemie | 59 | 3.8 INHALTSSTOFFE VON PARTIKELN PM₁₀ | 68 |
| 3.3 PARTIKEL | 60 | Benzo[a]pyren (BaP) | 68 |
| Emissionen | 60 | Blei, Arsen, Cadmium und Nickel | 68 |
| Immissionen – Stand und Entwicklung | 60 | 3.9 DEPOSITIONEN | 69 |
| Immissionen – Überschreitung von Grenzwerten | 61 | Staubniederschlag | 69 |
| Ursachenanalyse | 61 | Schwermetalldeposition | 69 |
| 3.4 OZON UND NMVOC ALS VORLÄUFERSUBSTANZEN DES OZONS | 62 | | |
| Emissionen von NMVOC | 62 | | |
| Ozonimmissionen – Entwicklung | 62 | | |

3.1 Grundlagen der Erhebung von Emissionen und Immissionen

Quellengruppen der Emissionen

Grundlage für gezielte Luftreinhaltemaßnahmen ist eine räumlich und zeitlich aufgelöste Ermittlung der von verschiedenen Verursachern freigesetzten Luftverunreinigungen (Emissionen).

Die Emissionserhebungen umfassen fünf Quellengruppen:

Verkehr

In der Quellengruppe Verkehr werden die Emissionen des Straßen- und des Offroadverkehrs, also des Schiffs-, Schienen- und bodennahen Flugverkehrs, erfasst. Wesentliche Grundlagen für die Berechnung der Straßenverkehrsemissionen sind die Bundesverkehrszählung und deren Fortschreibung auf Grundlage aktueller Verkehrsdaten und Verkehrsprognosen sowie die aktuellen Emissionsfaktoren des Handbuchs Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs [INFRAS 2017]. 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 Meter über Grund einbezogen. Es werden außerdem die Emissionen organischer Stoffe beim Flughafenbetrieb erfasst, zum Beispiel bei der Enteisung oder beim Betanken bis hin zum Lackieren der Flugzeuge. Auch die Emissionen der Vorfeldfahrzeuge werden berücksichtigt.

Kleine und mittlere Feuerungsanlagen

Bei der Quellengruppe der kleinen und mittleren Feuerungsanlagen handelt es sich um private und gewerbliche Feuerungsanlagen für die Gebäudeheizung und die Warmwasserbereitung sowie für die Erzeugung von Prozesswärme bei Kleinverbrauchern, die der 1. BImSchV (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen) 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 Nutztierhaltung, Bodenbewirtschaftung und Abwasserkanälen.

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 kleinere 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 unter anderem in Luft und Wasser melden.

Sonstige technische Einrichtungen

Die sonstigen technischen Einrichtungen umfassen alle Anlagenarten und sonstige relevante 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, zum Beispiel dieselbetriebene land- und forstwirtschaftliche Maschinen, auf Baustellen betriebene Maschinen und Geräte, Hobby.

Immissions- und Depositionsmessnetze

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

Das **Luftmessnetz** bestand im Jahr 2020 aus 35 Messstellen, von denen zwei im Auftrag der Städte Konstanz und Reutlingen betrieben wurden. Das Messnetz dient der Langzeitüberwachung von Luftverunreinigungen im Rahmen der europäischen Luftqualitätsrichtlinie. 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 2020 wurden an

- 8 verkehrsnahen Messstellen,
 - 25 Messstellen im städtischen Hintergrund und
 - 2 Messstellen im ländlichen Hintergrund
- die relevanten Luftverunreinigungen gemessen.

Zum einen werden damit die Immissionskonzentrationen in ländlichen beziehungsweise städtischen Gebieten, in denen kein direkter Einfluss von Emittenten vorliegt, erfasst. Zum anderen werden die Immissionen an den verkehrsnahen Messstellen in direkter Nähe zum Kraftfahrzeugverkehr als einem wichtigen Verursacher von Luftverunreinigungen gemessen.

An den Messstellen 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).

Die **Spotmessungen** erweitern das Luftmessnetz um zeitlich befristete Messstellen an innerörtlichen Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen. Im Jahr 2020 wurden in Baden-Württemberg an 37 Messstellen Stickstoffdioxid und an 4 Messstellen Partikel PM₁₀ gemessen. An einigen ausgewählten Messstellen wurden auch Messungen von Benzol, Ruß und Benzo[a]pyren durchgeführt.

Die in die Atmosphäre eingebrachten Luftschadstoffe sind chemischen Umwandlungs- und Transportprozessen unterzogen und 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. Seit 1992 werden daher die Depositionen von Luftverunreinigungen in städtisch und industriell geprägten Gebieten sowie in ländlichen beziehungsweise landwirtschaftlich strukturierten Räumen messtechnisch erfasst. Seither wurde das Depositionsmessnetz an die geänderten Messmethoden beziehungsweise Fragestellungen angepasst. Im Jahr 2020 wurden über das Depositionsmessnetz an acht Messstandorten folgende Parameter bestimmt:

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

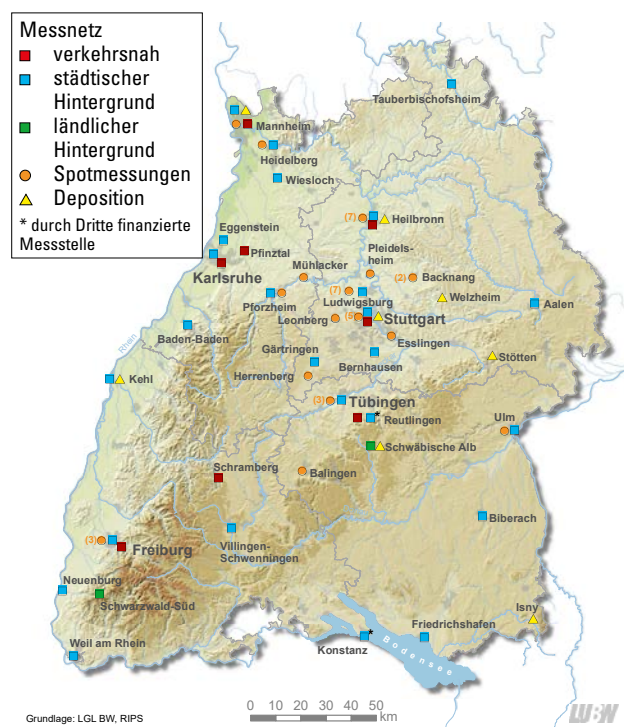


Abb. 3.1-1: Übersicht der Messstellen für Luftverunreinigungen. In Klammern: Anzahl der Messstellen. Quelle LUBW, Stand Sep. 2020.

Übersicht und Beschreibung der erfassten Luftschadstoffe

Tab. 3.1-1: In Baden-Württemberg in der Emission und Immission erfasste Luftschadstoffe. Stand 2021.

| | | Emission | Immission | | | Emission | Immission |
|---|-------------------------------|----------|-----------|--|-----------|----------|-----------|
| Luftverunreinigungen | | | | Staubinhaltsstoffe | | | |
| Stickstoffmonoxid | NO | • | • | Blei | Pb | • | • |
| Stickstoffdioxid | NO ₂ | • | • | Arsen | As | • | • |
| Stickstoffoxide ¹⁾ | NO _x | • | | Cadmium | Cd | • | • |
| flüchtige organische Verbindungen ohne Methan | NM VOC | • | | Nickel | Ni | • | • |
| Benzol | C ₆ H ₆ | • | • | Benzo[a]pyren ³⁾ | BaP | • | • |
| Ozon | O ₃ | | • | Ruß ³⁾ | | | • |
| Kohlenmonoxid | CO | • | • | Antimon ⁴⁾ | Sb | | • |
| Ammoniak | NH ₃ | • | • | polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane | PCCD/PCDF | • | |
| Schwefeldioxid ²⁾ | SO ₂ | • | • | Regeninhaltsstoffe | | | |
| klimarelevante Gase | | | | Ammoniumionen | | | • |
| Kohlenstoffdioxid | CO ₂ | • | | Sulfationen | | | • |
| Methan | CH ₄ | • | | Nitrationen | | | • |
| Lachgas | N ₂ O | • | | | | | |
| Partikel und Staub | | | | | | | |
| Partikel | PM ₁₀ | • | • | | | | |
| Partikel | PM _{2,5} | • | • | | | | |
| Gesamtstaub / Staubdeposition | | • | • | | | | |

1) Emission: NO und NO₂ berechnet als NO₂. – 2) Emission: Schwefeloxide als SO₂. – 3) Immission: nur in der Partikel-PM₁₀-Fraktion. – 4) Immission: nur im Staubbiederschlag.

Stickstoffoxide (NO_x) bestehen aus Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂). 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 eine der Vorläufersubstanzen für die Bildung von bodennahem Ozon. Stickstoffoxide tragen durch die langfristige Umwandlung in Nitrat beziehungsweise Salpetersäure und durch die nachfolgender Deposition zur Überdüngung der Böden in empfindlichen Ökosystemen und Gewässern sowie zur Versauerung bei.

Partikel (Particulate Matter, PM) 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 ist neben ihren chemischen Eigenschaften insbesondere ihre Größe von Bedeutung. Es werden Fraktionen hinsichtlich des Durchmessers der Staubpartikel unterschieden, wobei

die größeren Staubfraktionen immer auch die kleineren Partikel beinhalten.

Tab. 3.1-2: Einteilung der Staubfraktionen.

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

1) Partikel, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser entsprechender Größe eine Abscheidewirksamkeit von 50 % hat.

Vor allem Partikel der Fraktionen PM₁₀ 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-Kreislauf-Systems verursachen.

Unter dem Oberbegriff **flüchtige organische Verbindungen** (Volatile Organic Compounds – 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 (Non-Methan VOC – NMVOC) unterschieden. Alle VOC tragen zur Ozonbildung bei.

Ozon ist ein chemisch sehr reaktives Gas. In der Erdatmosphäre schützt es als natürliche Ozonschicht oberhalb von etwa 20 Kilometer Höhe (Stratosphäre) die Erdoberfläche vor schädlicher Ultraviolettstrahlung der Sonne. Bodennahes Ozon stammt zu einem geringeren Teil aus dem vertikalen Transport von Ozon aus der Ozonschicht, hauptsächlich aber aus der Reaktion des Luftschadstoffs Stickstoffdioxid mit flüchtigen organischen Verbindungen bei hoher Sonneneinstrahlung. Ozon wird nicht direkt aus Quellen emittiert, sondern bildet sich erst in der Atmosphäre. Die natürliche Hintergrundkonzentration beträgt in Bodennähe etwa 50 Mikrogramm pro Kubikmeter. Ozon wirkt in erhöhten Konzentrationen als Reizgas auf die Atemwege und kann nach tiefer Inhalation, zum Beispiel bei sportlicher Betätigung, die Entstehung entzündlicher Prozesse im Lungengewebe fördern. Erhöhte Ozon-Konzentrationen in Bodennähe können das Pflanzenwachstum beeinträchtigen.

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.

Kohlenmonoxid (CO) ist ein geruchloses, brennbares und wasserlösliches Gas und entsteht bei der unvollständigen Verbrennung kohlenstoffhaltiger Brennstoffe. Kohlenmonoxid wirkt in höheren Konzentrationen giftig, indem es den Sauerstofftransport im Blut blockiert. Akute Vergiftungserscheinungen treten vor allem in geschlossenen Räumen bei laufenden Verbrennungsmotoren, schwelenden Holzkohlegrills oder beispielsweise in Shisha-Bars auf.

Ammoniak (NH₃) ist ein wasserlösliches, stechend riechendes Gas. In der Natur entsteht Ammoniak bei der mikrobiellen Zersetzung stickstoffhaltigen organischen Materials (Pflanzenreste, tierische Exkremente). Ammoniak wirkt reizend auf Augen, Schleimhäute und den Atemtrakt. Es wird in der Atmosphäre schnell umgesetzt und wirkt daher nur in unmittelbarer Nähe zu Emittenten.

Schwefeldioxid (SO₂) reizt die Schleimhäute und die Atemwege. Schwefeldioxid schädigt Pflanzen; insbesondere Nadelhölzer, Moose und Flechten reagieren empfindlich auf erhöhte Schwefeldioxidkonzentrationen in der Luft. Schwefeldioxid trägt zur Versauerung von Böden und Gewässern sowie zu säurebedingten Korrosions- und Verwitterungsschäden an Metallen und Gestein, zum Beispiel an Gebäuden, bei.

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

Arsen, Blei, Cadmium und Nickel

Arsenverbindungen weisen 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.

Immissionsgrenzwerte

Im Jahr 2008 wurde von der Europäischen Union die EU-Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Europäischen Rates über Luftqualität und saubere Luft in Europa verabschiedet. Die Vorgaben dieser Richtlinie wurden mit der achten Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) und der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39.

BImSchV, Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen) im Jahr 2010 in deutsches Recht umgesetzt.

Die 39. BImSchV enthält unter anderem Immissionswerte in Form von Immissionsgrenzwerten, Zielwerten, Informations- und Alarmschwellen sowie kritischen Werten für alle relevanten Luftschadstoffe.

Tab. 3.1-3: Immissionswerte für Luftschadstoffe gemäß der 39. BImSchV.

| Immissionswert | Immissionswert | Mittelungszeitraum | zulässige Anzahl von Überschreitungen | Schutzgut | Definition des Immissionswertes |
|--|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| Stickstoffdioxid (NO ₂) | 200 µg/m ³ | 1 Stunde | 18 im Kalenderjahr | menschliche Gesundheit | Grenzwert |
| | 40 µg/m ³ | Kalenderjahr | – | menschliche Gesundheit | Grenzwert |
| | 400 µg/m ³ | 1 Stunde ¹⁾ | – | menschliche Gesundheit | Alarmschwelle |
| Stickstoffoxide (NO _x) | 30 µg/m ³ | Kalenderjahr | – | Vegetation | kritischer Wert |
| Partikel PM ₁₀ | 50 µg/m ³ | 1 Tag | 35 im Kalenderjahr | menschliche Gesundheit | Grenzwert |
| | 40 µg/m ³ | Kalenderjahr | – | menschliche Gesundheit | Grenzwert |
| Partikel PM _{2,5} | 25 µg/m ³ | Kalenderjahr | – | menschliche Gesundheit | Grenzwert |
| Ozon (O ₃) | 180 µg/m ³ | 1 Stunde | – | menschliche Gesundheit | Informations-schwelle |
| | 240 µg/m ³ | 1 Stunde | – | menschliche Gesundheit | Alarmschwelle |
| | 120 µg/m ³ | 8 Stunden ²⁾ | 25 im Kalenderjahr ³⁾ | menschliche Gesundheit | Zielwert |
| | 18 000 (µg/m ³)-h | AOT40 ⁴⁾ | – | Vegetation | Zielwert |
| | 6 000 (µg/m ³)-h | AOT40 ⁴⁾ | – | Vegetation | langfristiges Ziel |
| Schwefeldioxid (SO ₂) | 350 µg/m ³ | 1 Stunde | 24 im Kalenderjahr | menschliche Gesundheit | Grenzwert |
| | 125 µg/m ³ | 1 Tag | 3 im Kalenderjahr | menschliche Gesundheit | Grenzwert |
| | 500 µg/m ³ | 1 Stunde ¹⁾ | – | menschliche Gesundheit | Alarmschwelle |
| | 20 µg/m ³ | Kalenderjahr | – | Vegetation | kritischer Wert |
| | 20 µg/m ³ | Winterhalbjahr ⁵⁾ | – | Vegetation | kritischer Wert |
| Kohlenmonoxid (CO) | 10 mg/m ³ | 8 Stunden ²⁾ | – | menschliche Gesundheit | Grenzwert |
| Benzol (C ₆ H ₆) | 5 µg/m ³ | Kalenderjahr | – | menschliche Gesundheit | Grenzwert |
| Benzo[a]pyren (C ₂₀ H ₁₂ , B[a]P) in Partikel PM ₁₀ | 1 ng/m ³ | Kalenderjahr | – | menschliche Gesundheit | Zielwert |
| Arsen (As) in Partikel PM ₁₀ | 6 ng/m ³ | Kalenderjahr | – | menschliche Gesundheit | Zielwert |
| Blei (Pb) in Partikel PM ₁₀ | 0,5 µg/m ³ | Kalenderjahr | – | menschliche Gesundheit | Grenzwert |
| Cadmium (Cd) in Partikel PM ₁₀ | 5 ng/m ³ | Kalenderjahr | – | menschliche Gesundheit | Zielwert |
| Nickel (Ni) in Partikel PM ₁₀ | 20 ng/m ³ | Kalenderjahr | – | menschliche Gesundheit | Zielwert |

1) Gemessen an drei aufeinanderfolgenden Stunden.

2) Höchster gleitender 8-Stunden-Mittelwert eines Tages.

3) Gemittelt über drei Jahre, gültige Daten für ein Jahr.

4) AOT40 (accumulated exposure over a threshold of 40 ppb), die summierte Differenz zwischen 1-Stunden-Mittelwerten über 80 µg/m³ (= 40 ppb) und 80 µg/m³ (= 40 ppb) im Zeitraum

1. Mai bis 31. Juli zwischen 8:00 Uhr und 20:00 Uhr mitteleuropäischer Zeit; gemittelt über fünf Jahre, gültige Daten für drei Jahre.

5) 1. Oktober bis 31. März.



3.2 Stickstoffoxide

Emissionen – Quellengruppen

Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂) werden unter der Bezeichnung Stickstoffoxide (NO_x) zusammengefasst. Sie entstehen bei allen Verbrennungsprozessen unter hohen Temperaturen. In der Atmosphäre wird Stickstoffmonoxid vergleichsweise schnell in Stickstoffdioxid umgewandelt.

Das Luftschadstoffemissionskataster weist für das Jahr 2018 eine Freisetzung an Stickstoffoxid von 112 146 Tonnen (t) für Baden-Württemberg aus. Die Quellengruppe Verkehr hatte daran mit 51 % den größten Anteil. Innerhalb der Quellengruppe Verkehr ist der Straßenverkehr hauptsächlich für die Stickstoffoxidemissionen verantwortlich, insbesondere die Personenkraftwagen mit 65 % und die schweren Nutzfahrzeuge mit 21 %. Bei der Quellengruppe Industrie und Gewerbe (22 %) sind dies insbesondere die großen Kraft- und Heizwerke, die Zementindustrie und die Mineralölverarbeitung. Bei den biogenen Systemen (10 %) stammen die Stickstoffoxidemissionen hauptsächlich aus der Mineraldüngung. Die wesentlichen Verursacher bei den sonstigen technischen Einrichtungen (9 %) sind die Geräte, Maschinen und Fahrzeuge der Bau- sowie der Land- und Forstwirtschaft und der Industrie. Bei den kleinen und mittleren Feuerungsanlagen (9 %) sind die privaten Gebäudeheizungen der Hauptemittent.

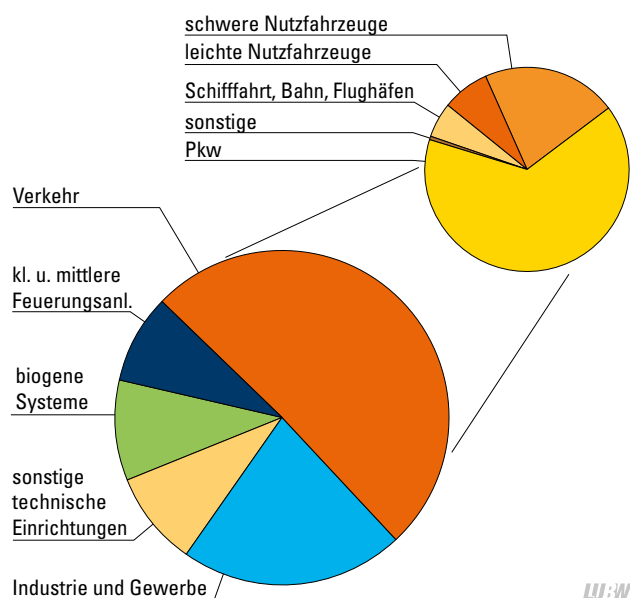


Abb. 3.2-1: Verteilung der Stickstoffoxidemissionen auf Quellengruppen in Baden-Württemberg 2018. Quelle Emissionskataster LUBW, Stand 2021.

Emissionen – Entwicklung

Von 2000 bis 2018 gingen in Baden-Württemberg die Stickstoffoxidemissionen um 43 % zurück. Der größte Rückgang wurde bei den sonstigen technischen Einrichtungen (64 %) erhoben. Die Emissionen des Verkehrs haben in diesem Zeitraum aufgrund von Minderungsmaßnahmen an den Fahrzeugen trotz zunehmender Zulassungszahlen und steigender Fahrleistung abgenommen (48 %). Die Quellengruppe kleine und mittlere Feuerungsanlagen weist in diesem Zeitraum einen Rückgang bei den Stickstoffoxidemissionen von 32 % auf. Die Emissionen dieser Gruppe sind abhängig vom Energieverbrauch und damit von den jeweiligen Temperaturen in der Heizperiode.

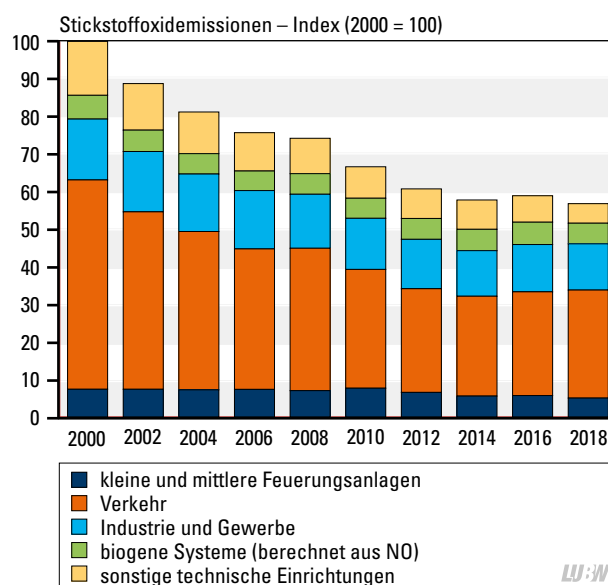


Abb. 3.2-2: Entwicklung der NO_x-Emissionen in Baden-Württemberg von 2000 bis 2018 im Vergleich (2000 = 100 %). Quelle Emissionskataster LUBW, Stand 2021.

Immissionen – Stand und Entwicklung

Die höchsten Stickstoffdioxidimmissionen werden in der Nähe des Straßenverkehrs gemessen. Im Mittel über alle Messstellen ist die NO₂-Belastung verkehrsnah etwa doppelt so hoch wie in städtischen Gebieten, die nicht direkt vom Verkehr beeinflusst sind. In ländlichen Gebieten abseits maßgeblicher Quellen liegt die NO₂-Belastung auf sehr niedrigem Niveau.

Seit 2006 ist bei den verkehrsnahen und den städtischen Messstellen ein abnehmender Trend der Immissionsbelastung erkennbar.

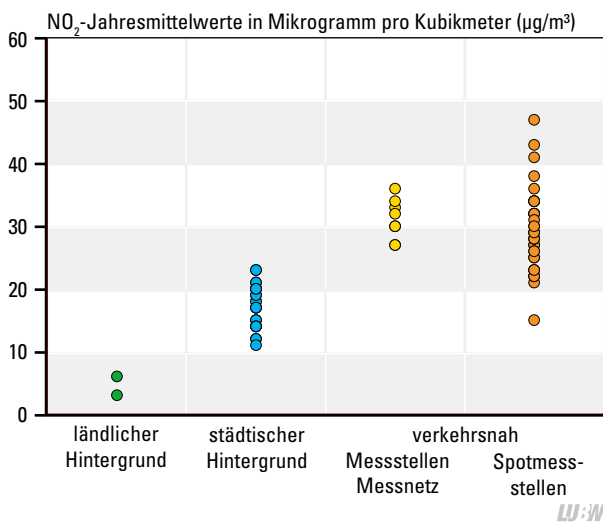


Abb. 3.2-3: Jahresmittelwerte für Stickstoffdioxid im Jahr 2020. Quelle LUBW, Stand 2021.

Immissionen – Überschreitung von Grenzwerten

An den verkehrsnahen Messstellen wurden im Jahr 2020 nur wenige Überschreitungen der Stickstoffdioxidimmissionsgrenzwerte festgestellt.

Immissionsgrenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit: 40 Mikrogramm pro Kubikmeter (µg/m³) im Jahresmittel.

Spotmessstellen verkehrsnah: Überschreitung an 3 von 37 Messstellen.

Im ländlichen und städtischen Hintergrund wurden keine Überschreitungen festgestellt.

Immissionsgrenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit: 200 µg/m³ als 1-Stunden-Mittelwert, maximal zulässig sind 18 Überschreitungen.

Im Jahr 2020 wurde eine Überschreitung des 1-Stunden-Mittelwertes festgestellt.

Die höchste Anzahl der festgestellten Überschreitungen trat im Jahr 2006 auf. An der Messstelle Stuttgart Am Neckartor wurden damals 854 Überschreitungen festgestellt.

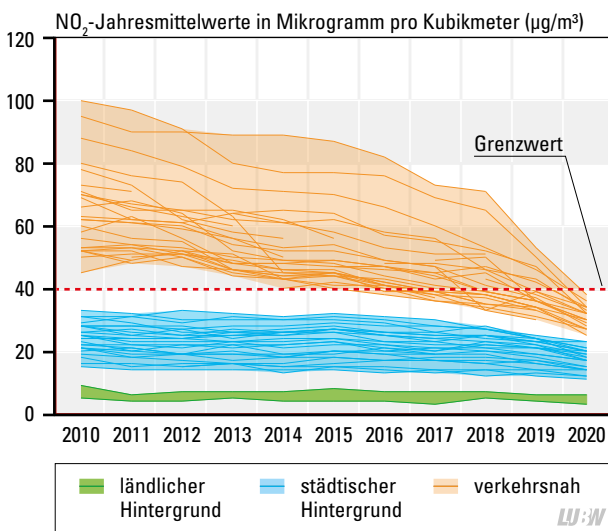


Abb. 3.2-4: Entwicklung der Jahresmittelwerte für Stickstoffdioxid. Quelle LUBW, Stand 2021.

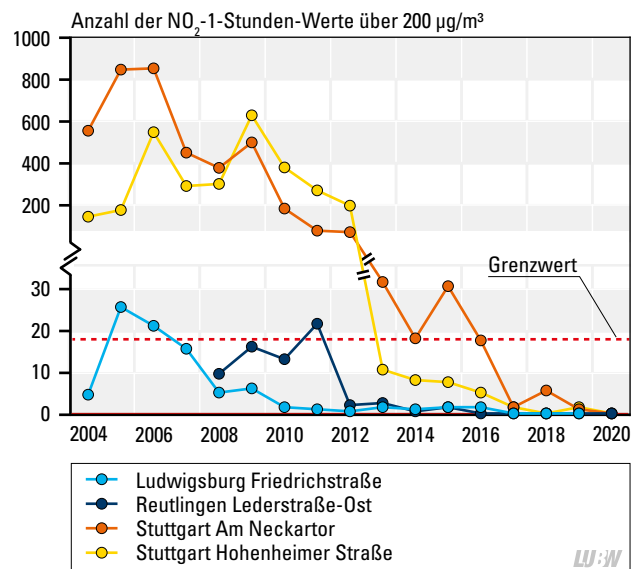


Abb. 3.2-5: Entwicklung der Überschreitungen des 1-Stunden-Mittelwertes von 200 µg/m³ Stickstoffdioxid. Quelle LUBW, Stand 2021.

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 2018 je nach Überschreitungspunkt zwischen 55 und 75 %. Die kleinen und mittleren Feuerungsanlagen verursachten zwischen 9 und 21 % der Immissionsbelastung durch Stickstoffdioxid. Die Industrie, der Offroadverkehr (Schienen-, Schiffs- und Flugverkehr) und die sonstigen technischen Einrichtungen (Land- und Forstwirtschaft, Geräte, Maschinen und sonstige Fahrzeuge) trugen insgesamt zwischen 3 % und 21 % zur Luftbelastung durch Stickstoffdioxid bei [LUBW 2020].

Einfluss der Corona-Pandemie

Im Jahr 2020 haben zeitweise starke Verkehrsreduzierungen im Zusammenhang mit der Corona-Pandemie zu einer Verringerung der NO_x-Emissionen im Straßenraum geführt. Insbesondere beim ersten Lockdown im März 2020 sind die Verkehrsstärken an den Verkehrszählstellen der LUBW um etwa 40 % gesunken. Im Verlauf des Jahres 2020 lagen die Verkehrsstärken durchschnittlich um etwa 10 % niedriger als im Vorjahreszeitraum 2019. Im Teil-Lockdown im November/ Dezember 2020 war der Rückgang der Verkehrsstärken deutlich schwächer ausgeprägt (etwa 20 %) als im ersten Lockdown im März. Erst mit dem harten Lockdown im Zeitraum der Weihnachtsferien 2020 wurde wiederum ein starker Rückgang der Verkehrsstärken um etwa 40 % festgestellt.

Da der Straßenverkehr einer der Hauptverursacher der innerstädtischen Luftverschmutzung ist, hat die Reduzierung der NO_x-Emissionen infolge der geringeren Verkehrsstärken einen direkten Einfluss auf die NO₂-Immission. Allerdings wirkt sich dies nicht im gleichen Maße auf die Immissionen aus, da meteorologische Effekte die Auswirkungen der Emissionsminderung überlagern, beispielsweise austauscharme Wetterlagen oder starker Wind sowie Niederschlag. Die positive Entwicklung der NO₂-Immissionen 2020 ist zum Teil auf die Verkehrsreduzierungen im Zuge der Corona-Pandemie sowie auf die Maßnahmen zur Luftreinhaltung zurückzuführen.

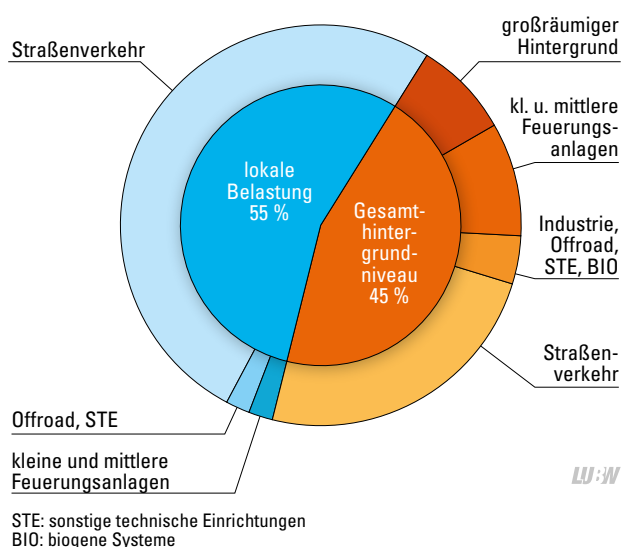


Abb. 3.2-6: Verursacher der NO₂-Immissionen am Messstandort Stuttgart Am Neckartor 2018. Quelle LUBW, Stand 2021.

3.3 Partikel

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 Abwehungen 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 stammten im Jahr 2018 zu 41 % aus der Quellengruppe Verkehr. Industrie und Gewerbe beziehungsweise kleine und mittlere Feuerungsanlagen tragen 20 beziehungsweise 18 % zu den Partikel-PM₁₀-Emissionen bei.

Zwischen 2000 und 2018 nahmen die Partikel PM₁₀-Emissionen um 36 % ab, die Partikel-PM_{2,5}-Emissionen gingen sogar um 54 % zurück. Dabei konnte nicht zuletzt aufgrund der zunehmenden Ausrüstung der Dieselmotoren mit Partikelfiltern beim Verkehr ein Rückgang der Partikel-PM₁₀-Emissionen um 21 % erreicht werden. Bei den sonstigen technischen Einrichtungen und den kleinen und mittleren Feuerungsanlagen nahmen die Partikel-PM-Emissionen in diesem Zeitraum sogar um 81 % (PM₁₀) beziehungsweise 39 % (PM_{2,5}) ab.

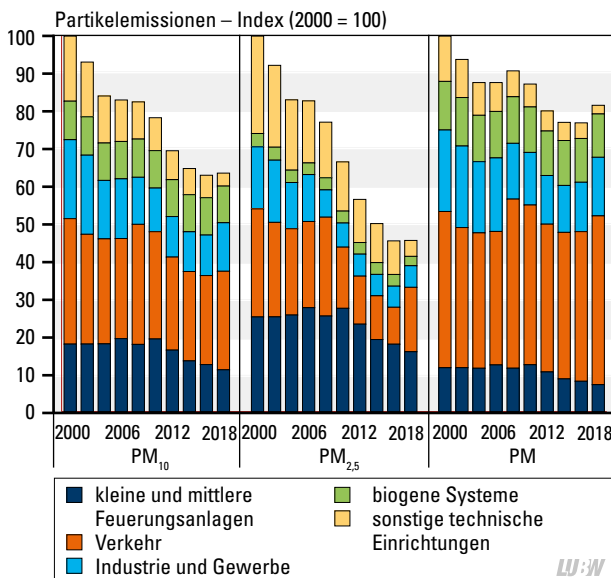


Abb. 3.3-1: Entwicklung der Feinstaubemissionen. Quelle Emissionskataster LUBW, Stand 2021.

Immissionen – Stand und Entwicklung

Die höchsten Partikel-PM₁₀- und -PM_{2,5}-Konzentrationen treten an den verkehrsnahen Messstellen auf.

In den letzten Jahren ist bei den verkehrsnahen und den städtischen Messstellen ein abnehmender Trend bei der Belastung durch Partikel PM₁₀ und PM_{2,5} festzustellen. Erwartungsgemäß liegen die Immissionsbelastungen an den ländlichen Messstellen auf niedrigerem Niveau.

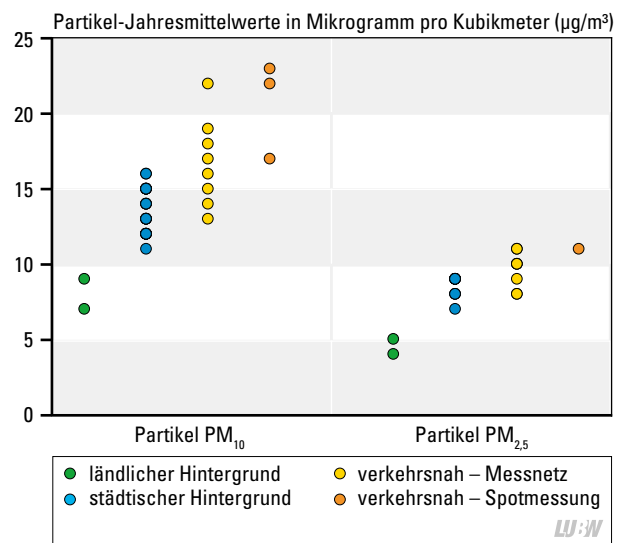


Abb. 3.3-2: Jahresmittelwert für die Partikelimmissionen im Jahr 2020. Quelle LUBW, Stand 2021.

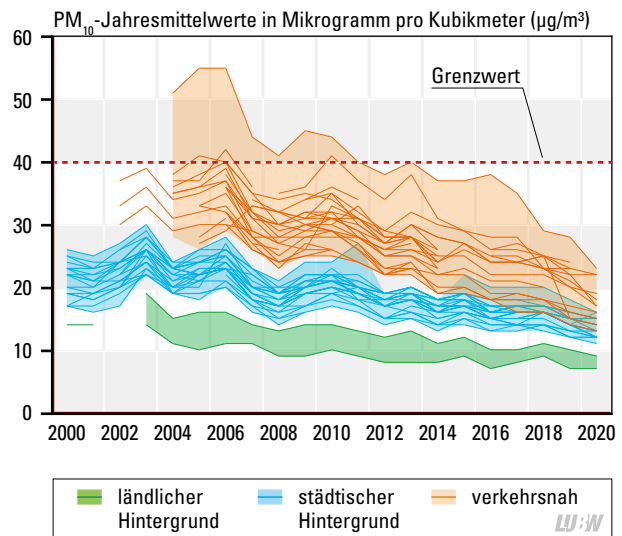


Abb. 3.3-3: Entwicklung der Partikel-PM₁₀-Immissionen. Quelle LUBW, Stand 2021.

Immissionen – Überschreitung von Grenzwerten

Partikel-PM₁₀-Grenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit: 40 Mikrogramm pro Kubikmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) im Jahresmittel.

Der Partikel-PM₁₀-Immissionsgrenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel wurde in Baden-Württemberg zuletzt im Jahr 2010 überschritten, seither wird der Grenzwert landesweit eingehalten. Im Jahr 2020 lag der höchste Jahresmittelwert bei $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und damit deutlich unter dem Grenzwert.

Partikel-PM_{2,5}-Grenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit: $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel.

Der Immissionsgrenzwert für Partikel-PM_{2,5} wird seit seiner Einführung im Jahr 2015 landesweit eingehalten.

Partikel-PM₁₀-Grenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit: $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Tagesmittel.

Der Partikel-PM₁₀-Immissionsgrenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Tagesmittel bei maximal 35 Überschreitungen pro Kalenderjahr wurde in Baden-Württemberg in den Jahren 2014 bis 2017 nur noch an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor überschritten und seit dem Jahr 2018 landesweit eingehalten. Im Jahr 2020 wurden am Neckartor 17 Überschreitungen festgestellt.

Insgesamt hat sich die Häufigkeit von Grenzwertüberschreitungen in den letzten Jahren stark verringert.

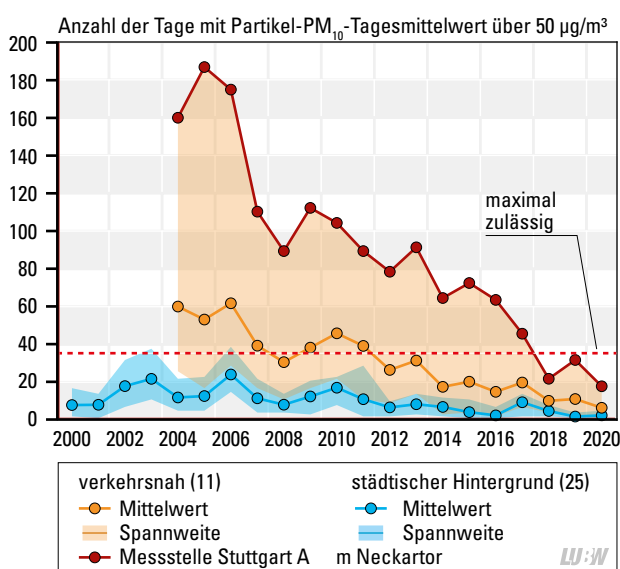


Abb. 3.3-4: Anzahl der Tage mit Überschreitungen des Partikel-PM₁₀-Immissionsgrenzwertes. Quelle LUBW, Stand 2021.

Ursachenanalyse

Der Beitrag des Straßenverkehrs zu den Partikel-PM₁₀-Immissionskonzentrationen des einzigen Überschreitungspunktes Stuttgart Am Neckartor lag im Jahr 2018 bei 53 %, wobei sich der Anteil des Straßenverkehrs aus den Immissionsbeiträgen durch Abgasemissionen (6 %) und aus den Emissionen durch verkehrsbedingten Reifen-, Bremsen- und Straßenabrieb sowie aus Aufwirbelungen (47 %) zusammensetzt. Die kleinen und mittleren Feuerungsanlagen hatten an dem Partikel-PM₁₀-Wert einen Anteil von 4 %, Industrie, Offroadverkehr, sonstige technische Einrichtungen und biogene Quellen einen Anteil von 8 %. Betrachtet man die Anteile der Verursachergruppen an den Partikel-PM₁₀-Belastungen, wird deutlich, dass der Anteil der lokal beziehungsweise in unmittelbarer Nähe der Messstelle liegenden Quellen einen wesentlich geringeren Einfluss auf die Partikel-PM₁₀-Immissionsbelastung hat als bei den Stickstoffdioxidkonzentrationen. Demgegenüber hatte der großräumige Hintergrund im Jahr 2018 einen Anteil von 35 % am Partikel-PM₁₀-Jahresmittelwert.

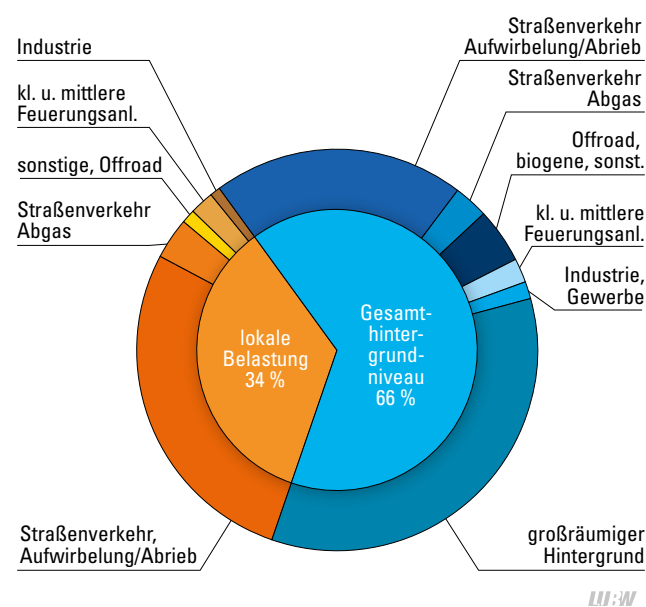


Abb. 3.3-5: Verursacher der Partikel-PM₁₀-Immissionsbelastung am Messpunkt Stuttgart Am Neckartor im Jahr 2018. Quelle LUBW, Stand 2021.

3.4 Ozon und NMVOC als Vorläufersubstanzen des Ozons

Emissionen von NMVOC

Flüchtige organische Verbindungen (Volatile organic Compounds – VOC) tragen zur Bildung von bodennahem Ozon bei. In der Emission werden die VOC ohne das Methan betrachtet (Non-Methane VOC – NMVOC). Die Emissionen der NMVOC betragen im Jahr 2018 in Baden-Württemberg 177 062 Tonnen (t). Hauptverursacher waren mit einem Anteil von 55 % biogene Systeme. Innerhalb der biogenen Systeme sind vor allem die Wälder für die NMVOC-Emissionen verantwortlich. Bei der Quellengruppe Industrie und Gewerbe verursacht das Gewerbe drei Viertel der NMVOC-Emissionen, vor allem beim Einsatz von Reinigungsmitteln, Lacken, Druckfarben und beim Umschlag von Kraftstoffen. Bei den sonstigen technischen Einrichtungen tragen der Einsatz von Produkten mit organischen Lösemitteln, beispielsweise die Anwendung von Reinigungsmitteln, Klebstoffen oder Lacken, sowie die unvollständige Kraftstoffverbrennung in Geräten, Maschinen und Fahrzeugen wesentlich zu den NMVOC-Emissionen bei. Die NMVOC-Emissionen gingen in Baden-Württemberg von 2000 bis 2018 um 21 % zurück. Die Emissionsminderung beim Verkehr von 2000 bis 2018 um 71 % wurde vor allem durch den zunehmenden Anteil von Kraftfahrzeugen mit geregelterm Katalysator erreicht. Bei den kleinen und mittleren Feuerungsanlagen wurde eine Minderung um 53 % erreicht, bei den sonstigen technischen Einrichtungen betrug der Rückgang infolge lösemittelärmerer Produkte und emissionsärmerer Verfahren etwa 32 %.

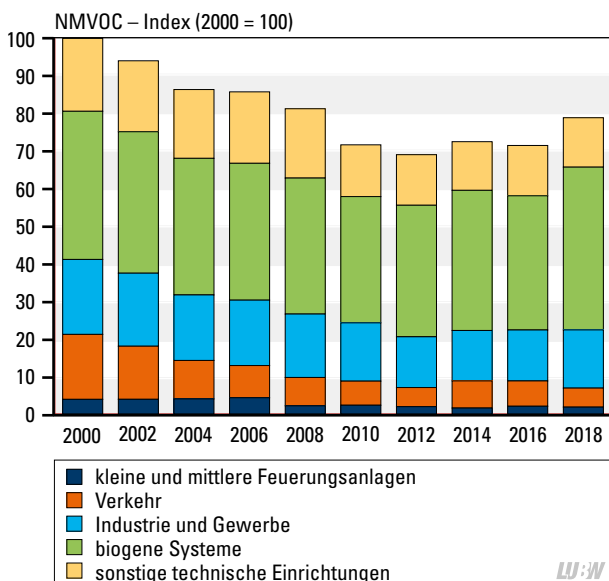


Abb. 3.4-1: Entwicklung der NMVOC-Emissionen. Quelle Emissionskataster LUBW, Stand 2021.

Ozonimmissionen – Entwicklung

Ozon weist eine räumliche Differenzierung mit hohen Konzentrationen vor allem am Stadtrand und in ländlichen Gebieten auf, also entfernt von den Quellen der Vorläufersubstanzen. Während in den Städten das Stickstoffmonoxid zum Abbau von Ozon beiträgt und hier somit eine niedrigere Ozonbelastung zu beobachten ist, wird die verstärkte Ozonbildung im Hintergrund durch den Transport der Vorläufersubstanzen aus den belasteten Gebieten begünstigt. Eine verstärkte Ozonbildung tritt dabei besonders an Sommertagen bei stabilen Hochdruckwetterlagen mit starker Sonneneinstrahlung, hohen Lufttemperaturen und Trockenheit auf. Hieraus resultiert der für Ozon charakteristische Jahresgang mit Maximalkonzentrationen in den Sommermonaten. Seit vielen Jahren ist aufgrund der rückläufigen Vorläufersubstanzen ein Rückgang vor allem der Ozonspitzenkonzentrationen zu beobachten. Potenzial für weiterhin erhöhte Ozonkonzentrationen haben jedoch immer wieder die heißen, trockenen und strahlungsintensiven Sommer der letzten Jahre. Die Jahresmittelwerte der Ozonkonzentrationen steigen dagegen seit einigen Jahren wieder an. Aufgrund der zentralen Lage Baden-Württembergs in Europa spielt hier der grenzüberschreitende Transport von Luftschadstoffen und damit von Ozonvorläufern eine Rolle. Hinzu kommt, dass in den Städten verstärkt die Emissionen von Stickstoffoxiden zurückgehen und so im städtischen Hintergrund weniger ozonreduzierendes Stickstoffmonoxid zur Verfügung steht.

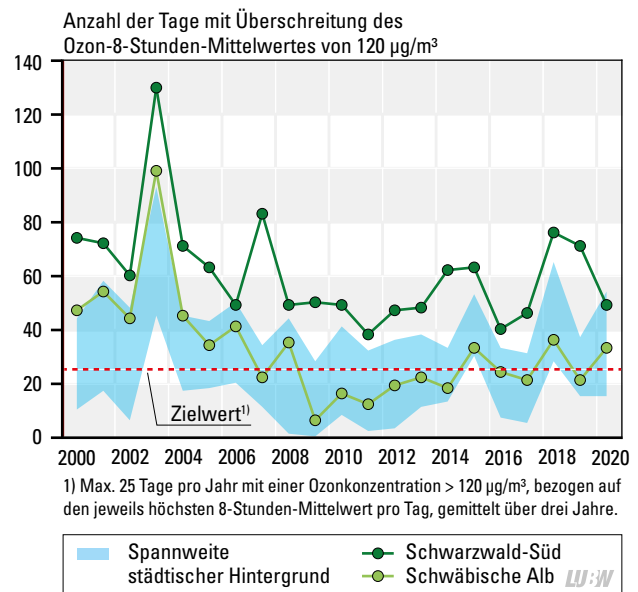


Abb. 3.4-2: Anzahl der Tage mit Überschreitungen des Ozonzielwertes. Quelle LUBW, Stand 2021.

Ozon – Immissionswerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit

Ozonzielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit: 120 Mikrogramm pro Kubikmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) als höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages.

Der Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages und bei 25 zugelassenen Überschreitungen im Kalenderjahr wurde im Jahr 2020 fast flächendeckend in Baden-Württemberg überschritten. Um den starken meteorologischen Einfluss auf die Ozonbildung zu berücksichtigen, wird die Zahl der Überschreitungstage pro Kalenderjahr über drei Jahre gemittelt. Zur Prüfung der Einhaltung des Zielwertes für das Jahr 2020 wurde eine Mittelung der Überschreitungstage für die Jahre 2018, 2019 und 2020 vorgenommen.

Ozoninformationsschwelle zum Schutz der menschlichen Gesundheit: $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Stundenmittel.

Die Informationsschwelle wurde an sechs Tagen im Juli und August 2020 an einigen Messstellen überschritten.

Ozonalarmschwelle zum Schutz der menschlichen Gesundheit: $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Stundenmittel.

Die Alarmschwelle wurde im Jahr 2020 an keiner Messstelle in Baden-Württemberg erreicht.

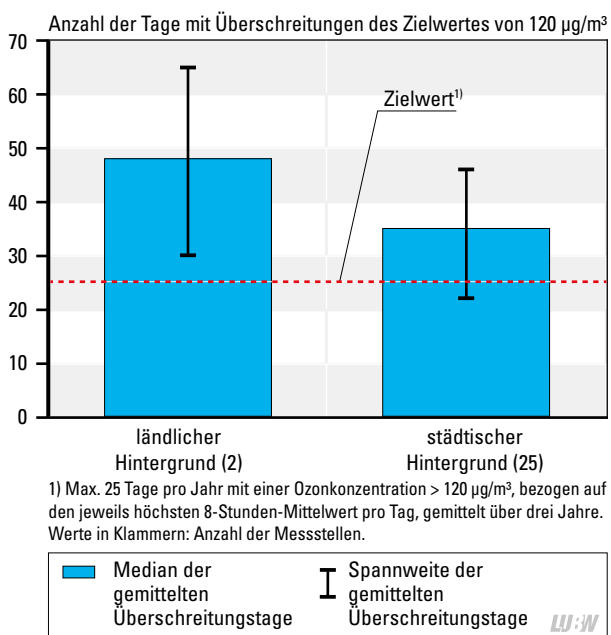


Abb. 3.4-3: Anzahl der Tage mit Überschreitungen des Ozonzielwertes, gemittelt von 2018 bis 2020. Quelle LUBW, Stand 2021.

Ozon – Zielwert zum Schutz der Vegetation

Zielwert zum Schutz der Vegetation vor Ozon: 18 000 Mikrogramm pro Kubikmeter mal Stunde ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$) berechnet als AOT40 (Accumulated Ozone exposure over a Threshold of 40 parts per billion (ppb), kumulierte Ozonbelastung oberhalb des Grenzwertes von 40 ppb) für den Zeitraum Mai bis Juli eines Kalenderjahres.

Der Zielwert von $18\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3) \cdot \text{h}$ wurde im Jahr 2020 an einer Vielzahl von Messstellen in Baden-Württemberg überschritten. Um den starken meteorologischen Einfluss auf die Ozonbildung zu berücksichtigen, ist für die Beurteilung des Zielwertes maßgebend, ob er, über fünf Jahre gemittelt, eingehalten werden kann. Zur Prüfung der Einhaltung des Zielwertes von $18\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3) \cdot \text{h}$ im Jahr 2020 wurde eine Mittelung der AOT40-Werte für die Jahre 2016 bis 2020 vorgenommen.

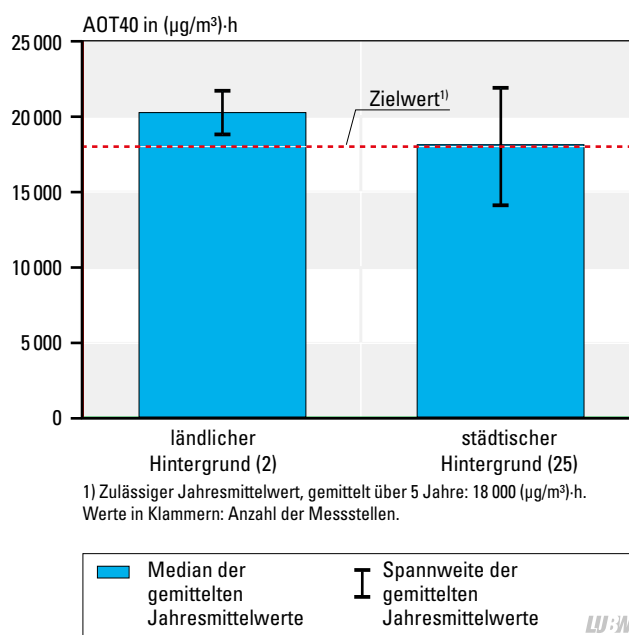


Abb. 3.4-4: Ozonkonzentrationen als AOT40, gemittelt von 2016 bis 2020. Quelle LUBW, Stand 2021.

3.5 Benzol und Kohlenmonoxid

Benzol

Emissionen

Hauptemissionsquellen von Benzol sind die Verbrennung von Benzin in Kraftfahrzeugen, Verdunstungsverluste beim Betanken und aus den Motoren sowie Holzfeuerungsanlagen. Die Gesamtemissionen von 811 Tonnen (t) im Jahr 2018 stammten zu 71 % aus dem Verkehr. 21 % wurden von kleinen und mittleren Feuerungsanlagen emittiert, davon 99 % von Holzfeuerungsanlagen. Durch die Begrenzung des Benzolgehalts im Ottokraftstoff auf 1 Vol.-% seit dem 1. Januar 2000 (10. BImSchV), der Einführung von Gasrückführungssystemen in Tankanlagen und der Verbreitung von Kraftfahrzeugen mit geregeltem Katalysator haben die Benzolemissionen des Verkehrs seit 2000 um 52 % abgenommen. Insgesamt verminderten sich in diesem Zeitraum die Benzolemissionen jedoch nur um 37 %. Grund hierfür ist die zunehmende Verwendung von Holz als Brennstoff in kleinen und mittleren Feuerungsanlagen, die seit 2000 zu einer 3-fachen Erhöhung der Benzolemissionen aus dieser Quellengruppe geführt hat.

Immissionen

Aufgrund der geringen Immissionsbelastung wird Benzol seit 2017 nur noch an der Verkehrsmessstelle Mannheim Friedrichsring und an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor gemessen. An beiden Messstellen lagen die gemessenen Benzolkonzentrationen im Jahr 2020 mit 0,9 Mikrogramm pro Kubikmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) und $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ weit unterhalb des Immissionsgrenzwertes zum Schutz der menschlichen Gesundheit von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

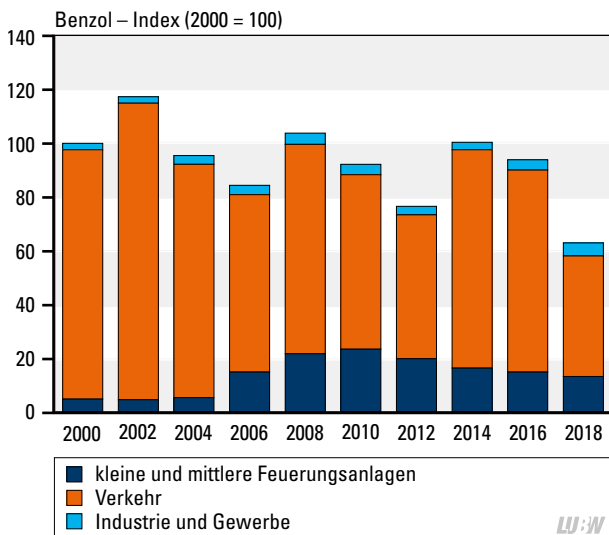


Abb. 3.5-1: Entwicklung der Benzolemissionen. Quelle Emissionskataster LUBW, Stand 2021.

Kohlenmonoxid

Emissionen

Die Kohlenmonoxidemissionen von 201096 Tonnen (t) im Jahr 2018 wurden zu 52 % vom Verkehr und zu 25 % von kleinen und mittleren Feuerungsanlagen verursacht. Durch die weitgehende Ausrüstung der Benzinfahrzeuge mit einem geregelten Katalysator sanken die Kohlenmonoxidemissionen des Verkehrs im Zeitraum 2000 bis 2018 um 71 %, während die Kohlenmonoxidemissionen insgesamt um 64 % abnahmen. Des Weiteren führte im gleichen Zeitraum die Einführung des Katalysators bei den Geräten/Maschinen/Fahrzeugen in der Quellengruppe sonstige technische Einrichtungen zu einem Rückgang der Kohlenmonoxidemissionen um 46 %.

Immissionen

Infolge der starken Reduktion der Kohlenmonoxidemissionen hat die Belastung durch Kohlenmonoxid in Baden-Württemberg in den letzten Jahren stetig abgenommen. Der stärkste Rückgang war Ende der 1990er-Jahre zu beobachten. Aufgrund der heute nur noch geringen Immissionsbelastung wird Kohlenmonoxid nur noch an den acht Verkehrsmessstellen gemessen. Der Immissionsgrenzwert von 10 Milligramm pro Kubikmeter (mg/m^3) als höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages zum Schutz der menschlichen Gesundheit vor Kohlenmonoxid wurde wie auch in den letzten Jahren im Jahr 2020 an allen Messstellen weit unterschritten. Die maximalen 8-Stunden-Mittelwerte lagen im Bereich von $0,8 \text{ mg}/\text{m}^3$ bis $1,7 \text{ mg}/\text{m}^3$.

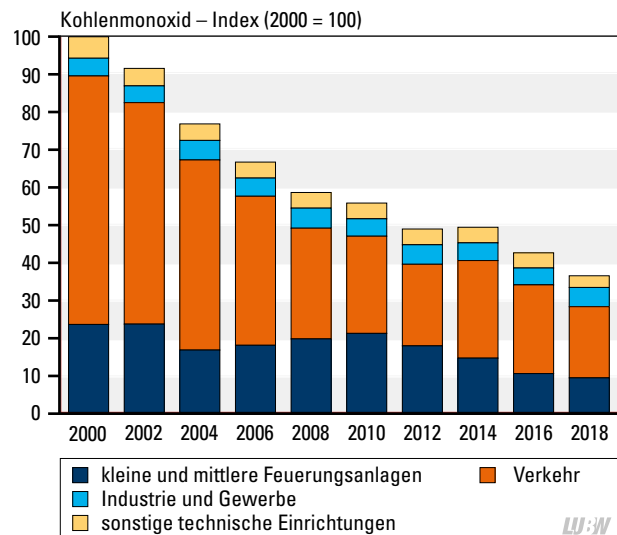


Abb. 3.5-2: Entwicklung der Kohlenmonoxidemissionen. Quelle Emissionskataster LUBW, Stand 2021.

„Der Oberrhein wächst zusammen: mit jedem Projekt“

Grenzüberschreitende Zusammenarbeit am Oberrhein auf dem Gebiet der Luftreinhaltung

Seit 30 Jahren arbeitet Baden-Württemberg in Themen der Luftreinhaltung eng mit den Nachbarländern Rheinland-Pfalz, Schweiz und Frankreich zusammen. Gefördert werden diese grenzüberschreitenden Projekte im Rahmen der Interreg-Programme der EU.

Unter dem Dach der deutsch-französisch-schweizerischen Oberrheinkonferenz beschäftigt sich der Expertenausschuss Luftreinhaltung unter anderem mit

- der Initiierung und Begleitung von Interreg-Projekten zur Luftreinhaltung am Oberrhein,
- dem Erfahrungsaustausch über Themen der Luftreinhaltung wie Mikrosensoren oder Fahrzeugemissionen,
- der Begleitung von Messungen mit Mikrosensoren unter Bürgerbeteiligung und
- der Berichterstattung über die Luftqualität.

Seit Beginn der Interreg-Programme 1991 hat es fünf Projekte zur grenzüberschreitenden Luftreinhaltung gegeben:

1993 - 1995 Luftreinhalteplan Straßburg-Ortenau

Erstellung eines gemeinsamen Emissions- und Immissionskatasters.

1996 - 2000 Grenzüberschreitende Luftqualitätsanalyse Oberrhein

Aktualisierung des gemeinsamen Emissions- und Immissionskatasters. Zusätzlich fanden Immissionsmessungen auf Traversen quer zum Rhein statt, und anhand der Emissionsdaten wurden Ursachenanalysen durchgeführt.

2001 - 2006 Atmo-rhenA

Aufbau einer gemeinsamen Internetplattform mit aktuellen und langjährigen Luftmesswerten sowie von Aufbau einer Modellierungskette für die Prognose der Luftqualität über 3 Tage.

www.atmo-rhena.net

2012 - 2014 Atmo-IDEE

Rheinüberschreitende Luftreinhaltung im Eurodistrikt Strasbourg-Ortenau und am Oberrhein. Dabei stand die Bereitstellung von Daten zur Immissionsvorbelastung sowie Emissionsdaten für Genehmigung von Industrieanlagen im Fokus.

www.atmo-idee.eu

2018 - 2020 Atmo-VISION – Strategien für eine bessere Luft am Oberrhein

Erarbeitung von 40 Maßnahmen für eine bessere Luft am Oberrhein. Unter anderem wurden zwei Modelle zur Berechnung der Luftbelastung erstmalig für das Oberrheingebiet eingesetzt. Grenzüberschreitend wurden die Emissionen der Luftschadstoffe und Treibhausgase sowie der Energieverbrauch und die Erzeugung erneuerbarer Energien erhoben. Mit einer Messkampagne wurde die Luftbelastung grenzüberschreitend erfasst und Ursachenanalysen durchgeführt.

www.atmo-vision.eu/de

Nach umfangreichen Tests von Mikrosensoren konnten Straßenbahnen und eine Drohne bestückt und die Mikrosensoren der Zivilgesellschaft (Vereine, Bürger) für Messungen zur Verfügung gestellt werden. Mit dem Ziel, junge Menschen für die Probleme der Luftreinhaltung zu sensibilisieren, wurde umfangreiches Lehrmaterial erstellt. Mit einer Charta soll ein Netzwerk der Akteure im Oberrhein auf dem Gebiet Luft/Klima/Energie aufgebaut werden.



3.6 Ammoniak

Emissionen

Für Ammoniak sind in der 39. BImSchV (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen) für Deutschland Emissionshöchstmengen von 550 Kilotonnen pro Jahr (kt/a) festgelegt, die seit 2011 einzuhalten sind. Die Ammoniakemissionen in Baden-Württemberg betragen im Jahr 2018 insgesamt 54,4 kt. Ammoniak stammte im Jahr 2018 zu 96 % aus der Quellengruppe biogene Systeme, insbesondere aus landwirtschaftlichen Tätigkeiten wie Nutztierhaltung, Düngung und Biogasproduktion. Die Ammoniakemissionen, die als Nebenprodukt im geregelten Dreiwegekatalysator bei Benzinfahrzeugen oder über moderne Abgasnachbehandlungssysteme von Dieselfahrzeugen (SCR-Systemen mit AdBlue-Eindüsung) entstehen, machten im Jahr 2018 einen Anteil von 3 % aus.

Schwerpunkte der Ammoniakemissionen sind in Baden-Württemberg die Gebiete mit hohem Viehbestand wie die Regionen Hohenlohe, Ostalb und Oberschwaben. Von 2000 bis 2018 stagnierten die Gesamt-Ammoniakemissionen bei 50 kt/a trotz des erheblichen Rückgangs der Rinder- und Schweinebestände und der Anwendung der guten fachlichen Praxis gemäß der Düngverordnung (DüV). Gründe hierfür sind, dass diese beiden Faktoren sowohl durch die Zunahme der Milchleistung als auch durch die erhebliche Ausweitung der Biogasproduktion egalisiert wurden. Die Ammoniakemissionen durch den Straßenverkehr stiegen, wenn auch auf niedrigem Ausgangsniveau, im gleichen Zeitraum um 27 %, in der Quellengruppe Industrie um mehr als das 2-Fache an.

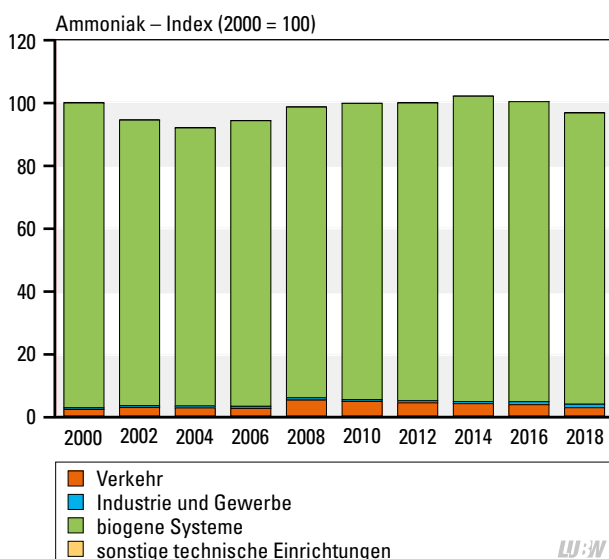


Abb. 3.6-1: Entwicklung der Ammoniakemissionen. Quelle Emissionskataster LUBW, Stand 2021.

Immissionen

Im Jahr 2020 wurden an 15 Standorten in Baden-Württemberg Messungen der Ammoniakkonzentration durchgeführt. Die Ammoniakmessungen finden zum einen im emittentenernen Umfeld, also in größerer Entfernung, beispielsweise zu landwirtschaftlichen und industriellen Emittenten, statt. Diese emittentenernen Messungen sollen eine Bewertung der Ammoniakvorbelastung für das jeweilige Umfeld ermöglichen.

udo.lubw.baden-wuerttemberg.de >
Stickstoff

Für das emittentennahe Umfeld finden Ammoniakmessungen zum anderen in direkter Nähe zu verkehrsgeprägten Standorten, zum Beispiel am Straßenrand, statt, um auch dort emissionsbedingte Veränderungen feststellen zu können, beispielsweise den Einsatz von Katalysatoren. Diese Messungen spiegeln die Immissionsituation in unmittelbarer Verkehrsnähe, also emittentennah, wider. Messungen im Umfeld der größten Emittenten, nämlich der Landwirtschaft, werden nicht durchgeführt. Da eine Neukonzeption der Messstandorte erfolgte, sind hier die Ergebnisse des Untersuchungsjahres 2020 dargestellt.

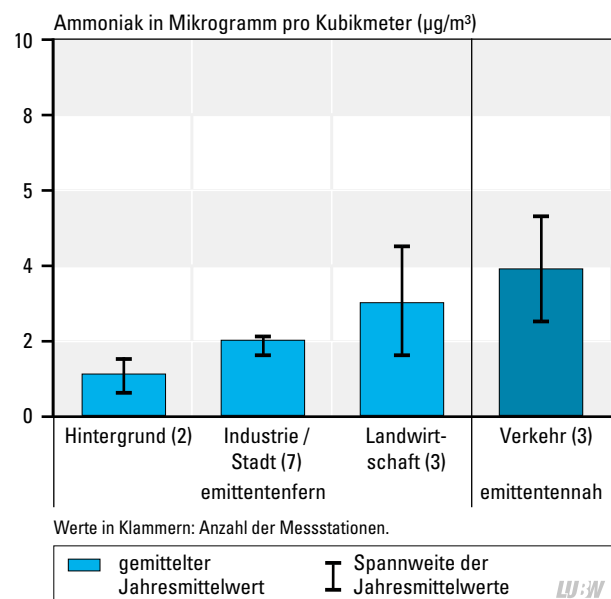


Abb. 3.6-2: Gemittelte Ammoniakkonzentrationen im emittentenernen und emittentennahe Umfeld im Jahr 2020. Quelle LUBW, Stand 2021.



3.7 Schwefeldioxid

Emissionen

Schwefeldioxidemissionen entstehen bei der Verbrennung schwefelhaltiger Brennstoffe, insbesondere von Kohle und Heizöl. Im Jahr 2018 wurden in Baden-Württemberg 12802 Tonnen (t) Schwefeldioxid emittiert, davon 94 % durch Kraftwerke und Industriefeuerungen sowie 4 % durch kleine und mittlere Feuerungsanlagen. Insgesamt nahmen die Emissionen von Schwefeldioxid zwischen 2000 und 2018 um 68 % 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 49 % gesunken. Auch bei den kleinen und mittleren Feuerungsanlagen hat sich der Rückgang der Emissionen um 96 % 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 95 % beim Verkehr bewirkte der Einsatz von schwefelfreiem Dieseldieselkraftstoff (maximal 10 Milligramm Schwefel je Kilogramm Dieseldieselkraftstoff), sodass dieser kaum noch zur Schwefeldioxidemission beiträgt.

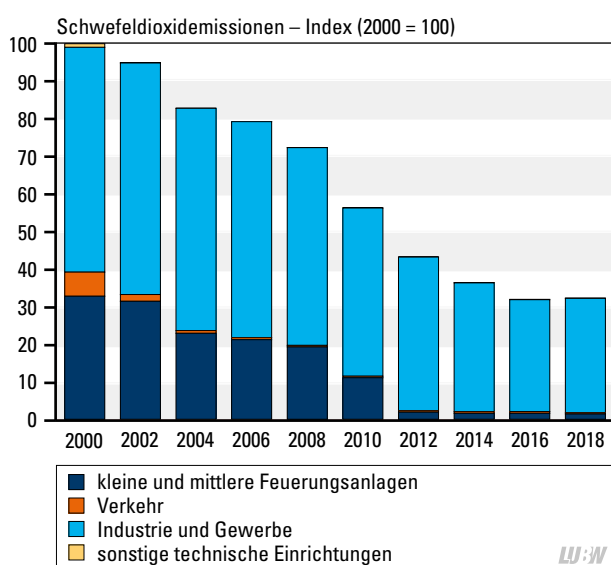


Abb. 3.7-1: Entwicklung der Schwefeldioxidemissionen. Quelle: Emissionskataster LUBW, Stand 2021.

Immissionen

Infolge der starken Reduktion der Schwefeldioxidemissionen ist die Belastung durch Schwefeldioxid in Baden-Württemberg seit vielen Jahren rückläufig, besonders stark war der Rückgang in den 1990er-Jahren. Aufgrund der in den letzten Jahren nur noch geringen Immissionsbelastung wird Schwefeldioxid nur noch an den vier Messstellen Aalen, Eggenstein, Mannheim-Nord und Schwarzwald-Süd gemessen.

Schwefeldioxidgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit: 350 Mikrogramm pro Kubikmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) im Stundenmittel und 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Tagesmittel.

Kritischer Wert zum Schutz der Ökosysteme vor Schwefeldioxid: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel.

Für Schwefeldioxid wurden im Jahr 2020 an allen Messstellen in Baden-Württemberg alle drei Immissionswerte weit unterschritten.

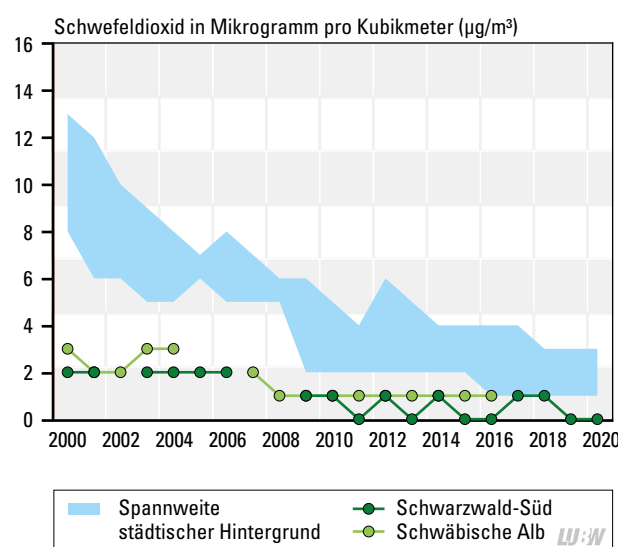


Abb. 3.7-2: Entwicklung der Schwefeldioxidimmissionen. Quelle: LUBW, Stand 2021.

3.8 Inhaltsstoffe von Partikeln PM₁₀

Benzo[a]pyren (BaP)

Emissionen

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe werden überwiegend durch Verbrennungsprozesse in Feuerungsanlagen verursacht. Im Jahr 2018 wurden in Baden-Württemberg insgesamt 549 Kilogramm Benzo[a]pyren (BaP) emittiert. Hauptverursacher für die BaP-Freisetzung war mit 86 % die Quellengruppe kleine und mittlere Feuerungsanlagen, gefolgt von der Quellengruppe Verkehr. Seit dem Jahr 2000 sind die Emissionen um 70 % zurückgegangen.

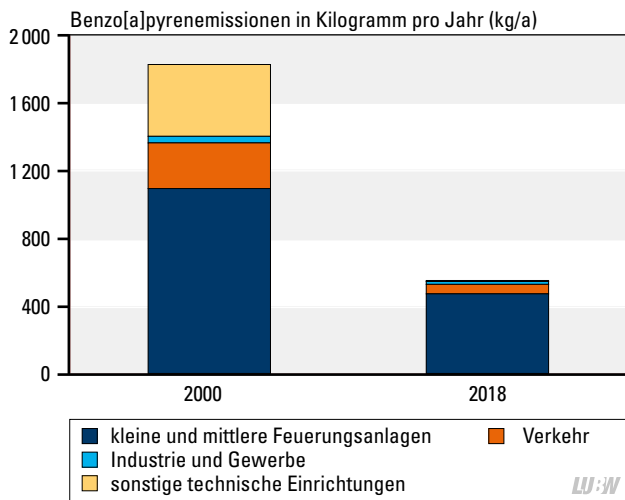


Abb. 3.8-1: Emissionen von Benzo[a]pyren 2000 und 2018. Quelle Emissionskataster LUBW, Stand 2021.

Immissionen

Der Zielwert von Benzo[a]pyren in Höhe von 1 Nanogramm pro Kubikmeter (ng/m³) im Jahresmittel wurde im Jahr 2020 landesweit eingehalten.

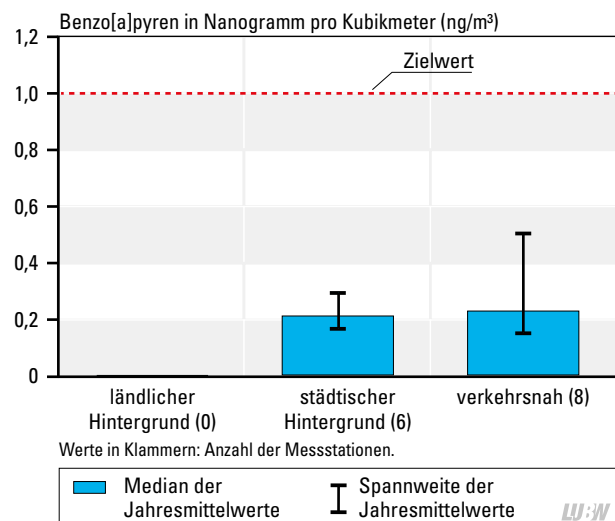


Abb. 3.8-2: Immissionen von Benzo[a]pyren. Quelle LUBW, Stand 2021.

Blei, Arsen, Cadmium und Nickel

Emissionen

Während Blei bis zum Verbot bleihaltiger Zusätze in Kraftstoffen hauptsächlich durch den Verkehr freigesetzt wurde, sind die heutigen Hauptquellen atmosphärischer Emissionen von Arsen (As), Cadmium (Cd) und Nickel (Ni) die Verbrennung von Öl und Kohle in Feuerungsanlagen. Im Jahr 2018 wurden in Baden-Württemberg 9 475 Kilogramm (kg) Blei, 252 kg Arsen, 152 kg Cadmium sowie 1 123 kg Nickel freigesetzt.

Immissionen

Aufgrund der geringen Immissionsbelastung werden die Metalle in der Partikelfraktion PM₁₀ nur noch an wenigen Messstellen in Baden-Württemberg erfasst. Der Immissionsgrenzwert für Blei beziehungsweise die Zielwerte für Arsen, Cadmium und Nickel wurden an allen Messstellen weit unterschritten.

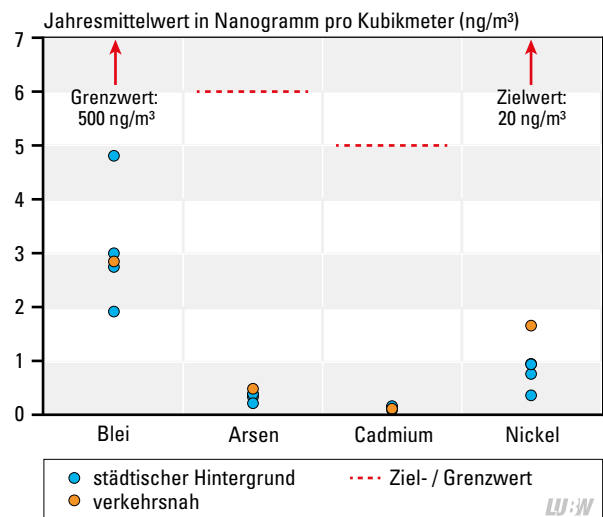


Abb. 3.8-3: Immissionen von Blei, Arsen, Cadmium und Nickel in Partikeln PM₁₀. Quelle LUBW, Stand 2021.

3.9 Depositionen

Staubniederschlag

Für den langjährigen Trend konnten an 3 der 6 Standorte die Staubniederschläge für unterschiedliche Regionen in Baden-Württemberg ausgewertet werden. Diese Regionen unterscheiden sich beispielsweise hinsichtlich ihres Emissionspotenzials, ihrer Niederschlagsmenge und ihres Vegetationsspektrums:

- Schwäbische Alb – naturnahe Umgebung ohne direkten Emittenteneinfluss,
- Mannheim-Nord – industriell und damit höheres Emissions- und Eintragungspotenzial und
- Isny – niederschlagsreiches landwirtschaftlich geprägtes Umfeld.

An den 6 Messstandorten lag der Staubniederschlag im Jahr 2020 in einem Wertebereich zwischen 0,03 Gramm pro Quadratmeter und Tag ($g/(m^2 \cdot d)$) und $0,07 g/(m^2 \cdot d)$ und damit deutlich unter dem Immissionswert von $0,35 g/(m^2 \cdot d)$.

Der Schutz vor erheblichen Belästigungen oder Nachteilen durch Staubniederschlag ist sichergestellt, wenn der Immissionswert an keinem Beurteilungspunkt überschritten wird [TA LUFT 2002]. Seit Beginn der Messungen ist der Trend bei den Staubniederschlägen leicht abnehmend. Die höchsten Staubniederschläge liegen in den Städten vor.

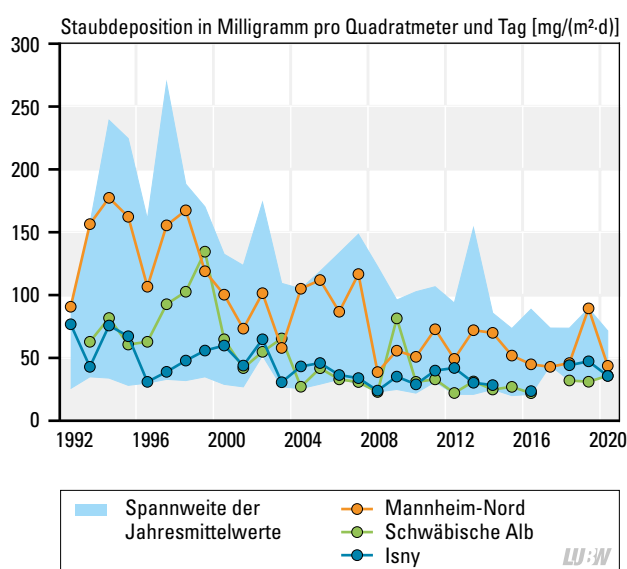


Abb. 3.9-1: Entwicklung der Staubniederschläge. Quelle LUBW, Stand 2021.

Schwermetalldeposition

Zusätzlich zum Staubniederschlag werden in Baden-Württemberg seit dem Jahr 2007 auch die Depositionen besonders gesundheitsrelevanter Substanzen („Schwermetalle“), die im Staubniederschlag enthalten sind, gemessen. Hierzu zählt neben Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd) und Nickel (Ni), die auch in Partikeln PM_{10} überwacht werden, auch Antimon (Sb). Es stammt zum Beispiel aus dem Abrieb von Bremsbelägen. Mit einer Neukonzeption des Depositionsmessnetzes im Jahr 2018 wurde Chrom (Cr) mit aufgenommen, das unter anderem aus Legierungen und Verchromungen stammt. Thallium (Tl) und Quecksilber (Hg) werden nicht mehr erfasst, da diese Depositionen an den Messstandorten unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Die mittleren jährlichen Schwermetalldepositionen für die Jahre 2007 bis 2020 lagen bei allen gemessenen Stoffen weit unterhalb der entsprechenden Immissionswerte. Die höchsten Schwermetalldepositionen finden in städtisch beziehungsweise industriell geprägten Gebieten statt.

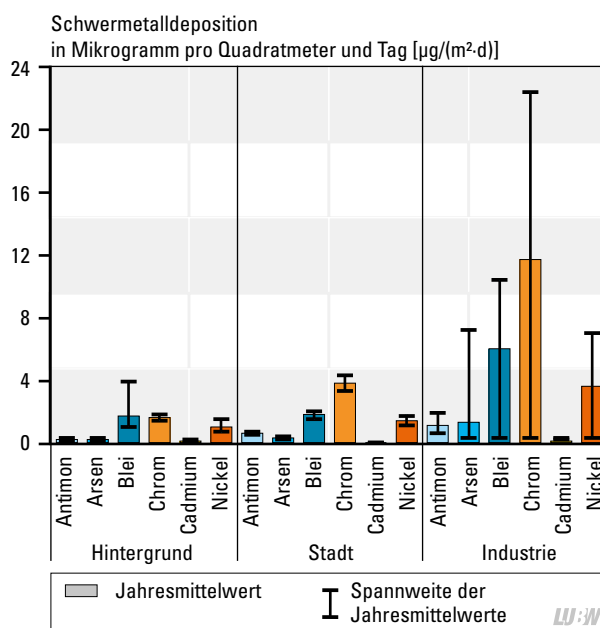


Abb. 3.9-2: Schwermetalldeposition, gemittelt von 2007 bis 2020. Quelle LUBW, Stand 2021.



4 Boden

Das Wichtigste in Kürze

Im Rahmen des **Moorkatasters** werden seit 2014 in acht Hochmooren Pegelmessungen zum Monitoring der Wasserverhältnisse durchgeführt. Für das Moorkwachstum ungünstige Wasserstände von mehr als 20 cm unter der Geländeoberfläche sind bis 2020 je nach Moor an 0,1 % bis 41 % der Tage aufgetreten. Die Unterschiede resultieren weniger aus der Niederschlagsverteilung als aus der jeweiligen standortspezifischen Struktur.

DI-PCB sind polychlorierte Biphenyle mit einer dioxinartigen (dl = dioxine-like) Wirkung. Ihre Verbreitung in den Böden Baden-Württembergs wurde in Abhängigkeit maßgeblicher Eintragspfade näher untersucht. Da Böden mit Überschwemmungseinfluss tendenziell die höchsten dl-PCB-Gehalte aufweisen, kann das Abwasser, vermittelt über Sedimenteintrag, als maßgeblicher Eintragspfad angenommen werden. Lokal können Einträge über den Luftpfad eine Rolle spielen.

Flächendeckend werden in nicht spezifisch belasteten Böden des landesweiten Bodenmessnetzes (sogenannten „Hintergrundböden“) **per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)** in geringen Konzentrationen gemessen. Als naheliegende Eintragsursache wird ein ubiquitärer Eintrag über den Luftpfad angenommen.

Seit Beginn der Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg im Jahr 1987 wurden insgesamt 105 662 Flächen erfasst, die bereits weitestgehend nach den Kriterien der Altlastenbewertung eingestuft sind. Aktuell werden 14 998 **altlastverdächtige Flächen** und 2 699 **Altlasten** im Bodenschutz- und Altlastenkataster geführt. Landesweite Auswertungen zeigen, dass seit dem Start der Altlastenbearbeitung bei 43 461 Fällen (41 %) der Verdacht einer Altlast ausgeräumt worden ist und diese aus der Bearbeitung ausgeschieden werden konnten.



Foto: H.Hohl/LUBW

| | |
|---|-----------|
| 4.1 MOORKATASTER | 72 |
| Gründlenried-Rötseemoos | 72 |
| Wasserstände | 72 |
| Wassertemperatur und Leitfähigkeit | 73 |
| 4.2 DIOXINÄHNLICHE POLYCHLORIERTER BIPHENYLE (DL-PCB) IN BÖDEN | 74 |
| Was sind dl-PCB? | 74 |
| Toxizität von dl-PCB | 74 |
| Gesetzliche Regelungen für dl-PCB | 75 |
| dl-PCB Verbreitung in Böden | 75 |
| Gemeinsame Bewertung von dl-PCB und Dioxine/Furane | 76 |
| Zusammenhang zwischen PCB6 und dl-PCB TEQ | 76 |
| 4.3 PER- UND POLYFLUORIERTER CHEMIKALIEN IM BODEN | 77 |
| Was sind PFAS? | 77 |
| PFAS-Gehalte im Boden | 78 |
| 4.4 ALTLASTEN | 79 |
| Erfassung | 79 |
| Altlastverdächtige Flächen | 79 |
| Gefährdungsabschätzung | 80 |
| Sanierung | 80 |
| EROSIONSMONITORING DER LUBW | 81 |

4.1 Moorkataster

Gründlenried-Rötseemoos

Im Rahmen des Moorkatasters werden seit 2014 in acht Mooren Wasserstandsmessungen durchgeführt. Bei den Wasserstandsmessungen sind aufgrund der kurzen Zeitreihe noch keine Trends ableitbar. Methodische Schwierigkeiten bei der Festlegung der Geländeoberkante in Hochmooren um ±10 Zentimeter sind zu berücksichtigen.

Der Überblick über die Wasserversorgung der acht Moore zeigt sehr unterschiedliche prozentuale Anteile der Zeiträume mit für das Moorwachstum ungünstigen Wasserständen in 0,1 % bis 41 % des Beobachtungszeitraums.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Boden > **Das Moorkataster**

Mit Blick aus nördlicher Richtung auf das stark überhöhte Relief des Gründlenried-Rötseemooses auf Basis des digitalen Geländemodells ist deutlich die ehemalige Torfabbaufläche mit den Torfstichkanten erkennbar, dahinter beziehungsweise südlich liegend die noch intakt gebliebene Hochmoorfläche. Die **Hochmooroberfläche** des Gründlenried-Rötseemooses ist praktisch eben mit einem in natura kaum wahrnehmbaren Gefälle von Süd nach Nord sowie von Ost nach West um etwa 0,4 %.

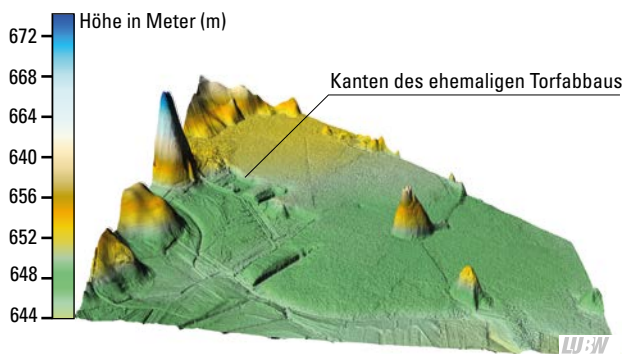


Abb. 4.1-1: Stark überhöhtes Relief des Hochmoorbereichs im Gründlenried-Rötseemoos, von Norden betrachtet. Quelle LUBW; LGL; BKG.

Wasserstände

Die bisherige 7-jährige Pegelmessreihe im intakten Hochmoorbereich des Gründlenried-Rötseemooses zeigt Wasserstände, die im Bereich -20 und +27 Zentimeter (cm) gegenüber der 2014 eingemessenen Geländeoberkante schwanken. Erst ab Wasserständen, die längere Zeit unterhalb von -20 cm liegen, wird von Einschränkungen des Moorwachstums ausgegangen, sodass für das Gründlenried-Rötseemoos durchweg günstige Wasserstände für das Torfmoorwachstum beobachtet werden können. Der historische Torfabbau und die vorhandenen Entwässerungsgräben haben damit zumindest auf den zentralen Hochmoorbereich keinen negativen Einfluss.

Im Bereich des Messpegels neigt der Torfkörper zudem zum Aufschwimmen (auf einem sogenannten Wasserkissen). Dadurch stellt sich für die Moorvegetation ein günstiger Abstand zur Wasseroberfläche ein, der nicht mehr vom Wasserstand, sondern nur noch vom spezifischen Gewicht des auftriebenden Moorkörpers abhängt.

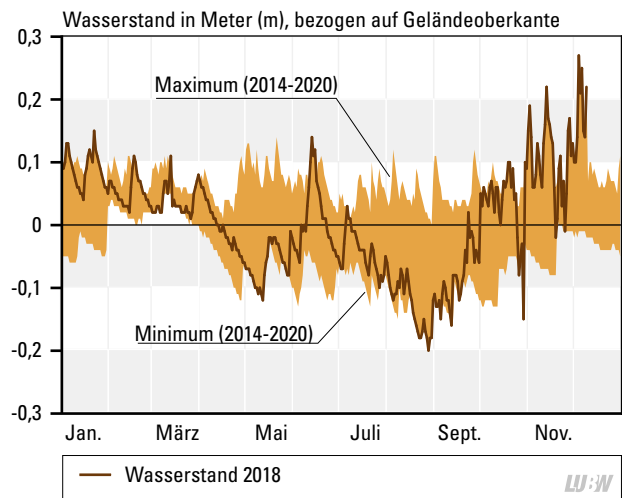


Abb. 4.1-2: Gemessene Wasserstände im intakten Hochmoorbereich des Gründlenried-Rötseemooses 2018 (Spätsommerdürre) sowie die minimalen und maximalen Wasserstände im Messzeitraum 2014 bis 2020. Die Nulllinie entspricht der Geländeoberfläche, die bei der Installation des Pegels im April 2014 eingemessen wurde. Quelle LUBW, Stand 2021.

Tab. 4.1-1: Ausgewählte Kennzahlen der Moore mit Pegelmessungen und modellierten Klimadaten, Messzeitraum 2014 bis 2020.

| | Höhenlage in m ü. NN | Niederschlag in mm/a | Lufttemperatur in °C | Tage mit Wasser- stand < 20 cm | Elektrische Leit- fähigkeit in µS/cm |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|
| Gründlenried-Rötseemoos | 651 | 1173 | 9,2 | 0,1 % | 35 |
| Hirschenmoor | 879 | 1388 | 7,4 | 17 % | 30 |
| Hornisgrinde | 1158 | 2010 | 6,6 | 36 % | 41 |
| Kohlhüttemoos | 1048 | 1631 | 6,5 | 32 % | 34 |
| Rotmeer | 961 | 1334 | 7,3 | 31 % | 46 |
| Taubenmoos | 982 | 1620 | 6,3 | 41 % | 28 |
| Wildseemoor | 904 | 1433 | 7,0 | 23 % | 50 |
| Wurzacher Ried | 652 | 1040 | 9,0 | 1 % | 36 |

LU:W

Wassertemperatur und Leitfähigkeit

Neben Wasserstandsmessungen werden auch die Wassertemperaturen im Torfkörper aufgezeichnet. Der Temperaturfühler ist im Pegel des Gründlenried-Rötseemooses in 1,7 Meter (m) Tiefe unter der Geländeoberkante eingebaut. Die **Wassertemperaturen** schwanken zwischen 7 und 12,5 Grad Celsius (°C), im jahreszeitlichen Verlauf, den Lufttemperaturen nachlaufend. Wie für Grundwässer in dieser Tiefe üblich, ist der jahreszeitliche Gang stark gedämpft gegenüber dem Gang der Lufttemperaturen. Diese Dämpfung wird verstärkt durch die besondere Isolationswirkung der Torfmoosoberfläche. Die Wärmeleitfähigkeit von Torf in nassem beziehungsweise trockenem Zustand ist deutlich geringer als die eines nassen beziehungsweise trockenen Mineralbodens. Das ist mit ein Grund für die auch unter Temperaturaspekten extremen mikroklimatischen Bedingungen, die in Mooren herrschen. An Strahlungstagen können auf sehr heiße Tage Nächte mit Frost folgen.

Im Mittel stellt sich auch im Wasser des Gründlenried-Rötseemooses die Jahresmitteltemperatur der Umgebung ein. Die Temperaturmessungen am Pegel Gründlenried-Rötseemoos zeigen darüber hinaus einen schwachen Trend einer Temperaturzunahme, der aufgrund der kurzen Zeitreihe jedoch nicht belastbar ist.

Auch der Einfluss der Temperatur ist bei der Frage des günstigen Moorwachstums zu berücksichtigen. Eine Er-

wärmung könnte die Torfmineralisation und damit den Moorabbau und auch die Methanemissionen fördern. Es könnte auch zu nachteiligen Verschiebungen im Artenspektrum kommen. Ob höhere Temperaturen auch das Moorpflanzenwachstum fördern und nachteilige Effekte dadurch ausgeglichen werden können, bleibt noch näher zu erforschen. Mit den Messungen im Rahmen des Moormonitorings werden hierzu wichtige Grundlagendaten zur Verfügung gestellt.

Die **elektrische Leitfähigkeit** kann als Indikator für die im Wasser gelösten Ionen und damit für die Nährstoffgehalte verwendet werden. Für das Gründlenried-Rötseemoos weisen abnehmende Leitfähigkeiten auf eine abnehmende Nährstoffversorgung hin, die im Sinne der Moorerhaltung positiv zu bewerten ist.

Niederschläge weisen in ländlichen Gebieten Leitfähigkeiten um 10 Mikrosiemens pro Zentimeter ($\mu\text{S}/\text{cm}$) auf. Die im Mittel etwa dreifach höheren Leitfähigkeiten am Pegel sind die Folge von Mineralisierungsprozessen, die einerseits die Torfsubstanz betreffen, andererseits die in die Moore eingetragene atmosphärische Staubdeposition (Stickstoffverbindungen, organische und mineralische Substanz wie Bodenpartikel), die im ländlichen Bereich bei etwa 150 Kilogramm pro Hektar und Jahr liegt. Das Auf und Ab der Leitfähigkeiten im jahreszeitlichen Verlauf resultiert aus den Wasserstands- und Temperaturschwankungen.

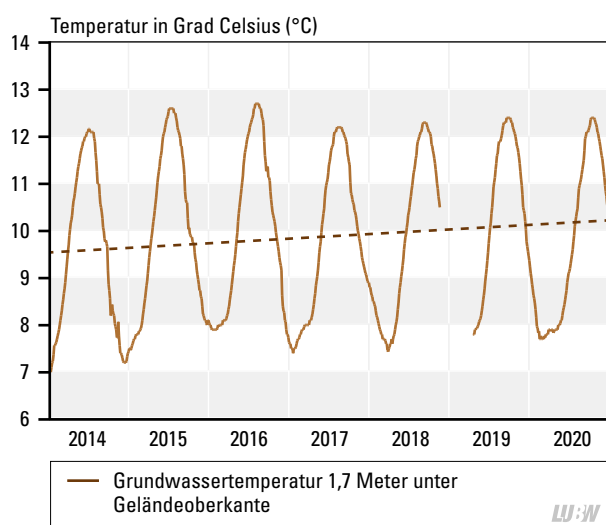


Abb. 4.1-3: Temperaturverlauf 2014 bis 2020 in einer Messtiefe von 1,7 Meter im Hochmoorbereich des Gründlenried-Rötseemooses mit Trendlinie (Datenlücke und Phasenlage unkorrigiert). Quelle LUBW, Stand 2021.

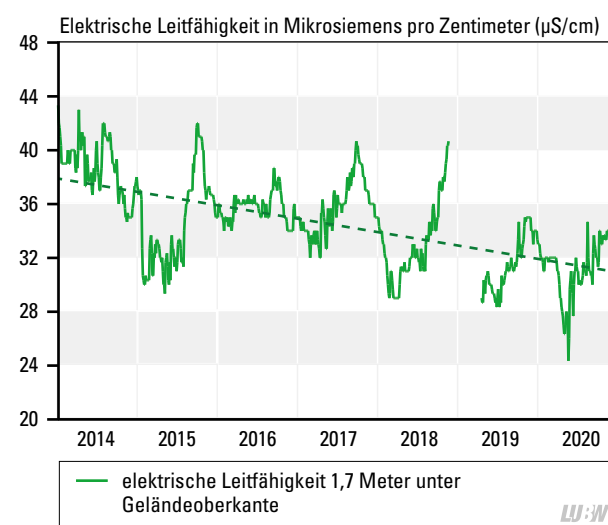


Abb. 4.1-4: Elektrische Leitfähigkeit des Grundwassers in 1,7 Meter Tiefe im Hochmoorbereich des Gründlenried-Rötseemooses. Quelle LUBW, Stand 2021.

4.2 Dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (dl-PCB) in Böden

Was sind dl-PCB?

DL-PCB (dioxine-like PCB, deutsch: dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle) sind Vertreter der Stoffgruppe der PCB (polychlorierte Biphenyle), die eine dioxintypische Wirkung aufweisen. Von den 209 möglichen PCB-Kongeneren – also chemischen Verbindungen mit gleicher Grundstruktur aber unterschiedlichem Chlorierungsgrad – sind 12 Kongenere den dl-PCB zuzuordnen.

PCB wurden seit den 1930er-Jahren bis zu ihrem Verbot 1989 industriell in großen Mengen hergestellt und gelangten so in die Umwelt. Als chemisch extrem stabile und nicht brennbare Öle fanden sie vielerlei Verwendung, beispielsweise in Kondensatoren, Transformatoren, als Hydraulikflüssigkeiten, Flammenschutz und Weichmacher in Kunststoffen, Lacken und Fugenmassen. PCB sind persistent, bioakkumulierend und toxisch. Trotz Verbot sind sie deshalb nach wie vor in der Umwelt vorhanden. Die maßgeblichen Senken sind Sedimente und Böden, in die die PCB mengenmäßig hauptsächlich vor dem Verbot 1989 eingetragen wurden. Aber selbst heute noch werden PCB auf niedrigerem Niveau in die Umwelt eingetragen. Quellen sind Altlasten, noch bestehende Bausubstanz wie Fugenmassen, Anstriche oder Deckenplatten sowie Altgeräte, aus denen PCB vor allem bei unsachgemäßer Entsorgung freigesetzt werden können. Aufgrund ihrer Langlebigkeit gelangen PCB aus den genannten Pools noch immer selbst bis in die menschliche Nahrungskette. So tragen dl-PCB regelmäßig zu Überschreitungen der EU-Höchstgehalte für Dioxine und dl-PCB in Lebens- und Futtermitteln bei. Dies aufgrund ihrer Eigenschaft, sich in Fetten anzureichern, insbesondere in der Leber von Lämmern, Schafen oder Wild und im Muskelfleisch fettreicher, wild lebender Flussfische, in Einzelfällen aber auch in fettreichem Rindfleisch oder in Eigelb.

PCB und dl-PCB werden als „Schadstoffe im Fokus“ von der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg in Sondererhebungen untersucht.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Boden > Wie verändern sich unsere Böden? > **Schadstoffe im Fokus**

Toxizität von dl-PCB

Einige PCB ähneln in ihrer Form den Dioxinen. Sie haben dadurch eine dioxintypische Wirkung (unter anderem fruchtschädigend, krebsfördernd) und werden eben deshalb als dl-PCB bezeichnet.

Ihre Wirkungsstärke wird durch Dioxin-Toxizitätsäquivalentfaktoren (TEF) beschrieben. Für 3,3',4,4',5-Pentachlorbiphenyl (3,3',4,4',5-PeCB; dl-PCB 126) wurde ein TEF von 0,1 festgestellt, es wirkt also zehnfach schwächer als das 2,3,7,8-TCDD (Seveso-Dioxin) mit der höchsten Toxizität. Für Stoffgemische ist die Gesamtdioxinwirkung additiv. Sie wird als Summe aller Produkte aus den Gehalten der Einzelkongenere und der zugehörigen TEF berechnet (Dioxintoxizitätsäquivalent-Gehalt TEQ). Dabei können Einzelgehalte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (BG) gleich null (TEQ-A), gleich BG (TEQ-B) oder auf BG/2 (TEQ-C) gesetzt werden.

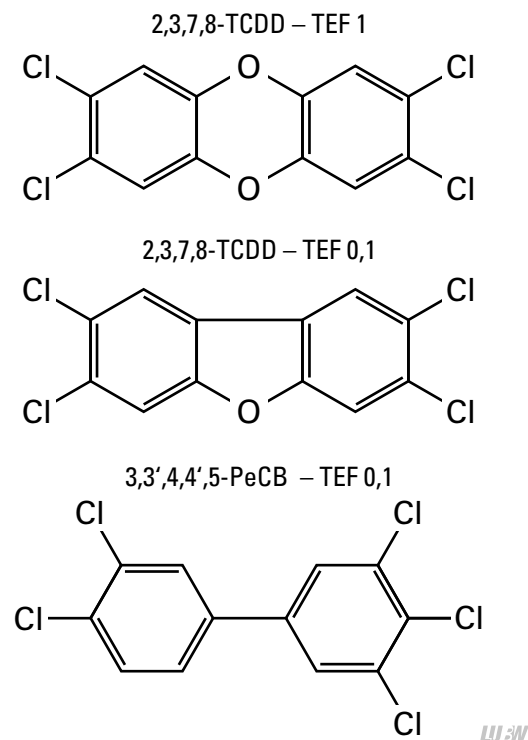


Abb. 4.2-1: Strukturformeln der giftigsten Vertreter aus den Stoffgruppen Dioxine (oben), Furane (Mitte) und PCB (unten) mit ihren Toxizitätsäquivalentfaktoren (TEF nach WHO 2005). Quelle LUBW.

Gesetzliche Regelungen für dl-PCB

Im Bodenschutzrecht gibt es für dl-PCB bislang keine gesetzliche Regelung; daher liegen nur wenige Daten von Bodenuntersuchungen vor. In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) (1999) ist die gesamte Stoffgruppe der 209 möglichen PCB anhand der Gesamtsumme von sechs sogenannten Indikator-PCB (PCB₆) geregelt. Diese zählen nicht zu den dl-PCB. Für Dioxine und Furane sind in der BBodSchV Maßnahmenwerte für den Wirkungspfad Boden-Mensch festgelegt, des Weiteren in einer Empfehlung der Bund/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE sogenannte Richtwerte, jeweils angegeben in I-TEQ, nach einem älteren, vergleichbaren Bewertungssystem (Internationale Toxizitätsäquivalente nach NATO 1988).

Mit einer zusätzlichen Regelung der dl-PCB wäre es möglich, additive Effekte aus Dioxinen plus dl-PCB bei der typischen Dioxinwirkung zu berücksichtigen. Dieser Weg wurde im Futter- und Lebensmittelbereich beschränkt. Für Dioxine in Futter- und Lebensmitteln gibt es seit 2002, für dl-PCB seit 2006 EU-weit geltende Höchstwerte (Richtlinie 2006/13/EG, Verordnung (EG) Nr. 1881/2006).

Tab. 4.2-1: Maßnahmenwerte für Dioxine/Furane nach BBodSchV (Wirkungspfad Boden-Mensch) sowie Richtwerte für Dioxine/Furane nach der Bund/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE (landwirtschaftlich, gärtnerisch genutzte Böden).

| | Maßnahmenwerte in Nanogramm pro Kilogramm I-TEQ |
|---------------------------|---|
| Kinderspielflächen | 100 |
| Wohngebiete | 1000 |
| Park- und Freizeitanlagen | 1000 |
| Industrie und Gewerbe | 10000 |

| | Richtwerte in Nanogramm pro Kilogramm I-TEQ |
|--|---|
| jegliche Nutzung der Böden möglich | Zielwert < 5 |
| Prüfaufträge und Handlungsempfehlungen im Sinne der Vorsorge | 5 bis 40 |
| Einschränkung der Nutzung, uneingeschränkte Nutzung bei minimalem Dioxintransfer | ab 40 |

I-TEQ: Internationale Toxizitätsäquivalente

LUBW

dl-PCB-Verbreitung in Böden

Um die Verbreitung der dl-PCB in Böden Baden-Württembergs näher zu untersuchen, wurden von der LUBW in den letzten Jahren Untersuchungskampagnen in unterschiedlichen Expositionskulissen durchgeführt. Es zeigen sich tendenziell zunehmende Toxizitätsäquivalent-Gehalte (TEQ-Gehalte) in folgender Reihenfolge:

- Hintergrundbereich (ohne bekannte spezifische Einträge),
- Böden mit Klärschlammaufbringung,
- Böden mit möglichem Eintrag aufgrund der Nähe zu potenziellen Emittenten,
- Böden mit Überschwemmungseinfluss.

Damit kann das Abwasser, vermittelt über Sedimenttransport und Klärschlamm, als eine maßgebliche Quelle für PCB-Einträge in Böden angenommen werden. Aber auch die Nähe von Emittenten wie Schredderanlagen der Abfallaufbereitung oder Abbruchgebäuden kann zumindest lokal über den Luftpfad zu erhöhten Einträgen in Böden führen. Für weitere Beurteilungen wurden aus Daten des Bodenmonitoringprogramms der LUBW Hintergrundwerte für die drei Hauptnutzungsklassen Wald, Acker und Grünland für Baden-Württemberg abgeleitet [LABO 2017].

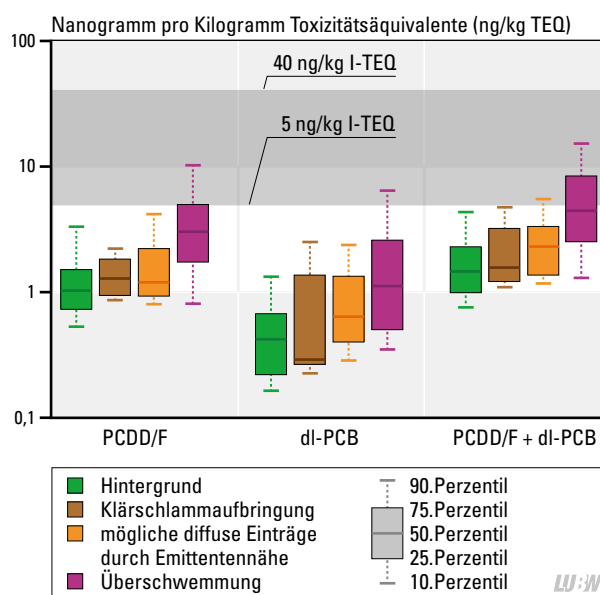


Abb. 4.2-2: Dioxin-Toxizitätsäquivalente-B für Dioxine/Furane, dl-PCB und deren Summe in den vier betrachteten Expositionskulissen (nur oberster Mineralbodenhorizont, alle Nutzungen). Probenentnahmen 2009 bis 2016. Quelle LUBW.

Gemeinsame Bewertung von dl-PCB und Dioxinen/Furanen

Würden die Toxizitätsäquivalente (TEQ) der dl-PCB zusätzlich zu denen der Dioxine/Furane bei der Bewertung baden-württembergischer Böden berücksichtigt, ergäbe sich lediglich bei den Standorten mit Überschwemmungseinfluss stellenweise eine ungünstigere Einstufung. Der Richtwert von 5 Nanogramm pro Kilogramm I-TEQ für Dioxine/Furane nach der Bund/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE, unterhalb dessen von keinerlei Gefährdung auszugehen ist, würde dann in etwa 40 % der Überschwemmungsflächen überschritten werden.

Betrachtet man den Beitrag der einzelnen Dioxin- und dl-PCB-Kongenere zur Summe der Toxizitätsäquivalente, so ist dieser in nahezu allen Proben bei dl-PCB 126 am größten. Von den weiteren dl-PCB leistet lediglich dl-PCB 169 einen geringen Beitrag, alle anderen sind bedeutungslos. Der Beitrag von dl-PCB 126 schwankt dabei stark, woraus sich ein eher loser Zusammenhang zwischen Vorkommen von dl-PCB und Dioxinen in den Böden ergibt. Dies zeigt, dass sich die Eintragspfade für beide Stoffgruppen lokal unterscheiden können.

Zusammenhang zwischen PCB₆ und dl-PCB TEQ

Zwischen der Gehaltssumme PCB₆ und den dl-PCB-bedingten Toxizitätsäquivalenten (TEQ) in Böden ist nur ein schwacher Zusammenhang feststellbar. Dennoch erlaubt er die Übertragung von Trends und Entwicklungen, die auf viel breiterer Untersuchungsbasis bei den PCB₆ festgestellt werden konnten. Hier erweisen sich die landwirtschaftlichen Böden als die mit den tendenziell höchsten PCB-Stoffvorräten [LUBW 2008]. Eine Verbesserung des heutigen Eintrags über den Luftpfad zeigt sich an deutlich abnehmenden PCB-Gehalten in der Waldhumusaufgabe unter forstlicher Nutzung [LUBW 2019].

Weitere Ergebnisse der Bodenuntersuchungen und Details zu den Untersuchungsmethoden unter:

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Angebote > Publikationen > **dl-PCB in den Böden von Baden-Württemberg**

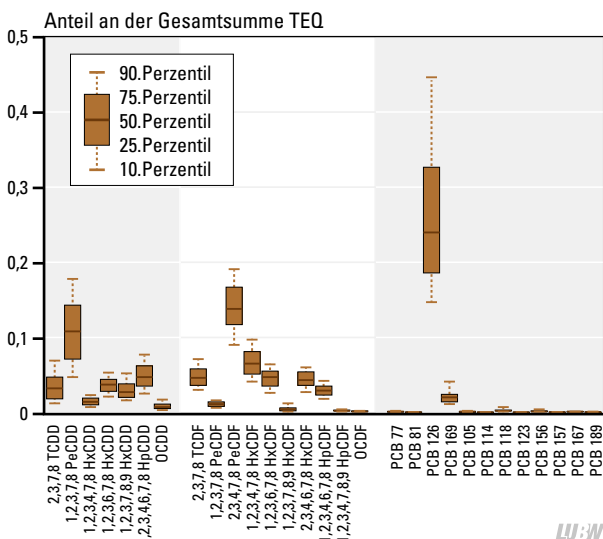


Abb. 4.2-3: Beitrag der Einzelkongenere zu der TEQ-B-Summe (WHO 2008) aus Dioxinen/Furanen und aus dl-PCB. Probenentnahmen 2009 bis 2016. Quelle LUBW.

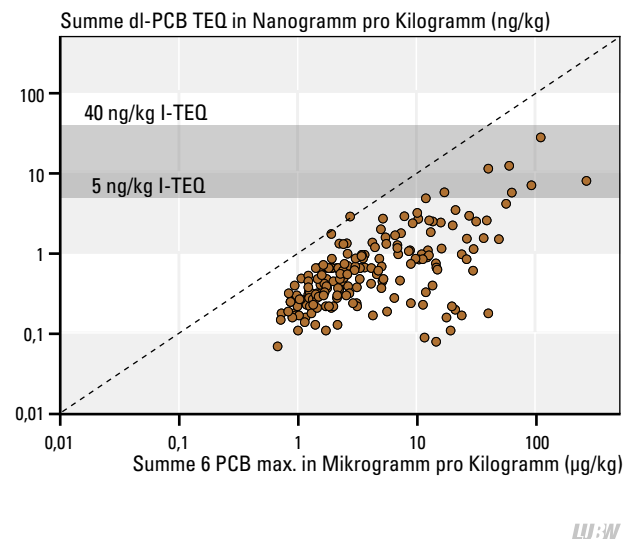


Abb. 4.2-4: Korrelation zwischen PCB₆ und der Summe der dl-PCB-TEQ-B (nur oberster Mineralbodenhorizont, alle Nutzungen). Probenentnahmen 2009 bis 2016. Quelle LUBW.

4.3 Per- und polyfluorierte Chemikalien im Boden

Was sind PFAS?

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) sind organische Verbindungen, die ausschließlich synthetisch hergestellt und inzwischen weltweit in allen Umweltkompartimenten gefunden werden. Synonym werden auch die Begriffe PFC (per- und polyfluorierte Chemikalien) und PFT (perfluorierte Tenside) verwendet. Chemisch handelt es sich um Verbindungen, bei denen die an Kohlenstoffketten gebundenen Wasserstoffatome entweder vollständig (perfluoriert) oder teilweise (polyfluoriert) durch Fluoratome ersetzt sind. Man unterscheidet zwischen kurz- und langkettigen PFAS und nach den funktionellen Gruppen, beispielsweise in Perfluorcarbonsäuren (PFCA) oder Perfluorsulfonsäuren (PFSA).

Aufgrund ihrer thermischen und chemischen Stabilität sowie wasser-, fett- und schmutzabweisenden Eigenschaften wurden beziehungsweise werden PFAS-Verbindungen in der Industrie, in Löschschäumen und in einer Vielzahl an Verbraucherprodukten, beispielsweise antihafbeschichte-

tem Kochgeschirr, in der Textil- und Papierindustrie sowie in Imprägniersprays und weiteren Produkten, verwendet.

Viele PFAS sind als bioakkumulierend, persistent und toxisch klassifiziert und können sich nicht nur in Böden anreichern, sondern durch die Anreicherung in Pflanzen und Tieren über die Nahrungskette auch den Menschen erreichen.

Seit 2015 werden auch nicht spezifisch belastete Böden in Baden-Württemberg auf PFAS untersucht, also Böden, in denen diese Stoffe nicht a priori erwartet werden. Neben verschiedenen Nutzungsarten der Standorte (Acker, Grünland und Wald) wurden unterschiedliche Bodenhorizonte und zur Beurteilung der zeitlichen Entwicklung einige bereits in den Jahren 1968 bis Mitte 1970er-Jahre entnommene Bodenproben untersucht. Zusätzlich werden methodische Fragestellungen näher betrachtet. Bisher liegen Untersuchungsergebnisse von insgesamt 53 Standorten vor.

Tab. 4.3-1: Analytierte lang- und kurzkettenige Perfluorcarbonsäuren (PFCA) und Perfluorsulfonsäuren (PFSA) nach OECD¹⁾.

| Perfluorcarbonsäuren | | Perfluorsulfonsäuren | |
|------------------------------------|--|-----------------------------------|--|
| kurzkettig | langkettig | kurzkettig | langkettig |
| Perfluorbutansäure (PFBA) | Perfluorooctansäure (PFOA) | Perfluorbutansulfonsäure (PFBS) | Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) |
| Perfluorpentansäure (PFPeA) | Perfluorononansäure (PFNA) | Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS) | Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS) |
| Perfluorhexansäure (PFHxA) | Perfluordecansäure (PFDA) | | Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) |
| Perfluorheptansäure (PFHpA) | Perfluorundecansäure (PFUnA) | | Perfluordecansulfonsäure (PFDS) |
| 7H-Dodecafluorheptansäure (HPFHpA) | Perfluordodecansäure (PFDoA) | | Perfluorooctansulfonsäureamid (PFOSA) |
| | 2H,2H-Perfluordecansäure (H2PFDA) | | 1H,1H,2H,2H-Perfluorooctansulfonsäure (H4PFOS) |
| | 2H,2H,3H,3H-Perfluorundecansäure (H4PFUnA) | | |

1) Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung.

PFAS-Gehalte im Boden

Die Untersuchungen der LUBW zu Per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) in nicht spezifisch belasteten Böden des landesweiten Messnetzes zur Bodendauerbeobachtung (sogenannten „Hintergrundböden“) belegen durchgängig analytisch bestimmbare geringe PFAS-Gehalte. Dabei sind im Feststoff im Wesentlichen langkettige Carbon- sowie auch langkettige Sulfonsäuren um die Bestimmungsgrenze von 1 Mikrogramm pro Kilogramm nachweisbar. In Waldböden und deren organischen Auflagen werden etwas höhere Gehalte nachgewiesen als in Acker- und Grünlandböden.

In wässrigen Bodeneluataten können PFAS unterschiedlicher Kettenlängen in sehr geringen Konzentrationen nachgewiesen werden. An den nicht spezifisch PFAS-belasteten Standorten der Bodendauerbeobachtung werden in der Regel in Oberböden PFAS-Summengehalte < 0,5 Mikrogramm pro Liter (µg/l) gemessen. Die unteren Bodenhorizonte weisen meist geringere Gehalte auf. In solchen „Hintergrundböden“ dominieren kurzkettige Perfluorcarbonsäuren (PFCA), häufig auch Perfluoroctansäure (PFOA) und Perfluoroctansulfonsäure (PFOS).

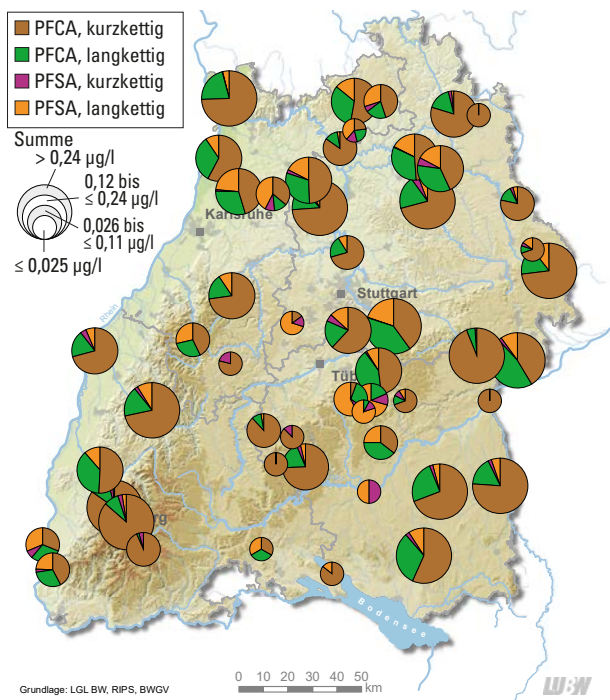


Abb. 4.3-1: Übersichtskarte der auf PFAS untersuchten Standorte des landesweiten Messnetzes zur Bodendauerbeobachtung, unterteilt in kurz- und langkettige Carbon- und Sulfonsäuren (Gehalte im wässrigen Bodeneluat in µg/l). Messzeitraum 2015 bis 2019, Quelle LUBW.

Zum Teil lassen sich weitere Perfluorsulfonsäure (PFSA)-Verbindungen analytisch bestimmen. In nicht spezifisch belasteten Böden in Baden-Württemberg sind PFAS ubiquitär nachweisbar und lassen sich landesweit aus wässrigen Bodeneluataten in niedrigen Konzentrationen bestimmen. Als naheliegende Ursache wird ein ubiquitärer Eintrag über den Luftpfad angenommen. Darüber hinaus zeigen Erkenntnisse aus den Untersuchungskampagnen, dass unterschiedliche Analyse- und Probenaufbereitungsmethoden einen Einfluss auf das Ergebnis bei der Bestimmung der PFAS-Gehalte in Böden haben können [LUBW 2019b; LUBW 2021].

Alle Ergebnisse der PFAS-Untersuchungen und Details zu den Untersuchungsmethoden unter:

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Boden > Wie verändern sich unsere Böden > Schadstoffe im Fokus

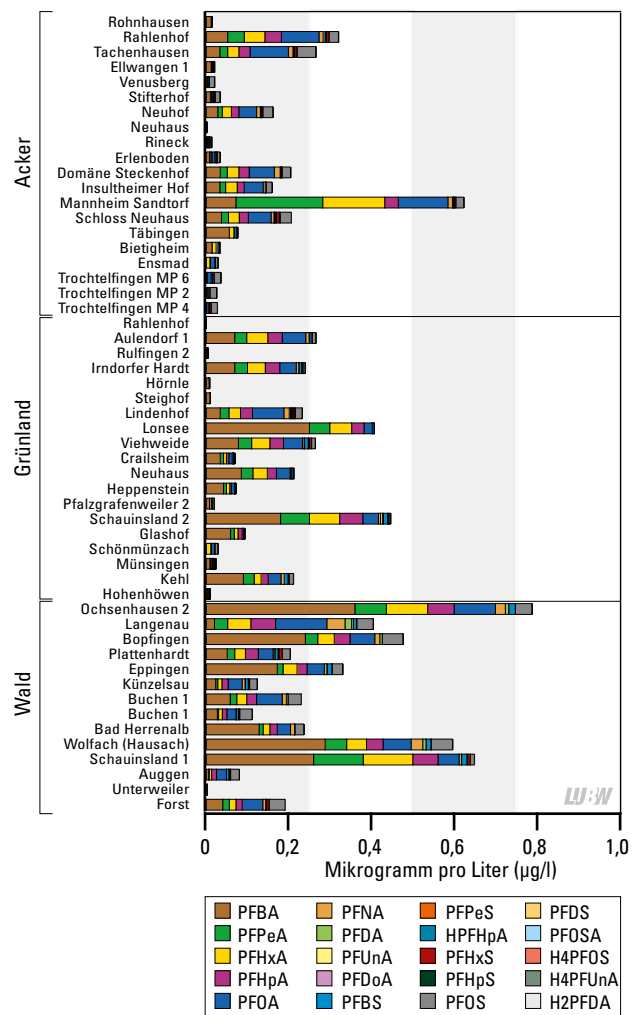


Abb. 4.3-2: PFAS-Einzelsubstanzen an den untersuchten BDF-Standorten (Gehalte im wässrigen Bodeneluat). Messzeitraum 2015 bis 2019. Quelle LUBW.

4.4 Altlasten

Erfassung

Der Begriff „Altlasten“ ist im Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) rechtlich definiert und beschreibt ehemalige Müllhalden oder Müllkippen (Altablagerungen) sowie frühere 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.

Die unteren Bodenschutz- und Altlastenbehörden der Stadtkreise und Landratsämter erfassen im Rahmen der systematischen Altlastenbearbeitung flurstücksscharf alle Flächen im Bodenschutz- und Altlastenkataster (BAK), bei denen aufgrund der Aktenlage, der Recherche oder sonstiger Untersuchungen Anhaltspunkte sowie Belege für das Vorliegen einer Altlast bestehen. Bis Ende 2019 konnten insgesamt 105 662 Flächen erfasst werden, die den Kategorien altlastverdächtig, Altlast, ausgeschiedene Fälle (A-Fälle) sowie sonstige Flächen ohne Altlastverdacht (B-Fälle, belassen) zugeordnet werden. Bei Letzteren handelt es sich um Flächen, die derzeit ohne akuten Gefahrenbezug im Kataster belassen werden können, jedoch bei einer zukünftigen Umnutzung oder Expositionsänderung (neue Gefahrenlage) erneut bewertet werden müssen. Auch bei neu geplanten Baumaßnahmen müssen hinsichtlich der Anforderungen an eine sachgerechte Entsorgung von belastetem Aushubmaterial (Stichwort „Entsorgungsrelevanz“) diese Flächen (B-Fälle) erneut überprüft werden.

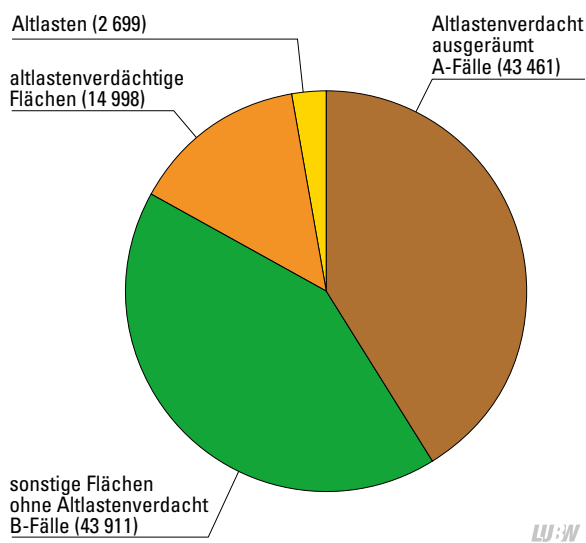


Abb. 4.4-1: Seit Beginn der Altlastenbearbeitung bis Ende 2019 erfasste Flächen. Quelle LUBW, Stand Dez. 2019.

Altlastverdächtige Flächen

Im Jahr 2019 waren 14 998 altlastenverdächtige Flächen registriert. Altlastverdächtige Altablagerungen wie ehemalige Müllhalden oder Müllkippen machen 2019 noch 11 % (1 584 Flächen) der zu bearbeitenden Fälle aus. Der Großteil der altlastverdächtigen Flächen mit 89 % (13 414) sind Altstandorte, also frühere industriell oder gewerblich genutzte Grundstücke. Abgelagerte oder in den Boden versickerte umweltgefährdende Stoffe können die Umweltmedien Wasser, Pflanzen, Tiere oder den Menschen direkt gefährden.

Durch die kontinuierlich fortgeführte Erfassung von stillgelegten Betriebsflächen steigt die Zahl der altlastverdächtigen Flächen jährlich an. Der Einsatz von neu entwickelten Schadstoffgruppen wie Per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) muss seit einigen Jahren mitberücksichtigt werden, wodurch weitere altlastverdächtige Fälle hinzukommen. Aktuell sind 1 292 Flächen mit dem Verdacht oder Nachweis auf PFAS erfasst. So steigen die jährlichen Zahlen an Altstandorten in den letzten 10 Jahren immer noch kontinuierlich an. Die hohen Zahlen belegen, dass ein Ende der Altlastenbearbeitung in absehbarer Zeit nicht in Sicht ist.

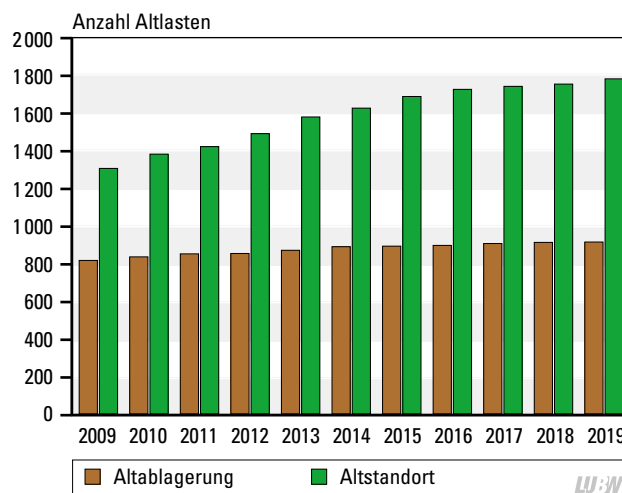


Abb. 4.4-2: Entwicklung der Altlasten zwischen 2009 und 2019. Quelle LUBW, Stand Dez. 2019.

Gefährdungsabschätzung

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

Das Bundes-Bodenschutzgesetz (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 Überprüfung des Anfangsverdachts. Erst wenn der Verdacht konkrete Anhaltspunkte liefert, folgen vertiefte Untersuchungen zum Nachweis der Gefährdung der Schutzgüter. Mit der Detailuntersuchung sind dann häufig die technischen Untersuchungen abgeschlossen.

Bis Ende 2019 haben die unteren Bodenschutz- und Altlastenbehörden bei 21 272 Fällen, davon 15 946 Altstandorte und 5 326 Altablagerungen, die Gefährdungsabschätzung abgeschlossen. 6 237 Fälle befanden sich in der orientierenden Untersuchung, 501 in der Detailuntersuchung. Alle weiteren Schritte – wie Sanierungsuntersuchung und Sanierungsplanung – zielen bereits in Richtung Sanierung.

Sanierung

Flächen, bei denen der Gefahrenverdacht im Zuge der technischen Untersuchungen (orientierende Untersuchung und Detailuntersuchung) zur Gefährdungsabschätzung ausgeräumt werden konnte, sind in der Regel abschließend bearbeitet. Eine Sanierung wurde als nicht erforderlich angesehen. Unter Umständen sind jedoch Kontrollmaßnahmen wie ein Grundwassermonitoring angezeigt, um das Ausbreitungsverhalten bestimmter Schadstoffe und Restbelastungen im Blick zu behalten und eine Sanierung zu einem späteren Zeitpunkt gegebenenfalls einzufordern.

Erst nach einer Sanierungsuntersuchung wird entschieden, ob, wie und wie viel saniert werden muss. Bis Ende 2019 konnten 3 992 Sanierungen abgeschlossen werden, 529 Altlasten befinden sich derzeit in der Phase der Sanierung. Etliche Sanierungsmaßnahmen können aus technischen Gründen innerhalb kurzer Zeit nicht abgeschlossen werden. Gerade die Laufzeiten von hydraulischen Maßnahmen zur Grundwassersanierung können sich über viele Jahre oder Jahrzehnte erstrecken.

Im Vergleich der altlastverdächtigen Flächen zu sanierungsbedürftigen Altlasten zeigt sich, dass die Anzahl der Altlasten nur einen Bruchteil ausmacht. Seit einigen Jahren übersteigt die Zahl der abgeschlossenen Sanierungen die Zahl der festgestellten Altlasten.

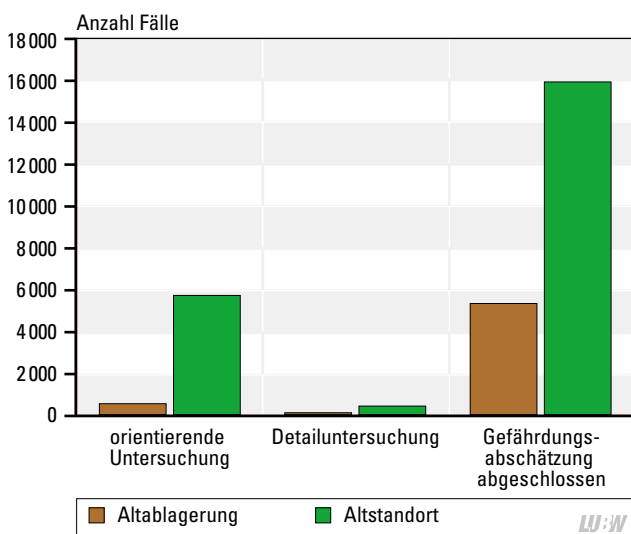


Abb. 4.4-3: Mit Handlungsbedarf „orientierende Untersuchung“, „Detailuntersuchung“ oder „Gefährdungsabschätzung abgeschlossen“ bewertete Flächen. Quelle LUBW, Stand Dez. 2019.

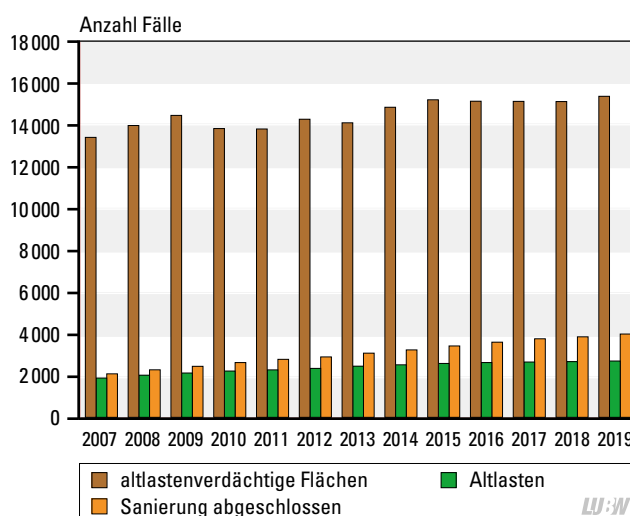


Abb. 4.4-4: Entwicklung der Anzahl der altlastverdächtigen Flächen, Altlasten und sanierten Flächen zwischen 2007 und 2019. Quelle LUBW, Stand Dez. 2019.

Erosionsmonitoring der LUBW

Trotz Fortschritten durch zunehmende Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung verursacht Bodenerosion in Baden-Württemberg immer noch bedeutende Schäden, insbesondere auf den stark erosionsgefährdeten Ackerböden in unseren Lössgebieten (Lössboden ist Boden des Jahres 2021). Mit dem abgetragenen Boden gehen Bodenfruchtbarkeit und Wasserspeicherfähigkeit unwiederbringlich verloren, denn die Bildung neuen Bodens verläuft extrem langsam (Faustzahl: maximal 1 Zentimeter in 100 Jahren). Wo der abgetragene Boden sich ablagert, entstehen zusätzliche Schäden an Gewässerökologie und Infrastruktur.

Zur Erosionsvermeidung kooperiert die LUBW mit der Landwirtschaftsverwaltung. Gemeinsam wurde ein Merkblatt zur Gefahrenabwehr bei Bodenerosion erstellt, und es werden Fachfortbildungen durchgeführt. Die Öffentlichkeit wird unter anderem durch Blog-Beiträge informiert.

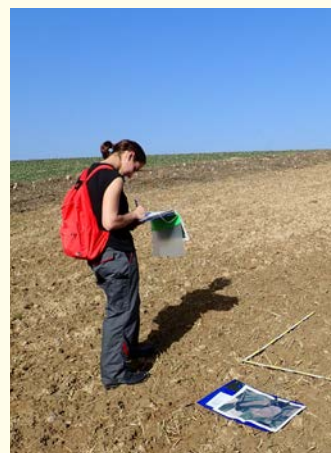
<https://pd.lubw.de/90516>

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Angebote > Blog > Bodenerosion ist weitgehend vermeidbar

Für den Erosionsschutz in Baden-Württemberg sind darüber hinaus sehr detaillierte Informationen über das tatsächliche Erosionsgeschehen im Land erforderlich. Dazu trägt das Erosionsmonitoring der LUBW wesentlich bei. Die LUBW betreibt das Erosionsmonitoring im Rahmen des Bodendauerbeobachtungsprogramms, für das sie nach dem Gesetz zuständig ist.

Methoden des Monitorings

- Monitoringgebiete: jeweils etwa 100 Hektar Ackerflächen in den Lössgebieten Kraichgau und Markgräflerland.
- Erosionserscheinungen im Gelände wie flächenhafte Abträge, Rillen, Rinnen und Gräben, aber auch Bodenablagerungen werden durch Erosionskartierungen quantifiziert und eingemessen.
- Sämtliche Einflussfaktoren werden räumlich und zeitlich hochaufgelöst dokumentiert.
- Klimamessstation zur Messung der Klimaeinflüsse.
- Bewirtschaftungseinflüsse werden durch Kartierung erfasst und über regelmäßige Befragungen der Bewirtschafter erhoben.
- Sozioökonomische und förderpolitische Einflussfaktoren werden berücksichtigt.
- Datenmanagement und -auswertung in Zusammenarbeit mit der Universität Hannover.
- Langfristiger Betrieb, da Bodenerosion zeitlich sehr diskontinuierlich auftritt.



Erosionsformen wie dieses Rinnen- und Akkumulationssystem (oben) werden bei der Kartierung im Gelände erfasst. Ebenso wird die Bodenbedeckung dokumentiert (unten). Fotos H.Hohl/LUBW.



5 Wasser

Das Wichtigste in Kürze

Insgesamt hat sich die Grundwasserqualität in den letzten Jahren verbessert. Die Nitratkonzentrationen sind seit vielen Jahren rückläufig und haben zwischen 1994 und 2019 um rund 25 % abgenommen. Nitrat stellt jedoch weiterhin die Hauptbelastung im **Grundwasser** dar. Auch Industrie- und Haushaltschemikalien werden an vielen Messstellen gefunden. Die unterdurchschnittliche Grundwasserneubildung seit 2003 hat die Niedrigwasserproblematik im Grundwasserbereich nach und nach in den Fokus gerückt. 2018 bis 2020 waren drei ausgeprägte Niedrigwasserjahre mit Konsequenzen für die Wasserversorgung und die Umwelt.

An vielen biologischen Untersuchungsstellen in den **Fließgewässern** sind ökologische Defizite vorhanden. Wesentliche Ursachen für den unzureichenden ökologischen Zustand baden-württembergischer Fließgewässer sind naturferne Gewässerstrukturen und mangelnde Durchgängigkeit sowie zu hohe Nährstoffgehalte, insbesondere gelöstes ortho-Phosphat.

Der gute chemische Zustand wird in den baden-württembergischen Fließgewässern nicht erreicht. Gründe dafür sind Belastungen mit ubiquitären Stoffen sowie Belastungen mit verschiedenen Pflanzenschutzmitteln.

Bei den **Seen** in Baden-Württemberg gibt es sowohl Beispiele für eine gute Entwicklung als auch Seen mit verschiedenen Defiziten und einzelnen Überschreitungen von Umweltqualitätsnormen. Der Bodensee-Obersee zeigt für nährstoffarme Alpenseen typische Gesamtphosphorkonzentrationen und eine entsprechende Planktonentwicklung, er befindet sich in einem guten ökologischen Zustand.

Der hohe technische Stand der Reinigung des Kommunalabwassers vor der Einleitung in die Gewässer wird in Baden-Württemberg weiter verbessert. So sind in Baden-Württemberg beispielsweise bereits 21 Kläranlagen mit der vierten Reinigungsstufe in Betrieb.

Abflüsse an Pegeln werden seit etwa 150 Jahren ermittelt. Das **Pegelmessnetz** der oberirdischen Gewässer ist das älteste der gewässerkundlichen Messnetze in Baden-Württemberg. Es liefert Basisdaten für zahlreiche wasserwirtschaftliche und gewässerökologische Fragestellungen. Zum hydrologischen Pegelmessnetz zählen 256 Landespegel.

Für die regionale wasserbauliche Planung und Bewertung sind Abflusskenngrößen in hoher räumlicher Auflösung nötig. Die LUBW setzt dafür das GIS-basierte Informationssystem Abfluss-BW ein. Damit werden für über 13 000 Gewässerstellen **regionalisierte Abflusskennwerte** für Niedrig-, Mittel- und Hochwasser bereitgestellt.

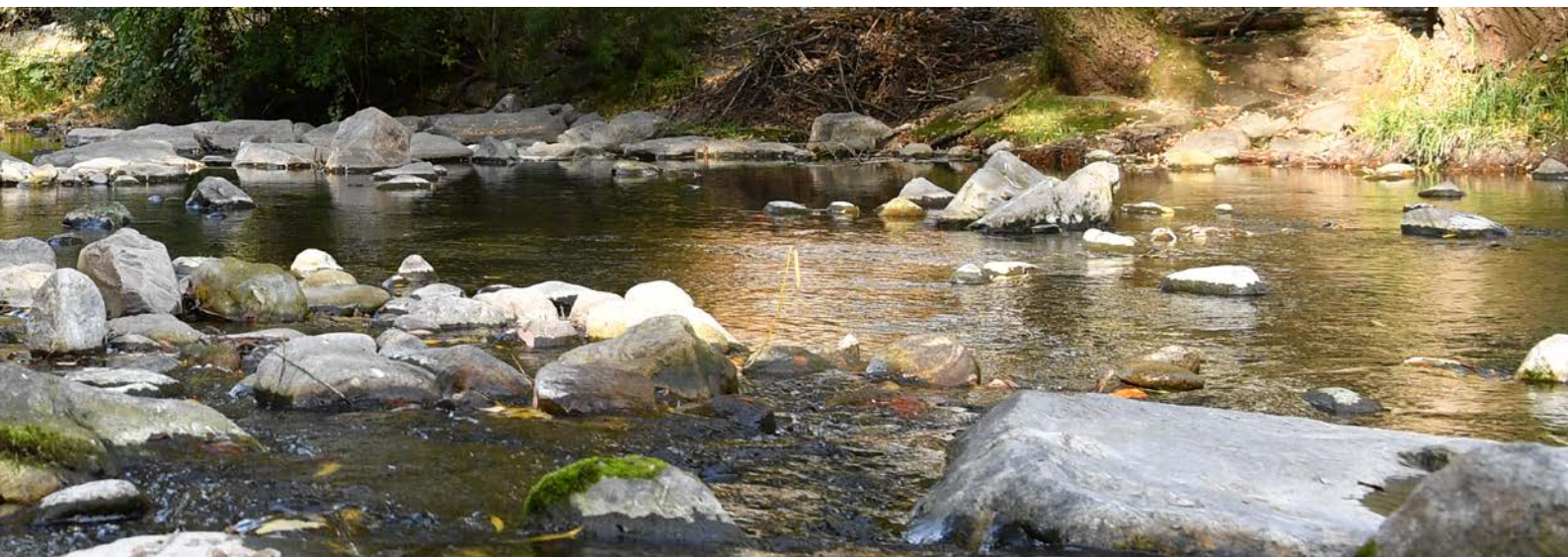


Foto: LUBW

| | | | |
|--|-----------|---|------------|
| 5.1 GRUNDWASSER | 84 | 5.3 FLIESSGEWÄSSER – CHEMISCHER ZUSTAND | 96 |
| Grundwasserüberwachung | 84 | | |
| Quantitatives Grundwassermessnetz | 84 | 5.4 STEHENDE GEWÄSSER | 97 |
| Qualitatives Grundwassermessnetz | 85 | Seenland Baden-Württemberg | 97 |
| Grundwasserneubildung aus Niederschlag | 85 | Bodensee: Chemische Parameter | 98 |
| Grundwasservorräte | 86 | DAS PROJEKT „TIEFENSCHÄRFE“ UND DIE „HÜGELI“ | |
| Grundwasserqualität | 86 | AM THURGAUER BODENSEEUFER | 99 |
| Nitrat | 87 | Bodensee: Biologische Parameter | 100 |
| Industriechemikalien | 88 | Kleine Seen | 101 |
| Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFAS) | 88 | allgemeine Parameter | 101 |
| Haushaltschemikalien | 89 | chemische Parameter | 102 |
| Metalle | 89 | anthropogene Spurenstoffe | 103 |
| | | biologische Parameter – Plankton | 103 |
| 5.2 FLIESSGEWÄSSER – ÖKOLOGISCHER ZUSTAND | 90 | biologische Parameter – Wasserpflanzen und Kieselalgen | 104 |
| Grundlagen der Bewertung | 90 | Der Illmensee – ein typischer Vertreter der kleinen Seen | 104 |
| Biologische Komponenten: | | 5.5 ABWASSER | 105 |
| Phytoplankton | 90 | Kommunale Kläranlagen – Entwicklung | 105 |
| Makrophyten und Phytobenthos | 91 | Kommunale Kläranlagen – Abbauraten | 105 |
| Makrozoobenthos | 91 | Kommunale Kläranlagen mit vierter Reinigungsstufe | 106 |
| Fische | 92 | Kanalisation und Regenwasserbehandlung | 106 |
| Hydromorphologische Komponenten: | | Abwasser von Industrie und Gewerbe | 107 |
| Gewässerstruktur | 92 | 5.6 HYDROLOGIE DER OBERFLÄCHENGEWÄSSER | 108 |
| Chemisch-Physikalische Komponenten: | | Pegelmessnetz | 108 |
| Wassertemperatur | 93 | Regionalisierung von Abflusskennwerten | 109 |
| Sauerstoffhaushalt | 93 | Niedrigwasser: Wie die Regionalisierung helfen kann | 109 |
| Nährstoffe – Phosphat | 94 | | |
| Nährstoffe – Nitrat | 94 | | |
| Flussgebietspezifische Schadstoffe | 95 | | |

5.1 Grundwasser

Grundwasserüberwachung

In Baden-Württemberg werden über 70 % des Trinkwassers aus Grund- und Quellwasser gewonnen. Grundwasser ist somit unsere wichtigste Trinkwasserressource und auch Schutzgut an sich.

Zur Grundwasserüberwachung betreibt die LUBW daher quantitative und qualitative Grundwassermessnetze. Jährlich werden so wichtige Messdaten gewonnen, welche die Auswirkungen von menschlichen Aktivitäten sowie des hydrologischen Geschehens auf das Grundwasser sichtbar machen. Dabei ist immer zu berücksichtigen, dass Grundwasser ein langes Gedächtnis hat. Das bedeutet, dass es aufgrund der langen Verweilzeiten Jahre dauern kann, bis Veränderungen an der Oberfläche im Untergrund messbar werden. Die LUBW stellt dem Land, dem Bund und der EU umfangreiche Datenauszüge zur Verfügung.

Quantitatives Grundwassermessnetz

Daten zur Grundwassermenge werden schon seit über 100 Jahren erhoben. Das quantitative Grundwassermessnetz gibt einen landesweiten Überblick über Zustand und Entwicklung der Grundwasservorräte anhand von

- rund 230 Grundwasserstands-Messstellen mit stündlicher bis wöchentlicher Beobachtung,
- rund 150 Quellen mit wöchentlicher bis monatlicher Messung,
- 32 Lysimetern (Sickerwassermessgeräten) mit täglichem bis wöchentlichem Untersuchungsintervall.

Monatsaktuelle Grundwasserstände und Quellschüttungen (GuQ) sind im Internet verfügbar unter

lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen >
 Wasser > Grundwasser >
 Grundwasserdaten im Internet >
Grundwasserstände und Quellschüttungen (GuQ)

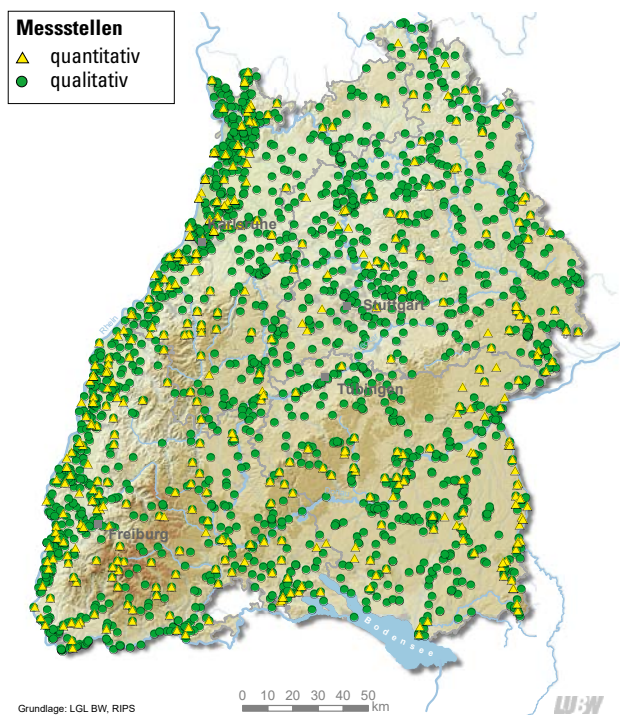


Abb. 5.1-1: Quantitative und qualitative Messstellen. Quelle LUBW, Stand Feb. 2021.



Abb. 5.1-2: Grundwassermessstelle, Lysimeter und Quelle (von links oben im Uhrzeigersinn). Foto: LUBW.

Qualitatives Grundwassermessnetz

Mit dem qualitativen Grundwassermessnetz werden seit 1985 das Vorhandensein und die Konzentrationsentwicklungen von natürlichen und durch den Menschen eingebrachten, also anthropogenen Substanzen überprüft. Dafür werden jährlich rund 1900 Messstellen untersucht, die für eine verursacherbezogene Auswertung in folgende Teilmessnetze eingeteilt sind:

- Geogener Hintergrund: anthropogen kaum beeinflusstes Grundwasser.
- Landwirtschaft: Grundwasser im Einflussbereich von landwirtschaftlicher Nutzung.
- Industrie: Grundwasser im Einflussbereich von Industriestandorten.
- Siedlung: Grundwasser im Einflussbereich von Siedlungen.
- Sonstige Emittenten: Grundwasser bei diversen anthropogenen Einflüssen.

Im Internet stellt die LUBW umfangreiche Grundwasserdaten zur Verfügung:

Jahresdatenkatalog Grundwasser (JDK):

lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen >
Wasser > Grundwasser >
Grundwasserdaten im Internet >
Jahresdatenkatalog Grundwasser (JDK)

Regelmäßige Fachberichte und weitere Informationen:

lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen >
Wasser > Grundwasser >
Grundwasser-Überwachungsprogramm

Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Die Grundwasserneubildung aus Niederschlag (GWN) ist die bedeutendste Zuflusskomponente des Grundwasserhaushalts. Sie hängt von der jahreszeitlichen, längerfristigen und auch räumlichen Variabilität der Niederschläge, die aufgrund ihrer Sickerzeiten durch die Deckschichten zeitverzögert die Grundwasservorräte beeinflussen, ab. Die GWN unterliegt einem ausgeprägten Jahresgang, wobei der versickernde Anteil des Winterniederschlags erheblich höher ist als der des Sommerniederschlags, wie aus den langjährigen mittleren Messwerten hervorgeht.

Im Zeitraum 2018 bis 2020 waren die Niederschläge unterdurchschnittlich und die Lufttemperatur wiederholt überdurchschnittlich, einzelne markante Episoden haben das Neubildungsgeschehen geprägt. Nachdem die Böden zu Jahresbeginn infolge ergiebiger Niederschläge durchnässt waren, hat die anhaltende Trockenheit im weiteren Jahresverlauf 2018 den Neubildungsprozess für eine bis dahin noch nicht beobachtete Zeitdauer unterbrochen. Der Lysimeter Büchig bei Karlsruhe war ab Juli 2018 bis zum Jahresende trocken. Der Bodenwasserspeicher hat sich von diesem mehrmonatigen Trockenstress bis zum Ende des Berichtszeitraums nicht erholt. Die anschließenden nahezu normalen Jahresniederschläge von 2019 haben für keine Entspannung gesorgt. Lediglich der überdurchschnittliche Niederschlag im Dezember 2018 und im Februar 2020 hatte kurzfristige Sickerungen zur Folge. Im ansonsten regenarmen Jahr 2020 war die Grundwasserneubildung ab dem Frühjahr bis zum Jahresende gering.

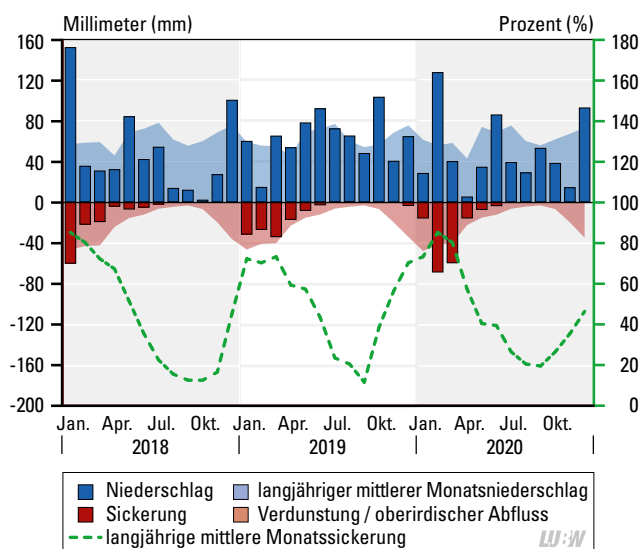


Abb. 5.1-3: Darstellung der Monatssäulen von Niederschlag und Sickerung vor dem Flächenhintergrund der 30-jährigen Mittelwerte (1991 bis 2020) und Entwicklung der Bodenfeuchte am Lysimeterstandort Büchig im Zeitraum 2018 bis 2020. Quelle LUBW, Stand Jan. 2021.

Grundwasservorräte

Die kurz- und langfristige Entwicklung der Grundwasservorräte wird anhand von repräsentativen Grundwasserstands- und Quellschüttungsmessstellen beobachtet und bewertet.

Nach einer sehr günstigen Ausgangssituation Ende 2017 bewegten sich die Grundwasserstände und Quellschüttungen infolge der ausgeprägten und dauerhaften Trockenheit im Jahr 2018 im gesamten Jahresverlauf permanent rückläufig, wobei zum Jahresende vielerorts die bisherigen Niedrigstwerte unterschritten wurden. Dieser Rückgang von sehr hohen Verhältnissen im Januar/Februar auf ein extrem niedriges Niveau im November kennzeichnet das Jahr 2018.

2019 hat zu keiner Erholung der seit dem Spätherbst 2018 angespannten Niedrigwassersituation im Grundwasser geführt. Die Grundwasservorräte haben sich im gesamten Jahresverlauf permanent auf unterdurchschnittlichem Niveau bewegt.

Sehr hohe Februarniederschläge haben für steile Grundwasseranstiege im ersten Quartal 2020 gesorgt. Die Grundwasservorräte erreichten dabei kurzzeitig das langjährig mittlere Niveau. Da bereits im April und im Mai erhebliche Niederschlagsdefizite auftraten, haben sich die Grundwasserhältnisse im weiteren Jahresverlauf nicht anhaltend erholt. Das Grundwasserdargebot war bereits ab April 2020 wieder und bis zum Jahresende permanent rückläufig, wenngleich die historischen Niedrigwasserverhältnisse aus dem Jahr 2018 meist nicht erreicht wurden.

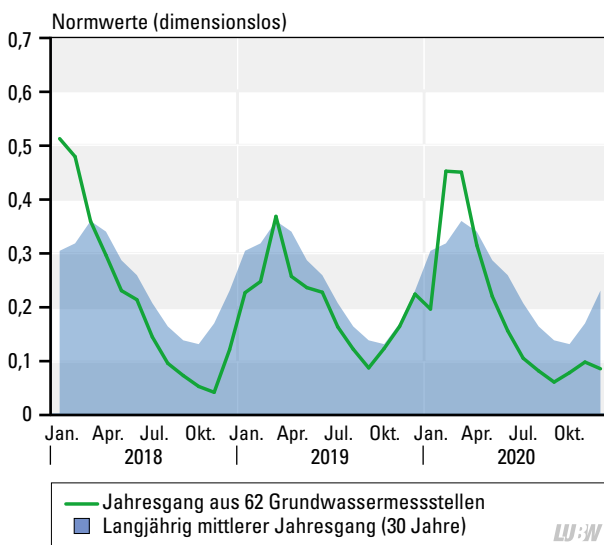


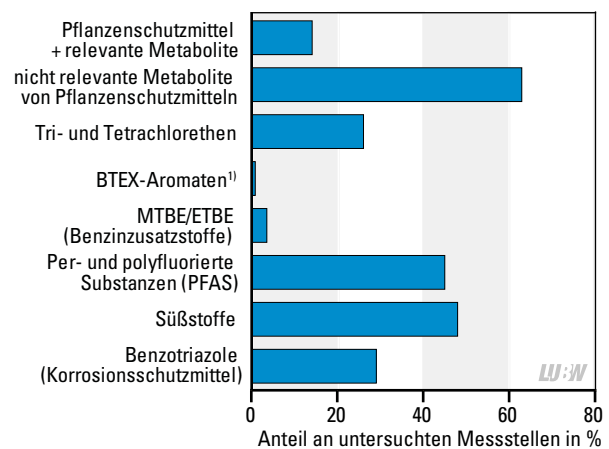
Abb. 5.1-4: Schematische Darstellung des mittleren Jahresverlaufs von Quellschüttung und Grundwasserstand in den Jahren 2018 bis 2020 im Vergleich zum 30-jährigen Mittel (1991 bis 2020). Quelle LUBW, Stand Jan. 2021.

Grundwasserqualität

Je nach Region hat das Grundwasser eine charakteristische Zusammensetzung, abhängig unter anderem von Bodenbedeckung, Untergrundverhältnissen und hydrologischen Einflüssen. Außerdem wird die Grundwasserqualität im dicht besiedelten und hoch industrialisierten Baden-Württemberg durch den Menschen beeinflusst.

Die Grundwasserverordnung (GrwV) gibt für folgende Substanzen gesetzlich geregelte Schwellenwerte vor: Nitrat, Pflanzenschutzmittel, Arsen, Cadmium, Blei, Quecksilber, Ammonium, Chlorid, Nitrit, ortho-Phosphat, Sulfat sowie die Summe aus Tri- und Tetrachlorethen. Unterhalb dieser Schwellenwerte gilt der chemische Grundwasserzustand als gut. Für Parameter ohne Schwellenwert gemäß GrwV werden hilfsweise die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) herangezogen. Unterhalb dieser Grenzwerte kann Trinkwasser bedenkenlos getrunken werden.

Des Weiteren werden auch Substanzen ohne gesetzlich geregelte Schwellen- oder Grenzwerte im Grundwasser untersucht. Damit wird sichergestellt, dass auch neuere Problemstoffe beurteilt werden können. Zwischen 2015 und 2018 wurde beispielsweise zum ersten Mal das gesamte Landesmessnetz (rund 1900 Messstellen) auf Süßstoffe, Benzotriazole sowie per- und polyfluorierte Substanzen (PFAS) untersucht. In 2019 und 2020 schloss sich dann eine erstmalige landesweite Untersuchung auf Trifluoacetat, Glyphosat und seinen Metaboliten AMPA an. Zum Berichtszeitpunkt war die Datenauswertung noch nicht abgeschlossen.



1) Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole.

Abb. 5.1-5: Nachweisquoten von organischen Stoffen von 2015 bis 2019, Nitrat und Metalle wurden an bis zu 100 % der untersuchten Messstellen nachgewiesen. Quelle LUBW, Stand Aug. 2020.

Nitrat

In Baden-Württemberg wird fast die Hälfte der Landesfläche landwirtschaftlich genutzt. Der damit verbundene Einsatz an Dünger (enthält unter anderem Nitrat) und Pflanzenschutzmitteln führt zu Beeinträchtigungen im Grundwasser. In 2019 lag der Nitratgehalt an 9 % der rund 1 800 untersuchten Messstellen oberhalb des Schwellenwerts der Grundwasserverordnung von 50 Milligramm pro Liter (mg/l). In Gebieten mit hoher Nitratbelastung wird in der Regel intensiv Ackerbau betrieben beziehungsweise werden viele Sonderkulturen angebaut. Betroffen sind insbesondere Bereiche in der nördlichen und südlichen Oberrheinebene, Teile des Kraichgaus, der Neckarraum zwischen Stuttgart und Heilbronn sowie die Region Oberschwaben. Der Nitratgehalt lag an 19 % der durch landwirtschaftliche Nutzung beeinflussten Messstellen über dem Schwellenwert von 50 mg/l.

Die Nitratkonzentrationen sind seit vielen Jahren rückläufig und haben zwischen 1994 und 2019 um rund 25 % abgenommen. Zu diesem Rückgang trägt zum einen die Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO) bei. Seit 1988 verpflichtet die Verordnung die Landwirtinnen und Landwirte, in Wasserschutzgebieten die Flächen grundwasserschonend zu bewirtschaften. Mit dem Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT) werden zum anderen freiwillige grundwasserschonende Maßnahmen außerhalb von Wasserschutzgebieten unterstützt.

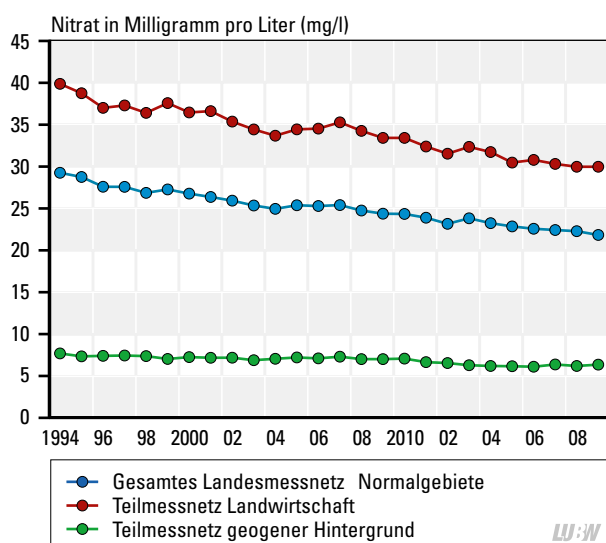


Abb. 5.1-6: Trendentwicklung der Nitratbelastung. Quelle LUBW, Stand Mai 2020.

Pflanzenschutzmittel

Die meisten Pflanzenschutzmittel (PSM) werden in der Landwirtschaft eingesetzt, nur etwa 1,5 % der abgesetzten Wirkstoffmenge geht an nicht berufliche Verwender. Pflanzenschutzmittel werden in der Umwelt zu Metaboliten umgewandelt. Bei der Bewertung werden relevante Metabolite (rM) mit toxikologischer Wirkung und nicht relevante Metabolite (nrM) ohne toxikologische Wirkung unterschieden.

Zwischen 2017 und 2019 wurden landesweit 31 Stoffe – zugelassene und nicht mehr zugelassene PSM sowie deren Metabolite – untersucht. Davon

- wurden 3 Stoffe an keiner Messstelle nachgewiesen,
- lagen 11 Stoffe an bis zu 10 Messstellen über dem Schwellenwert von 0,1 Mikrogramm pro Liter ($\mu\text{g/l}$),
- zeigten 17 Stoffe Konzentrationen unter dem Schwellenwert beziehungsweise es sind keine Schwellenwerte definiert (für nrM).

Bei den meisten Substanzen lagen mindestens 90 % der Messwerte unter der Bestimmungsgrenze von 0,05 $\mu\text{g/l}$. Metabolite werden in der Regel häufiger nachgewiesen als die ursprünglich ausgebrachten PSM.

Das am häufigsten – und zwar an 4,6 % der untersuchten Messstellen – nachgewiesene PSM war das bereits seit 1990 nicht mehr zugelassene Atrazin. Insgesamt ist die Belastung mit PSM seit den 1990er-Jahren zurückgegangen. Dies zeigt zum einen, dass Substanzverbote zu einer Verbesserung der Grundwasserqualität beitragen. Zum anderen wird jedoch auch deutlich, dass es lange dauert, bis die Schäden der Vergangenheit bereinigt sind.

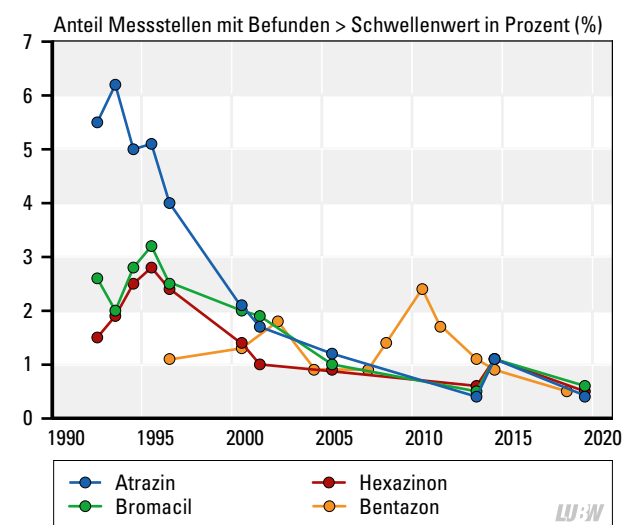


Abb. 5.1-7: Trendentwicklung der PSM-Belastung. Quelle LUBW, Stand Jun. 2020.

Industriechemikalien

In Industrie und Gewerbe wird eine Vielzahl an Chemikalien zum Beispiel als Lösungsmittel eingesetzt. Seit den 1980er- und 1990er-Jahren werden unter anderem folgende Industriechemikalien regelmäßig im Grundwasser untersucht:

- Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) werden vor allem von metallverarbeitenden Betrieben (Trichlorethen) und chemischen Reinigungen (Tetrachlorethen) verwendet.
- Monoaromaten (Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol – BTEX) sind Löse-, Entfettungs- und Verdünnungsmittel, Benzol ist außerdem in Benzin enthalten. Sie werden nur an einzelnen Messstellen nachgewiesen.
- Methyltertiärbutylether (MTBE) und Ethyltertiärbutylether (ETBE) sind Kraftstoffzusätze (Antiklopffmittel).

Bei den landesweiten Untersuchungen zwischen 2016 und 2018 lag die Summe aus Tri- und Tetrachlorethen an 3,6 % der untersuchten Messstellen über dem Schwellenwert der Grundwasserverordnung von 10 Mikrogramm pro Liter ($\mu\text{g/l}$). Nachgewiesen wurden die beiden Lösungsmittel an 14 beziehungsweise 24 % der untersuchten Messstellen. Im Teilmessnetz Industrie lagen 10 % der untersuchten Messstellen über dem Schwellenwert. Die Konzentrationen sind seit vielen Jahren rückläufig. Nachweisquoten sowie die Überschreitungshäufigkeit des Schwellenwertes sind gesunken.

Die Kraftstoffzusätze MTBE und ETBE wurden an 3,1 beziehungsweise 1,1 % der untersuchten Messstellen nachgewiesen. Über 90 % der Messwerte lagen hier unter der Bestimmungsgrenze von $0,05 \mu\text{g/l}$. Im zeitlichen Trend sind die Gehalte ebenfalls rückläufig.

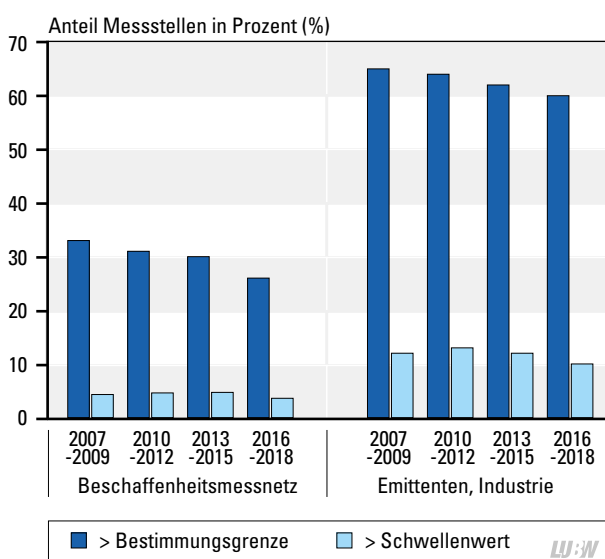


Abb. 5.1-8: Trendentwicklung der LHKW-Belastung. Quelle LUBW, Stand Jan. 2020.

Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFAS)

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS, früher als PFC abgekürzt) sind sehr hitze- und chemikalienbeständig und werden daher unter anderem als Imprägniermittel für Papier und Textilien, in der Galvanik sowie in Feuerlöschschäumen verwendet. Für die Belastungen im Raum Rastatt/Baden-Baden sowie in Mannheim wird davon ausgegangen, dass mit PFAS verunreinigte Papierschlämme mittels Kompost auf landwirtschaftliche Nutzflächen ausgebracht wurden.

Zwischen 2015 und 2018 wurde erstmals das gesamte Landesmessnetz auf PFAS untersucht. Dabei wurden an fast der Hälfte der untersuchten Messstellen eine oder mehrere PFAS-Verbindungen gefunden. Über 90 % der Messwerte lagen dabei im sehr niedrigen Konzentrationsbereich von wenigen Nanogramm pro Liter und darunter.

Die LUBW hat für den Bereich Rastatt/Baden-Baden ein Grundwassermodell mit einer Transportmodellierung für PFAS entwickelt. Die errechneten Prognosen der PFAS-Konzentrationsentwicklung bis in das Jahr 2029 können online abgerufen werden.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Wasser > Grundwasser > PFC-Karten Online

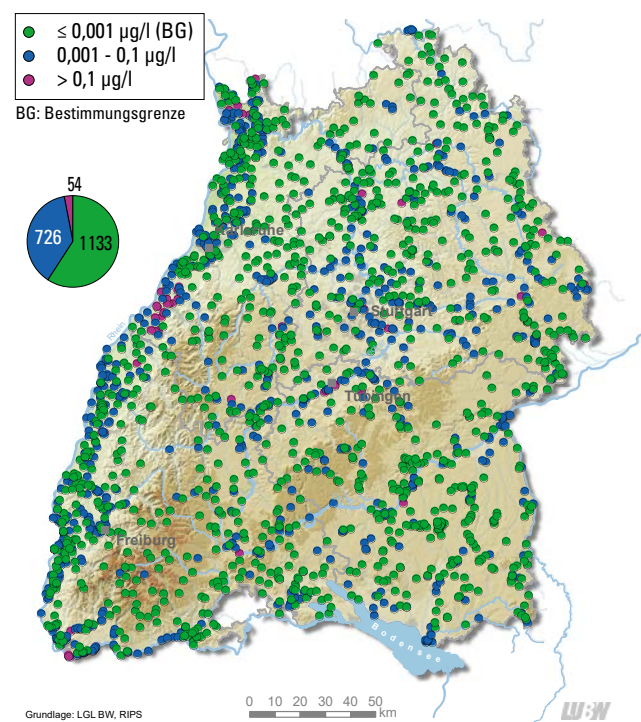


Abb. 5.1-9: Summenkonzentrationen von per- und polyfluorierten Chemikalien (PFAS) im Zeitraum 2015 bis 2018. Quelle LUBW, Stand Jan. 2020.

Haushaltschemikalien

Auch alltägliche, im Haushalt verwendete Produkte finden über den Abwasserpfad ihren Weg bis ins Grundwasser. Zwischen 2015 und 2018 erstmals flächendeckend untersucht wurden hier Süßstoffe und Benzotriazole. Letztere finden breite Verwendung als Korrosionsschutzmittel, zum Beispiel in Enteisungsmitteln für Flugzeuge, in Frostschutzmitteln sowie in Geschirrspülmitteln.

An knapp der Hälfte der untersuchten Messstellen wurde mindestens einer der vier Süßstoffe Acesulfam, Cyclamat, Saccharin und Sucralose gefunden. Auf die Summe der 4 Einzelstoffe bezogen, lagen 90 % der Messwerte unter 0,17 Mikrogramm pro Liter ($\mu\text{g/l}$). Die höchsten Süßstoffkonzentrationen – insbesondere das schwer biologisch abbaubare sowie verbreitet eingesetzte Acesulfam – wurden in der Nähe von Abwasserkanälen festgestellt.

Bei den Benzotriazolen wurden drei Einzelstoffe untersucht, und an fast einem Drittel der untersuchten Messstellen wurde mindestens ein Benzotriazol gemessen. Auf die Summe der drei Einzelstoffe bezogen, lagen 90 % der Messwerte unter 0,06 $\mu\text{g/l}$. Die höchsten Benzotriazolkonzentrationen waren an Messstellen zu finden, die durch industriell belastetes Abwasser beeinflusst sind.

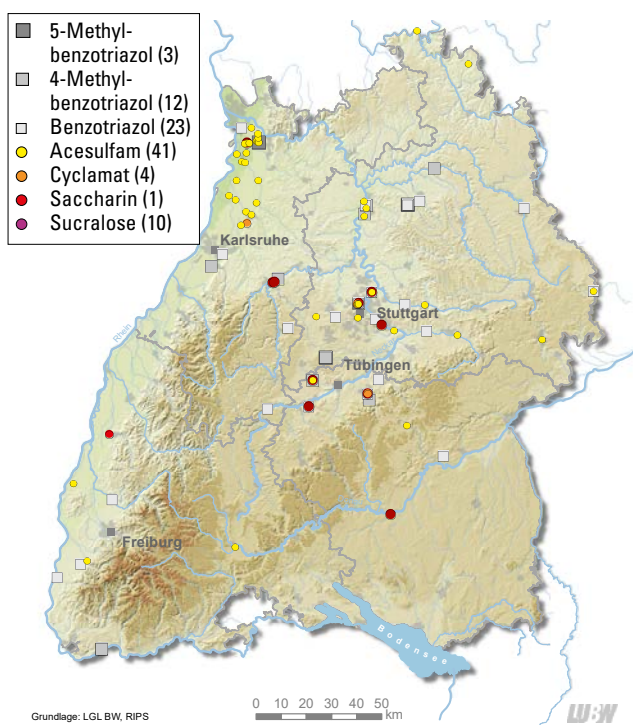


Abb. 5.1-10: Süßstoffe und Benzotriazole mit Konzentrationen $> 0,5 \mu\text{g/l}$ im Zeitraum 2015 bis 2018. Quelle LUBW, Stand Nov. 2019.

Metalle

In allen Grundwassertypen sind metallische Spurenstoffe in unterschiedlich hohen Konzentrationen zu finden. Sie kommen als Bestandteile von Gesteinen natürlicherweise in der Umwelt vor. Außerdem werden sie durch den Menschen in großem Umfang in Industrie und Haushalt verwendet. Anthropogene Belastungen des Grundwassers entstehen meist durch Schadensfälle bei Industriebetrieben, durch Altlasten oder durch Abwässer, die aus undichter Kanalisation ins Grundwasser infiltrieren.

Von den insgesamt 24 untersuchten metallischen Spurenstoffen sind für 14 Schwellen- oder Grenzwerte in der Grundwasser-/Trinkwasserverordnung festgelegt. Bei den landesweiten Untersuchungen zwischen 2016 und 2018 zeigten folgende 11 Metalle Überschreitungen der jeweiligen Werte:

- eher geogen: Aluminium, Arsen, Selen, Uran,
- verschiedene Ursachen: Blei, Cadmium, Eisen, Mangan,
- eher anthropogen: Bor, Chrom, Nickel.

Überschreitungen bei Arsen, Eisen und Mangan haben in Gebieten mit reduzierendem, also sauerstoffarmem Grundwasser fast immer eine natürliche Ursache. Insgesamt sind die gemessenen Konzentrationen der metallischen Spurenstoffe für die Grundwasserqualität und für die menschliche Gesundheit nicht problematisch.

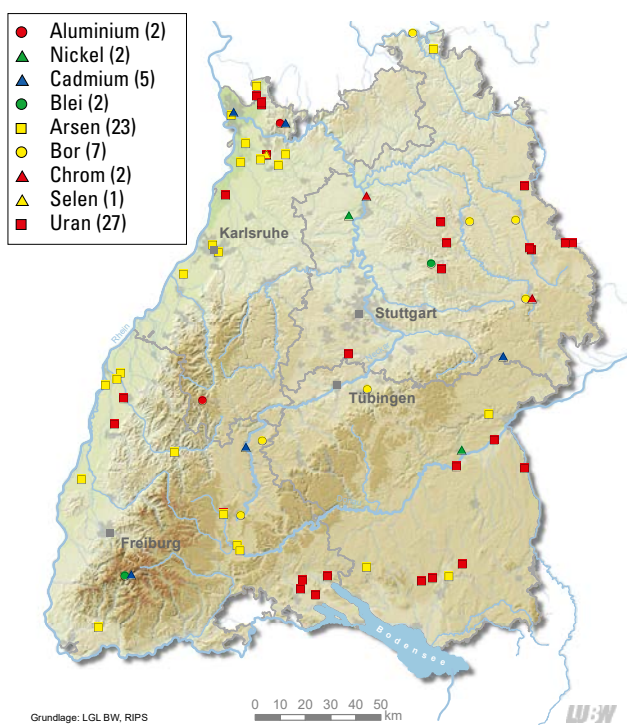


Abb. 5.1-11: Metalle mit Überschreitungen von Schwellenwerten (SW) und Grenzwerten (GW) im Zeitraum 2016 bis 2018. Quelle LUBW, Stand Nov. 2019.

5.2 Fließgewässer – ökologischer Zustand

Grundlagen der Bewertung

Die Bewertung des ökologischen Zustandes beruht auf den Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie der EU, die mit der Oberflächengewässerverordnung – OGewV in deutsches Recht umgesetzt wurden. Der ökologische Zustand eines Gewässers wird maßgeblich über die im Wasser lebenden Organismen definiert. Da sich die Lebensgemeinschaft eines Gewässers an veränderte Lebensbedingungen anpasst, spiegelt deren Zusammensetzung prinzipiell alle Einflussfaktoren wider, die auf ein Gewässer einwirken. Daher erfolgt die Bewertung des ökologischen Zustandes in erster Linie anhand der biologischen Qualitätskomponenten und beruht auf dem Vergleich mit einem Referenzzustand. Ergänzt wird die biologische Bewertung durch hydromorphologische und chemisch-physikalische Qualitätskomponenten. Außerdem wird die Belastung eines Gewässers mit flussgebietspezifischen Schadstoffen berücksichtigt. Fortgeschrieben wird die Bewertung des ökologischen Zustandes alle sechs Jahre im Rahmen der Aktualisierung der Bewirtschaftungspläne.

Tab. 5.2-1: Qualitätskomponenten des ökologischen Zustands.

| Biologische Qualitätskomponenten: | |
|---|--|
| Phytoplankton | frei im Wasser schwebende Algen, Belastungsanzeiger für Eutrophierung |
| Makrophyten und Phyto-benthos | Gefäßpflanzen und Aufwuchsalgen, Belastungsanzeiger für Eutrophierung, strukturelle Defizite und Versauerung |
| Makrozoobenthos | am Boden lebende, mit bloßem Auge sichtbare Wirbellose, Belastungsanzeiger für saprobielle und strukturelle Defizite sowie Versauerung |
| Fische | Belastungsanzeiger für hydromorphologische Defizite (Gewässerstruktur, Durchgängigkeit, Abflussgeschehen) |
| Hydromorphologische Qualitätskomponenten: | |
| Durchgängigkeit | Durchgängigkeit der Fließgewässer für Tiere und Pflanzen (Stauwehre und Ähnliches) |
| Morphologie | Laufentwicklung, Längsprofil, Querprofil, Sohlstruktur, Uferstruktur und Gewässerumfeld |
| Wasserhaushalt | Mindestabfluss in Ausleitungsstrecken, Brauchwasserentnahme ohne sofortige Wiedereinleitung |
| Chemisch-physikalische Qualitätskomponenten: | |
| Temperaturverhältnisse | Wassertemperatur |
| Sauerstoffhaushalt | Sauerstoffgehalt und bio-chemischer Sauerstoffbedarf |
| Nährstoffverhältnisse | Gehalte an Phosphor- und Stickstoffverbindungen |
| Salzgehalt | Chloridgehalt |
| Versauerungszustand | pH-Wert |
| Flussgebietspezifische Schadstoffe: | |
| National geregelte synthetische und nicht synthetische Schadstoffe in Wasser, Sedimenten oder Schwebstoffen | |

Biologische Komponenten: Phytoplankton

Das Phytoplankton ist in planktondominierten Flüssen wichtigster Primärproduzent von Biomasse und Belastungsanzeiger für die Eutrophierung, die durch ein übermäßiges Angebot an Nährstoffen verursacht wird. In Baden-Württemberg werden monatliche Proben in Rhein, Donau, Neckar, Kocher und Jagst erhoben und jährlich ausgewertet. Aufgrund natürlicher Schwankungen sind für belastbare Aussagen aggregierte Untersuchungsreihen über mindestens drei Jahre erforderlich. Die Ergebnisse für den Zeitraum 2015 bis 2017 zeigen, dass sich der Rhein und die Donau in einem sehr guten beziehungsweise guten Zustand im Hinblick auf die trophische Situation befinden. Damit erreichen etwa 40 % der 17 Untersuchungsstellen das Qualitätsziel. Dagegen wird der gute Zustand des schiffbaren Neckars und seiner beiden Nebenflüsse Jagst und Kocher, bedingt durch ihr hohes trophisches Niveau, mit dem massive Algenblüten und erhebliche Probleme mit dem Sauerstoffhaushalt einhergehen können, nicht erreicht (etwa 60 %). Insbesondere im Neckar ist unter anderem wegen zahlreicher Staustufen und des phasenweise stillwasserartigen Charakters eine erhöhte Sensitivität gegenüber Nährstoffbelastungen zu verzeichnen.

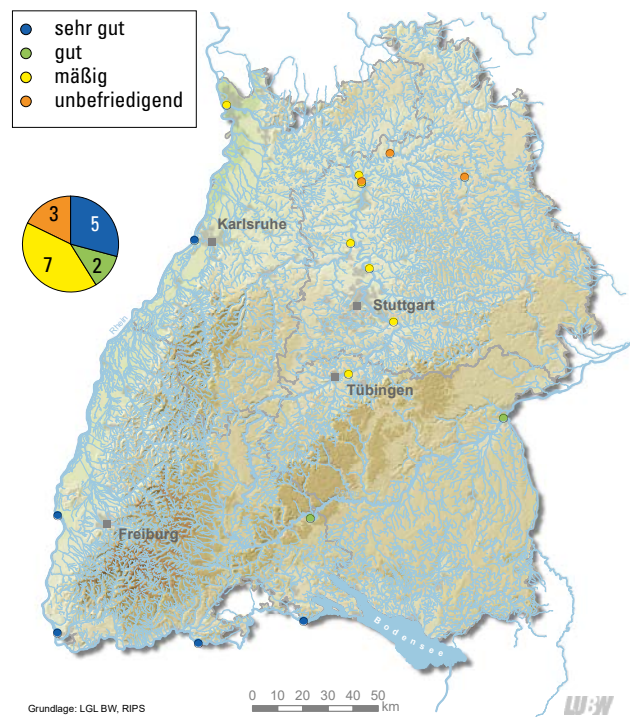


Abb. 5.2-1: Phytoplankton, Qualitätsklassen an den Untersuchungsstellen in Baden-Württemberg (aggregiert über den Zeitraum 2015 bis 2017) und prozentuale Verteilung der Qualitätsklassen. Quelle LUBW, Stand Aug. 2020.

Biologische Komponenten: Makrophyten und Phytobenthos

Die biologische Qualitätskomponente „Makrophyten und Phytobenthos“ umfasst die drei Teilkomponenten „Makrophyten“, „Phytobenthos ohne Diatomeen“ und „Diatomeen“. Sie wurde im Zeitraum 2015 bis 2017 an 589 Stellen untersucht. Nur 0,7 % der Untersuchungsstellen konnten nicht bewertet werden, da sie trockengefallen oder frei von Wasserpflanzen waren. 43,1 % der Untersuchungsstellen erreichen einen guten (41,1 %) oder sehr guten Zustand (2,0 %). Etwas mehr als die Hälfte der Stellen weisen einen mäßigen (52,8 %), unbefriedigenden (3,2 %) oder schlechten Zustand (0,2 %) auf. Die Defizite konzentrieren sich auf Gebiete mit hoher Siedlungsdichte und intensiver landwirtschaftlicher Nutzung wie die Oberrheinebene, den Kraichgau, Ballungsräume im Neckargebiet, Einzugsgebiete von Kocher und Jagst oder Teile des Alpenvorlandes, während im walddreichen Schwarzwald meist gute Bewertungen erreicht werden. Als Hauptursache für die unzureichenden Qualitätsklassen gelten zu hohe Nährstoffbelastungen mit ortho-Phosphat sowie Defizite der Gewässerstruktur. Für Verbesserungen müssten Phosphoreinträge aus Kläranlagen und landwirtschaftlichen Flächen weiter reduziert und strukturelle Defizite von Gewässern behoben werden.

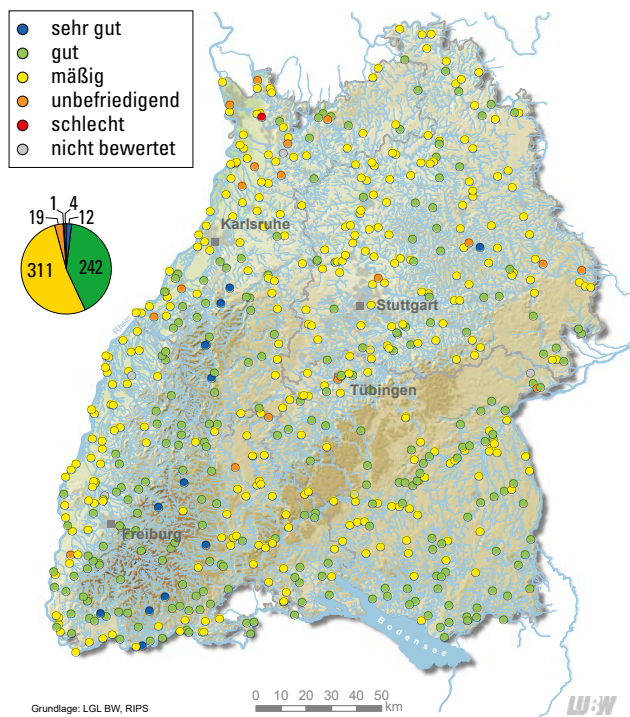


Abb. 5.2-2: Makrophyten und Phytobenthos, Qualitätsklassen an den Untersuchungsstellen in Baden-Württemberg und prozentuale Verteilung der Qualitätsklassen. Zeitraum: 2015 bis 2017. Quelle LUBW, Stand Aug. 2020.

Biologische Komponenten: Makrozoobenthos

Die biologische Qualitätskomponente „Makrozoobenthos“ wurde im Zeitraum 2015 bis 2018 an 906 Untersuchungsstellen ausgewertet. Zur Bewertung des Makrozoobenthos werden die drei Module Saprobie, Versauerung und Allgemeine Degradation herangezogen. 92,8 % der Untersuchungsstellen des Landes wiesen einen guten und sehr guten saprobiellen Zustand auf, und 94,5 % der versauerungsrelevanten Untersuchungsstellen wurden mit gut und sehr gut bewertet. Daher wird gegenwärtig mithilfe des Moduls Allgemeine Degradation die Hauptbelastung für aquatische Wirbellose indiziert: Lediglich 58,6 % erreichen eine sehr gute und gute Qualitätsklasse, während 39,8 % der Untersuchungsstellen dieses Qualitätsziel verfehlen. Die strukturelle Degradation an Fließgewässern stellt somit ein landesweites, flächendeckendes Problem dar. Lediglich in den Höhenlagen des Schwarzwaldes, Teilen der Schwäbischen Alb und im Westallgäuer Hügelland weisen weiträumige Gebiete noch Fließgewässerstrecken mit intakten Strukturen auf. 1,55 % der Untersuchungsstellen konnten nicht bewertet werden, da Anzahl und/oder Abundanz der Wirbellosen zu gering oder der Gewässerabschnitt im Untersuchungszeitraum trockengefallen waren.

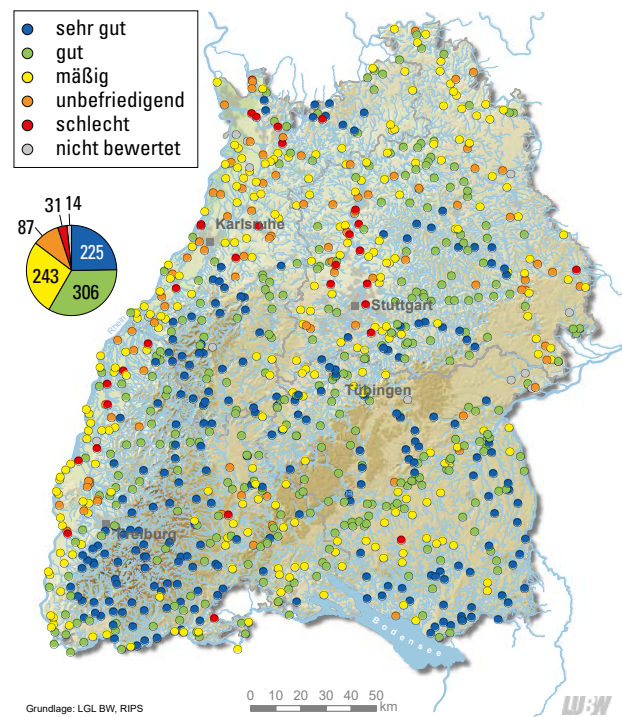


Abb. 5.2-3: Makrozoobenthos, allgemeine Degradation, Qualitätsklassen an den Untersuchungsstellen in Baden-Württemberg und prozentuale Verteilung der Qualitätsklassen. Zeitraum: 2015 bis 2018. Quelle LUBW, Stand Aug. 2020.

Biologische Komponenten: Fische

Die Fischbestandsuntersuchungen und die darauf basierenden Bewertungen der Wasserkörper wurden in den Jahren 2014 bis 2020 von der Fischereiforschungsstelle des Landwirtschaftlichen Zentrums für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg im Auftrag der LUBW durchgeführt. Um repräsentative Ergebnisse zu erzielen, wurden an den 497 Untersuchungsstellen die Ergebnisse von jeweils zwei bis drei Fischbestandsuntersuchungen zusammengefasst. Weichen die bei den Bestandsaufnahmen vorgefundenen Fischbestände in ihrer Artenzusammensetzung, -abundanz und Altersstruktur stark von den Referenzbedingungen ab, so kann dies ein Hinweis auf hydromorphologische Defizite sein (Gewässerstruktur, Durchgängigkeit, Abflussgeschehen). Insgesamt erreichen nur rund 25 % der Untersuchungsstellen des Landes eine sehr gute oder gute Qualitätsklasse. Sie liegen erwartungsgemäß in den eher dünn besiedelten Gebieten. 43,9 % der Untersuchungsstellen werden mit mäßig, 26,4 % mit unbefriedigend und 4,2 % mit schlecht bewertet. 0,6 % der Untersuchungsstellen konnten nicht bewertet werden.

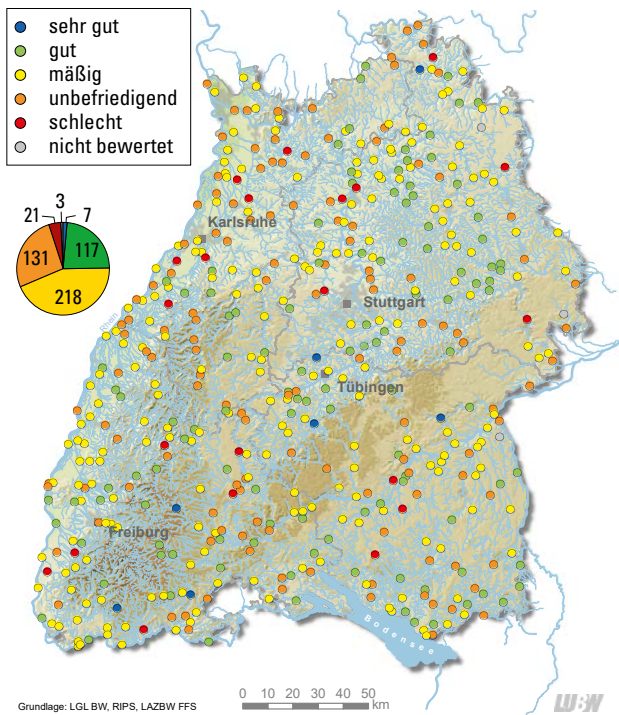


Abb. 5.2-4: Fische, Qualitätsklassen an den Untersuchungsstellen in Baden-Württemberg und prozentuale Verteilung der Qualitätsklassen. Untersuchungen: Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg – Fischereiforschungsstelle. Zeitraum: 2014 bis 2020. Quelle LUBW, Stand Aug. 2020.

Hydromorphologische Komponenten: Gewässerstruktur

Zu den hydromorphologischen Qualitätskomponenten bei Fließgewässern zählen die Durchgängigkeit, die Morphologie und der Wasserhaushalt. Sie 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 Morphologie wird in Baden-Württemberg landesweit durch die Gewässerstrukturkartierung nach der 7-stufigen Klassifikation erfasst. Von den insgesamt in Baden-Württemberg kartierten Gewässerstrecken mit einer Länge von 14 770 Kilometer (km) (Stand 2020) befinden sich 29,6 % in einem unveränderten, gering veränderten und mäßig veränderten Zustand (Strukturklassen 1 bis 3), dies entspricht einer Gewässerlänge von 4370 km. 41,8 % der Gewässerstrecken, eine Gewässerlänge von 6172 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 („nicht bewertet“) Gewässerstrecken machen 26,4 % aus.

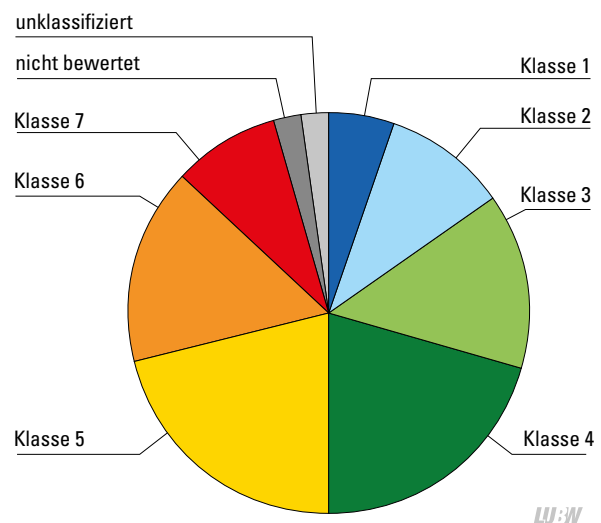


Abb. 5.2-5: Strukturklassen, bezogen auf die insgesamt kartierten Gewässerstrecken in Baden-Württemberg. Quelle LUBW, Stand 2020.

Chemisch-physikalische Komponenten: Wassertemperatur

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 Wärmeintrag der Kraftwerke beeinflusst. Durch Kraftwerksstilllegungen infolge des Atomausstiegs und der Energiewende wurde der Wärmeintrag in den letzten Jahren jedoch deutlich reduziert – ein Trend, der sich voraussichtlich in den folgenden Jahren weiter fortsetzen wird. In Rhein und Neckar ist gegenüber Anfang der 1970er-Jahre ein Anstieg der gemessenen Maximaltemperaturen feststellbar, der im Wesentlichen auf gestiegene Lufttemperaturen zurückzuführen ist (Klimawandel). In der Donau ist dieser Trend seit Beginn der Messungen Mitte der 1990er-Jahre ebenfalls zu beobachten. Die Orientierungswerte für die Wassertemperatur, die in der Oberflächengewässerverordnung – OGewV 2016 in Abhängigkeit von der vorherrschenden Fischgemeinschaft definiert sind, wurden in Baden-Württemberg an rund 29 % der Messstellen überschritten. Die Orientierungswerte für die Wassertemperatur in den Wintermonaten wurden an 26 % der Messstellen überschritten.

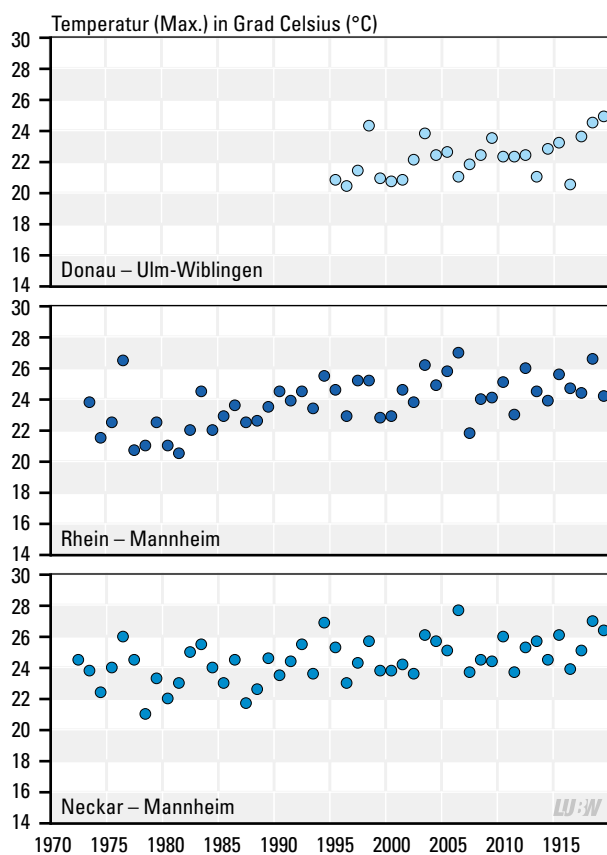


Abb. 5.2-6: Entwicklung der Wassertemperatur in Rhein, Neckar und Donau (Jahreshöchstwerte). Quelle LUBW, Stand 2020.

Chemisch-physikalische Komponenten: Sauerstoffhaushalt

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 leicht abbaubare und damit sauerstoffzehrende Substanzen kann durch den „biochemischen Sauerstoffbedarf in 5 Tagen“ (BSB₅) charakterisiert werden. In Baden-Württemberg wird der gewässertypspezifische Orientierungswert der Oberflächengewässerverordnung – OGewV 2016 an rund 1 % der Messstellen überschritten. Die heute geringe Belastung der Fließgewässer ist dem in den vergangenen Jahrzehnten erfolgten konsequenten Neu- und Ausbau von Kläranlagen und Regenwasserbehandlungsanlagen zu verdanken.

Infolgedessen ist der Sauerstoffgehalt der Fließgewässer heute meist gut bis zufriedenstellend. Allerdings werden in empfindlichen Gewässerabschnitten, zum Beispiel 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. 10.4).

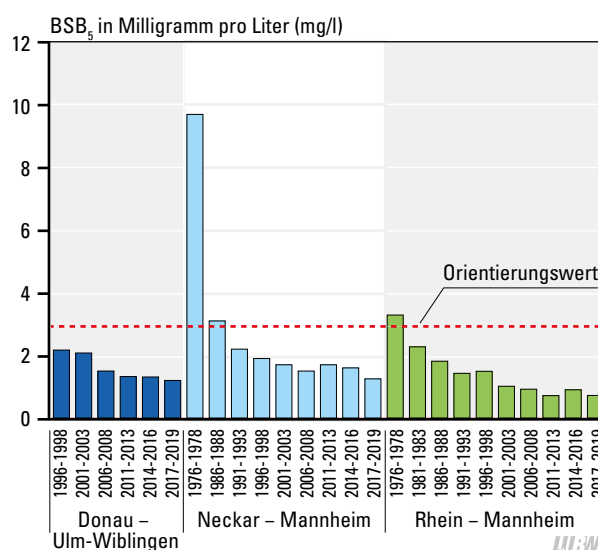


Abb. 5.2-7: Entwicklung der Belastung durch sauerstoffzehrende Stoffe in Rhein, Neckar und Donau (gemessen als BSB₅, Mittelwerte), Orientierungswert (OGewV 2016). Quelle LUBW, Stand 2020.

Chemisch-physikalische Komponenten: Nährstoffe – Phosphat

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. Phosphat wird überwiegend aus kommunalen Kläranlagen sowie diffus von landwirtschaftlich genutzten Flächen eingetragen. Bedingt durch den Einsatz phosphatfreier Waschmittel, den Kläranlagenausbau und reduzierten Düngemiteleinsatz, zeigen Rhein, Neckar und Donau einen Rückgang von 84 %, 91 % beziehungsweise 33 % für den aus der Wasserphase aufnehmbaren pflanzenverfügbaren Phosphor (ortho-Phosphat-Phosphor), verglichen mit den Werten zu Beginn der Messungen Anfang der 1970er- beziehungsweise der 1990er-Jahre. Dennoch werden die nach Gewässertyp differenzierten Orientierungswerte der Oberflächengewässerverordnung – OGeV 2016 von 0,05 Milligramm pro Liter (mg/l), 0,07 mg/l und 0,1 mg/l ortho-Phosphat-Phosphor an 39 % der Messstellen und somit in weiten Landesteilen überschritten. 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.

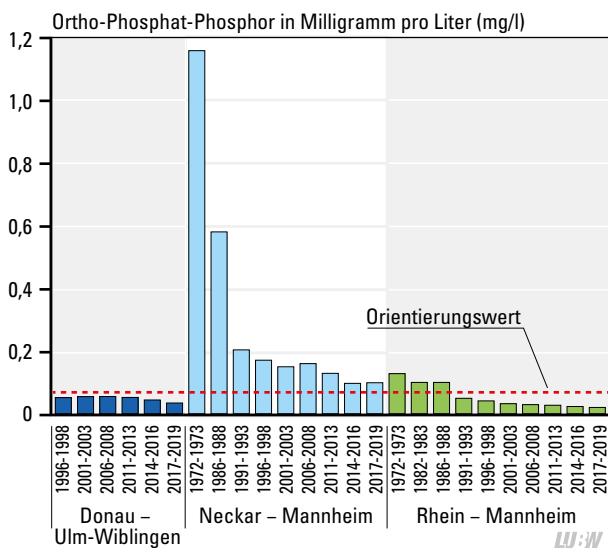


Abb. 5.2-8: Entwicklung der Phosphatkonzentration in Rhein, Neckar und Donau (ortho-Phosphat-Phosphor, Mittelwerte), Orientierungswert (OGeV 2016). Quelle LUBW, Stand 2020.

Chemisch-physikalische Komponenten: Nährstoffe – Nitrat

Nitrat ist die mengenmäßig bedeutendste Stickstoffverbindung in Fließgewässern und wird aus kommunalen Kläranlagen, zu einem erheblichen Anteil auch diffus über Abschwemmungen und über das Grundwasser eingetragen. Es trägt als Pflanzennährstoff jedoch 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. Die Umweltqualitätsnorm (UQN) von 50 Milligramm pro Liter (mg/l) Nitrat (entsprechend 11,3 mg/l Nitrat-Stickstoff) wird in den Fließgewässern des Landes eingehalten. Der für Gesamtstickstoff in der Oberflächengewässerverordnung – OGeV 2016 definierte Jahresmittelwert von 2,8 mg/l speziell für limnisch-maritime Übergänge in die Nordsee, wird vom Rhein an der Landesgrenze bei Mannheim langjährig unterschritten.

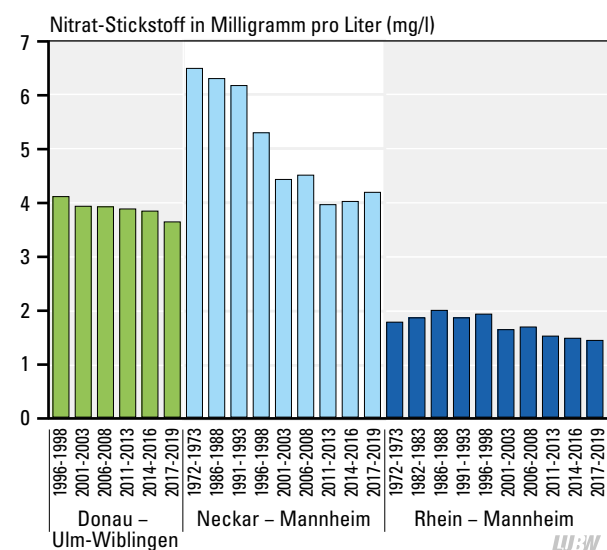


Abb. 5.2-9: Entwicklung der Nitratkonzentration in Rhein, Neckar und Donau (Nitrat-Stickstoff, Mittelwerte). Quelle LUBW, Stand 2020.

Flussgebietspezifische Schadstoffe

In der Oberflächengewässerverordnung – OGewV 2016 sind für 67 Schadstoffe, die als „flussgebietspezifische Schadstoffe“ bezeichnet werden, rechtsverbindliche, nationale Umweltqualitätsnormen (UQN) festgelegt. Diese sind bei der ökologischen Zustandsbewertung zu berücksichtigen.

Die Bewertung der flussgebietspezifischen Schadstoffe erfolgte 2019 auf Basis der Daten von 2016 bis 2018 im Rahmen der Aktualisierung der Bewirtschaftungspläne. Für die Mehrzahl der Schadstoffe wurden dabei keine und für fünf Stoffe wurden nur vereinzelt Überschreitungen der UQN festgestellt. Für die weiteren Schadstoffe Imidacloprid, Nicosulfuron und gelöstes Silber wurden die meisten Überschreitungen nachgewiesen.

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 Jahresdurchschnitts-UQN für Imidacloprid von 0,002 Mikrogramm pro Liter ($\mu\text{g/l}$) wird an 37 % der untersuchten Messstellen in Baden-Württemberg überschritten. Dabei liegen 65 % der Messstellen mit Überschreitungen im Einzugsgebiet des Neckars und 23 % im

Einzugsgebiet des Oberrheins. 2018 wurde die EU-Zulassung für die Freilandanwendung von Imidacloprid widerrufen und der Einsatz auf Gewächshäuser beschränkt, weshalb ein Rückgang der Belastung in den Fließgewässern erwartet werden kann.

Der als Herbizid im Maisanbau eingesetzte Wirkstoff **Nicosulfuron** überschreitet die Jahresdurchschnitts-UQN von 0,009 $\mu\text{g/l}$ an 9 % der untersuchten Messstellen in Baden-Württemberg. Betroffen sind vor allem Fließgewässer in den Einzugsgebieten von Neckar und Donau. Überschreitungen der zulässigen Höchstkonzentration von 0,09 $\mu\text{g/l}$ wurden dabei in Ablach, Jagst, Kander, Kanzach und Tauber festgestellt.

Überschreitungen der Jahresdurchschnitts-UQN von 0,02 $\mu\text{g/l}$ für **gelöstes Silber** wurden an 6 % der untersuchten Messstellen in Baden-Württemberg nachgewiesen.

Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme für alle Bearbeitungsgebiete:

um.baden-wuerttemberg.de >
 Umwelt & Natur > Wasser und Boden > Blaues Gut >
 Europäische Wasserrahmenrichtlinie
Dritter Bewirtschaftungszyklus

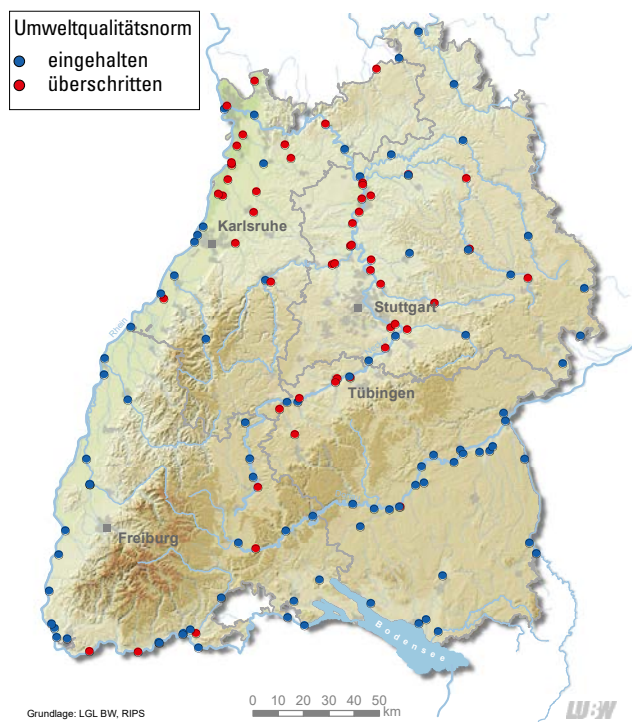


Abb. 5.2-10: Imidaclopridbelastung an den Messstellen in Baden-Württemberg im Zeitraum 2016 bis 2018 (klassifiziert nach Über- beziehungsweise Unterschreitung der UQN). Quelle LUBW, Stand 2020.

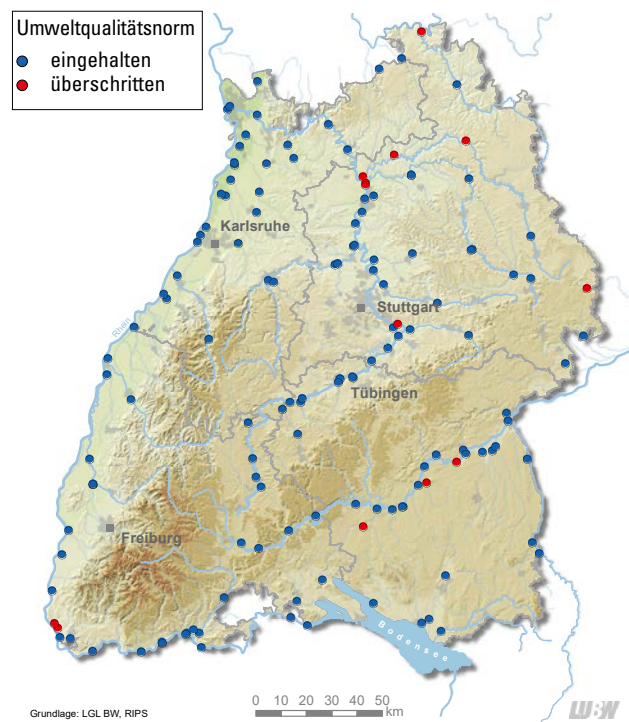


Abb. 5.2-11: Nicosulfuronbelastung an den Messstellen in Baden-Württemberg im Zeitraum 2016 bis 2018 (klassifiziert nach Über- beziehungsweise Unterschreitung der UQN). Quelle LUBW, Stand 2020.

5.3 Fließgewässer – chemischer Zustand

Der chemische Zustand wird anhand der prioritären und bestimmter anderer Schadstoffe und Schadstoffgruppen, für die EU-weit einheitliche Umweltqualitätsnormen (UQN) geregelt wurden, sowie anhand von Nitrat bewertet. Einige der prioritären Stoffe können sich in der Nahrungskette anreichern, sind aber in der Wasserphase kaum noch nachzuweisen. Diese Stoffe sind anhand von Biota-bezogenen UQN für Fische und Muscheln zu bewerten (vgl. Kap. 6.6). Die Bewertung des chemischen Zustands erfolgte wie bei den flussgebietspezifischen Schadstoffen 2019 auf Basis der Daten von 2016 bis 2018 im Rahmen der Aktualisierung der Bewirtschaftungspläne.

Der chemische Zustand umfasst sowohl nicht ubiquitär verbreitete Stoffe wie beispielsweise verschiedene Pflanzenschutzmittel als auch ubiquitär verbreitete Stoffe. Für die Mehrzahl der nicht ubiquitär verbreiteten Stoffe wurden keine und für acht Stoffe nur vereinzelte Überschreitungen der UQN gefunden. Für die weiteren Schadstoffe Fluoranthen und Bifenox wurden die meisten Überschreitungen bei den nicht-ubiquitären Stoffen festgestellt.

Fluoranthen gehört zu den polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, die durch Verbrennungsprozesse entstehen und über die Atmosphäre verbreitet werden. Überschreitungen der UQN wurden an 42 % der untersuchten Messstellen in Baden-Württemberg nachgewiesen. **Bifenox** ist ein als Herbizid eingesetzter Wirkstoff, der 2016 in der Oberflächengewässerverordnung – OGewV erstmals geregelt wurde. Überschreitungen der zulässigen Höchstkonzentration von 0,04 Mikrogramm pro Liter ($\mu\text{g/l}$) wurden an 7 % der untersuchten Messstellen in Baden-Württemberg nachgewiesen. An drei Messstellen wurde zusätzlich die Jahresdurchschnitts-UQN von 0,012 $\mu\text{g/l}$ überschritten.

Zu den ubiquitären Schadstoffen zählen unter anderem **Bromierte Diphenylether (BDE)** und **Quecksilber**. Beide wurden aufgrund ihrer Verbreitung und Anreicherung entlang der Nahrungskette deutschlandweit als flächendeckend überschritten eingestuft. Die in Baden-Württemberg erhobenen Biota-Daten stützen dieses Vorgehen.

udo.lubw.baden-wuerttemberg.de >
Wasser > Oberflächengewässer >
Phys.-chem. Gewässergütedaten

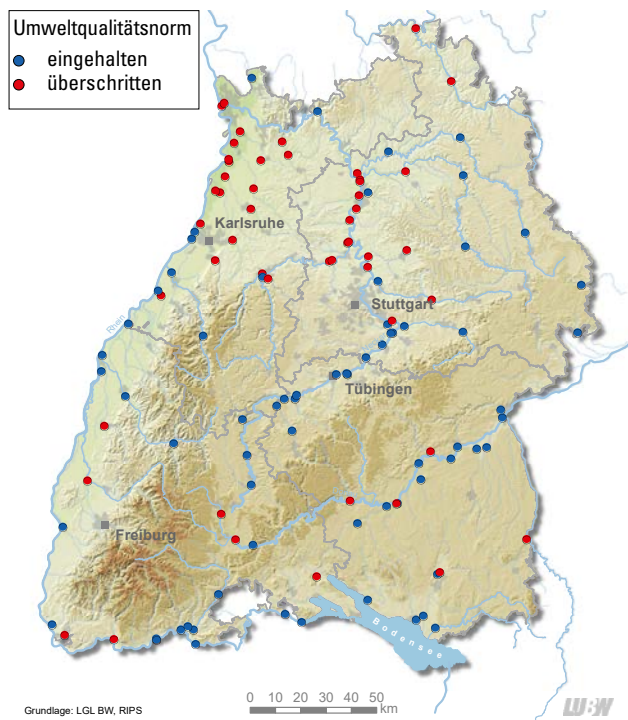


Abb. 5.3-1: Fluoranthenbelastung an den Messstellen in Baden-Württemberg im Zeitraum 2016 bis 2018 (klassifiziert nach Über- beziehungsweise Unterschreitung der UQN). Quelle LUBW, Stand 2020.

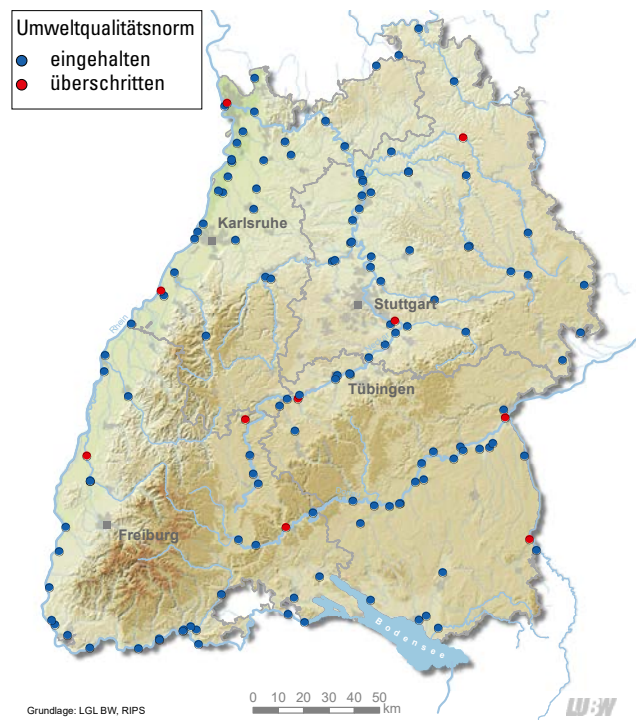


Abb. 5.3-2: Bifenoxbelastung an den Messstellen in Baden-Württemberg im Zeitraum 2016 bis 2018 (klassifiziert nach Über- beziehungsweise Unterschreitung der UQN). Quelle LUBW, Stand 2020.

5.4 Stehende Gewässer

Seenland Baden-Württemberg

In Baden-Württemberg von einem Seenland zu sprechen, mag auf den ersten Blick ungewöhnlich erscheinen, aber in Baden-Württemberg gibt es über 4500 Seen und Weiher mit einer Größe von mindestens 2000 Quadratmetern. Diese Seen erfüllen vielfältige Funktionen für die Natur – und den Menschen.

Die stehenden Gewässer dienen als Fischgewässer, bieten die Möglichkeit für Wassersport und stellen landschaftlich reizvolle (Nah-)Erholungsziele dar. Sie dienen als Energiespeicher, Hochwasserrückhalt und Trinkwasserreservoirs. Seen und Weiher sind wichtige Lebensräume für eine große Vielfalt an Pflanzen und Tieren. Für einige selten gewordene Arten sind sie die letzten Refugien, für viele Arten sind sie wichtige Rastplätze auf ihren Wanderungen. Unter den stehenden Gewässern Baden-Württembergs befinden sich auch einige Seen, die Besonderheiten darstellen. So ist beispielsweise der rund 140 Hektar große **Federsee** mit einer durchschnittlichen Wassertiefe von nur etwa 1 Meter der größte Flachsee des Alpenvorraumes. Weitere wichtige Vertreter sind neben anderen der **Titisee** und der **Illmensee**.

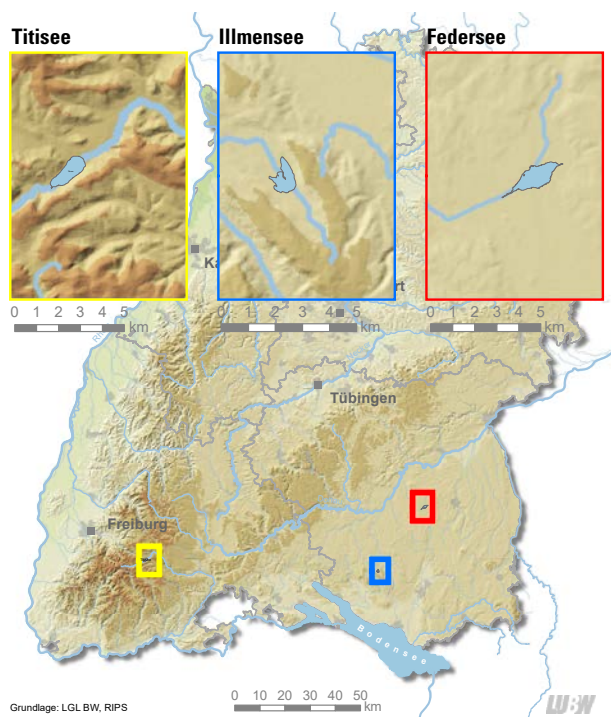


Abb. 5.4-1: Lage von Federsee, Illmensee und Titisee in Baden-Württemberg.

Aufgrund seiner Größe und Tiefe gehört auch der **Bodensee** in die Reihe besondere Seen. Der zweitgrößte See (nach Volumen) Mitteleuropas ist nach der letzten Eiszeit allmählich von den Gletschern, die sein Hauptbecken ausgehobelt haben, freigegeben worden. Heute haben die Schweiz, Österreich und in Deutschland Bayern und Baden-Württemberg Anteile am Seeufer. Sein etwa 11500 Quadratkilometer großes Einzugsgebiet umfasst darüber hinaus noch Liechtenstein und erstreckt sich bis auf italienisches Staatsgebiet. Um ein derartiges Gewässer effektiv zu schützen und nachhaltig zu bewirtschaften, ist eine internationale Zusammenarbeit nötig, die seit den 1960er-Jahren besteht. Zum langfristigen Erhalt der Funktionen des Sees wurden seit den 1960er-Jahren Anstrengungen unternommen, die Nährstofffrachten aus Abwässern im Einzugsgebiet durch Kläranlagen zu verringern. Seit Mitte der 1980er-Jahre brachten die Bemühungen, eine „Reoligotrophierung“ des Sees zu erreichen, langsam Erfolge, und der See wurde nach der zunehmenden Verschmutzung seit den 1940er-Jahren wieder sauberer.



Abb. 5.4-2: Bodensee mit Forschungsschiff Kormoran. Foto: LUBW.

Bodensee: chemische Parameter

2019 betrug die Konzentration des **Gesamtphosphors** im volumengewichteten Jahresmittel 6,2 Mikrogramm pro Liter ($\mu\text{g/l}$) und lag damit niedriger als in den Jahren zuvor (2018: 7,6 $\mu\text{g/l}$, 2017: 7,5 $\mu\text{g/l}$). Die mittlere Konzentration war wieder im Bereich von 2012 (6,3 $\mu\text{g/l}$). Insgesamt liegt die mittlere Konzentration an Gesamtposphor in einem für große oligotrophe Alpenseen typischen Bereich. In der Zirkulationsphase 2019 (Mittelwert Februar bis April) wurde ein Wert von 7,1 $\mu\text{g/l}$ festgestellt (2018: 7,9 $\mu\text{g/l}$, 2017: 8,0 $\mu\text{g/l}$).

Als Konsequenz mehrerer aufeinanderfolgender Jahre ohne Vollzirkulation kam es seit 2013 zu einer Zunahme der Phosphorkonzentration in den tiefen Wasserschichten unter 100 Meter (m). Am deutlichsten zeigte sich die Zunahme direkt über dem Seegrund in etwa 250 m Wassertiefe. 2018 konnte nach fünf Jahren mit schlechter Zirkulation eine gute Zirkulation beobachtet werden, wodurch sich die Phosphorkonzentration über die gesamte Wassersäule angleichen konnte. 2019 war wiederum ein Jahr mit schlechter Zirkulation, allerdings wurde keine ausgeprägte Anreicherung im Sommer beobachtet. Die Beobachtung deckt sich auch mit den gemessenen Sauerstoffwerten über Grund.

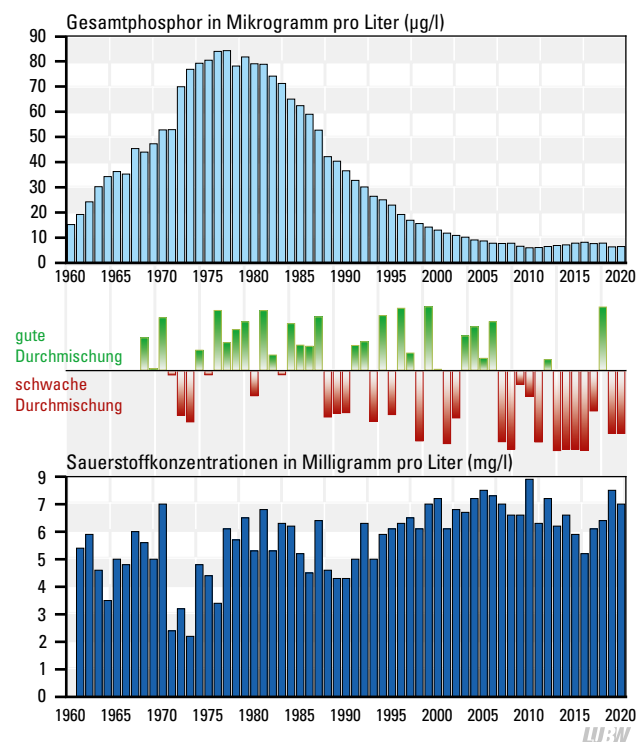


Abb. 5.4-3: Langfristige Entwicklung der Gesamtphosphorkonzentrationen (oben), der Zirkulation (Mitte) und der minimalen Sauerstoffkonzentrationen über Grund (unten) im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil). Quelle LUBW, Stand 2021.

Der minimale **Sauerstoffgehalt** im tiefen Hypolimnion (unterste Wasserschicht eines stehenden Gewässers) des Obersees 2019 zeigte mit 7,5 Milligramm pro Liter (mg/l) den zweithöchsten Wert der letzten knapp 60 Jahre und lag seit 2012 erstmals wieder über 7 mg/l (2013 bis 2018: 5,2 bis 6,5 mg/l).

Der Gehalt an **anorganischem Stickstoff** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente lag 2019 weiterhin konstant bei 0,89 mg/l wie auch in den Jahren 2017 und 2018. Damit liegt die Konzentration seit Anfang der 1980er-Jahre im Bereich von etwa 0,9 bis 1,0 mg/l .

Bei **Chlorid** als Indikator vielfältiger Einträge aus dem Siedlungsbereich zeichnet sich seit 2004 ein zunehmender Trend ab. Während es im Jahr 2003 noch 5 mg/l waren, stieg die Konzentration 2013 auf 6,9 mg/l und lag 2019 bei 7,3 mg/l . Ein beträchtlicher Teil der Zunahme stammt aus der winterlichen Straßensalzung [IGKB 2010].

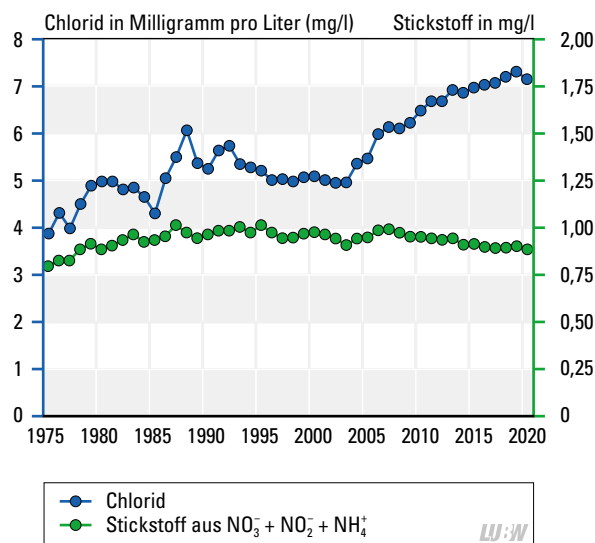
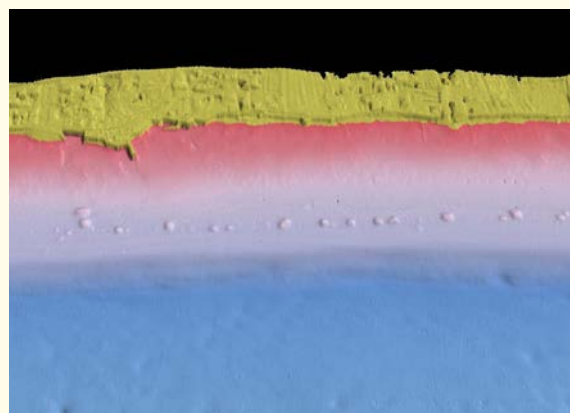


Abb. 5.4-4: Langfristige Entwicklung der Stickstoff- und Chloridkonzentrationen im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil). Quelle LUBW, Stand 2021.

Das Projekt „Tiefenschärfe“ und die „Hügeli“ am Thurgauer Bodenseeufer

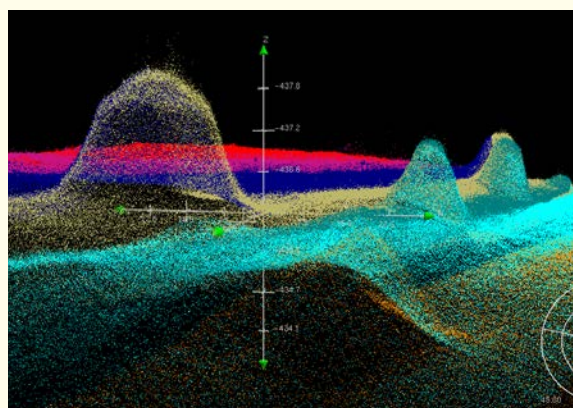
Bei der Vermessung des Bodensees im Projekt „Tiefenschärfe“ wurden etwa 170 relativ symmetrische Erhebungen am Thurgauer Seeufer entdeckt. Dabei handelt es sich um annähernd kreisrunde Steinhäufen mit bis zu 30 Meter (m) Durchmesser und 1 bis 2 m Höhe in 3 bis 5 m Wassertiefe. Viele der Hügel sind sehr regelmäßig geformt und haben etwa 100 m Abstand voneinander. Wegen der Regelmäßigkeit kam schnell der Verdacht auf, dass es sich um menschengemachte Strukturen handelt. Der Fund wurde deshalb rasch an die Archäologen des Kantons Thurgau gemeldet. Schnell entstand die Schlagzeile „Stonehenge am Bodensee“.



Geländemodell der Steinschüttungen am Thurgauer Seeufer. Quelle LUBW, Institut für Seenforschung mit Daten des IGKB-Projektes „Tiefenschärfe“.

Untersuchungen der Steinhäufen

Da es aus historischer Zeit keine Angaben zum möglichen Bau der Steinschüttungen gibt, wurde ein interdisziplinäres Team aus Archäologen und Geologen zusammengeführt, um die mögliche Entstehung der „Hügeli“ zu diskutieren und näher zu untersuchen. Es gab intensive Untersuchungen durch Taucher, Geröllanalysen, Messungen mit



„Punktwolke“ der Steinschüttungen am Thurgauer Seeufer. Die Farbcodierung zeigt die unterschiedlichen Datensätze aus der Vermessung des Fächerecholots beziehungsweise des Laserscanners. Datenquelle [IGKB 2016].

mit einem Unterwasser-Georadar, Sedimentkernentnahmen, geoakustische Untersuchungen, geomorphologische Analysen und Betrachtungen und Diskussionen zu möglichen Seespiegelständen. Schließlich wurde ein Baggerschurf durch eines der Objekte gelegt, und man fand unmittelbar unter den Steinhügeln eindeutig bearbeitete Hölzer. Diese ließen sich auf einen Zeitraum zwischen 3515 und 3372 vor Christus datieren und passten sehr gut zu den sedimentologischen Daten und der Interpretation der Georadarmessungen. Klar scheint, dass die Hügel im Neolithikum entlang des damaligen Übergangs von der Flachwasserzone in tieferes Wasser errichtet wurden.

Ein riesiges neolithisches Bauwerk

Abschätzungen der zum Bau der Hügel verwendeten Steinmengen zeigten, dass etwa 80 000 Tonnen für die Errichtung der Hügel verwendet wurden. Es handelt sich um eines der weltweit größten Bauwerke der damaligen Zeit. Unklar blieb, wie die Steinhäufen gebaut wurden: Der Seespiegel kann aus mehreren Gründen nicht so niedrig gewesen sein, dass man diese Steinschüttungen trockenen Fußes bewerkstelligen konnte.

Auch warum unsere Vorfahren diese Hügel errichtet haben, konnte nicht gelöst werden. Eine bevorzugte Hypothese ist, dass wohl nur aus kultischen Gründen solch ein Aufwand für ein Bauwerk ohne naheliegende Funktion betrieben wurde. Da derzeit keine Gefährdung der Bauwerke absehbar ist, wird auf eine weitere aufwendige taucharchäologische Erforschung vorerst verzichtet. Unseren Nachfahren bleibt damit eine harte Nuss zu knacken. Die Hügel sollen behördlicherseits unter Denkmalschutz gestellt werden. Eine Übersicht zum Stand der Erforschung der Steinschüttungen ist jüngst im Jahrbuch Archäologie der Schweiz, Band 104 (2021) erschienen.

Bodensee: biologische Parameter

Für die biologische Bewertung an der Messstelle Fischbach-Uttwil spielen vor allem die im Wasser schwebenden Kleinorganismen – das Plankton – eine wichtige Rolle. Die pflanzlichen Bestandteile des Planktons (Phytoplankton) bestehen aus verschiedenen Algen. Diese reagieren sensibel auf Veränderungen des Wassers und sind daher sehr gute Belastungsanzeiger.

Durch die Eutrophierung und den damit verbundenen hohen Phosphorgehalt stieg im Bodensee die Phytoplankton-Biomasse im Jahr 1978 auf einen Jahresmittelwert von 1,4 Milligramm pro Liter (mg/l). Infolge der Maßnahmen zur Verringerung des Phosphoreintrags aus dem Einzugsgebiet ging auch die Biomasse zeitverzögert zurück. Derzeit weist das Plankton im Bodensee-Obersee eine für einen nährstoffarmen Alpensee typische Entwicklung auf mit einer durch Kieselalgen geprägten Blüte in den Sommermonaten und insgesamt niedriger Phytoplankton-Biomasse. Deren Jahresmittelwerte lagen in den letzten Jahren zwischen 0,47 mg/l und 0,66 mg/l, mit den naturgemäßen leichten Schwankungen, die zum Beispiel wetterbedingt auftreten können.

Zur biologischen Bewertung werden die Artenzusammensetzung des Phytoplanktons und Biomassen im deutschlandweit einheitlichen und international abgestimmten Verfahren PhytoSee 7.0 verwendet, um den Phytosee-

Index (PSI) zu errechnen und daraus den ökologischen Zustand abzuleiten. Diese Bewertung weist für den Bodensee-Obersee an der Messstelle Fischbach-Uttwil einen guten ökologischen Zustand aus.

Tab. 5.4-1 Überblick über den PhytoSee-Index über die letzten Jahre. Quelle LUBW, Stand 2021.

| Jahr | PhytoSee-Index (PhytoSee 7.0) | Ökologischer Zustand |
|------|-------------------------------|----------------------|
| 2016 | 1,83 | gut |
| 2017 | 1,79 | gut |
| 2018 | 1,83 | gut |
| 2019 | 1,83 | gut |
| 2020 | 1,76 | gut |

LUBW

Im Jahr 2016 wurde im Bodensee das erste Mal die aus dem Schwarzmeergebiet stammende Quagga-Muschel (*Dreissena rostriformis*) nachgewiesen. Binnen weniger Jahre hat diese nicht heimische Muschel den gesamten See besiedelt und bildet stellenweise massive Vorkommen. Durch die großflächige, dichte Besiedlung des Seebodens und den Nahrungsbedarf der Muscheln sind Veränderungen der Lebensgemeinschaften im See wahrscheinlich. Die langfristige Entwicklung lässt sich nach derzeitigem Kenntnisstand noch nicht sicher abschätzen.

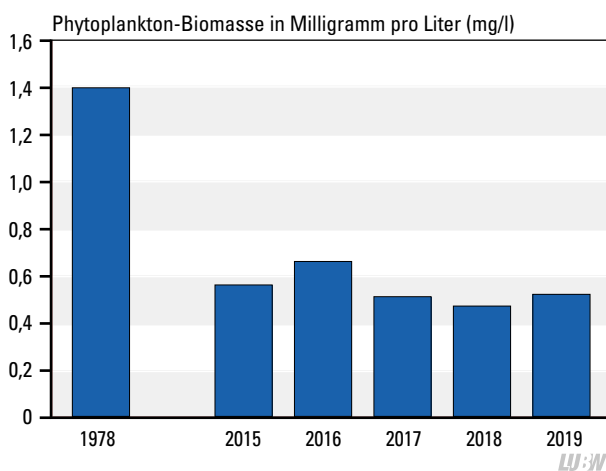


Abb. 5.4-5: Jahresmittelwerte der Phytoplankton-Biomassen 1978 und letzten fünf Jahre. Quelle LUBW, Stand 2021.



Abb. 5.4-6: Quagga-Muschel aus dem Bodensee. Foto: T. Rennebarth LUBW.

Kleine Seen

Unter dem Begriff „Kleine Seen“ sind über 4 500 natürliche Seen, Weiher, Talsperren und Baggerseen im Land Baden-Württemberg außer dem Bodensee zusammengefasst. Davon werden vom Institut für Seenforschung der LUBW etwa 40 Seen, denen aus rechtlichen und wissenschaftlichen Gründen oder aus öffentlichem Interesse besondere Bedeutung zukommt, regelmäßig auf physikalische, chemische und biologische Parameter untersucht. Dazu gehören der Illmensee und der Titisee, die der EU neben weiteren als Überblickseen gemeldet wurden.

Der Illmensee und der Titisee unterscheiden sich wesentlich in ihrer Größe, ihrer Morphometrie sowie in der Größe und Beschaffenheit ihrer jeweiligen Einzugsgebiete. Dementsprechend verschieden sind ihr Chemismus und ihre Biologie.

Kleine Seen: allgemeine Parameter

Der Illmensee ist knapp 66 Hektar (ha) groß und liegt in Oberschwaben. Er ist als FFH-Gebiet ausgewiesen und liegt im Landschaftsschutzgebiet „Illmensee, Ruschweiler See und Volzer See“. Der Illmensee ist maximal 16 Meter (m) tief, ausgedehnte Flachwasserzonen fehlen. Er wird als Badegewässer und für den Angelsport genutzt. Das Einzugsgebiet des Illmensees umfasst etwa 830 ha und ist von Ackerland (35 %), Mischwald (26 %) und Grün- und Gartenland (22 %) geprägt.

Der Titisee liegt im Bereich des südlichen Schwarzwaldes in der Gemeinde Titisee-Neustadt. Er bildete sich als Moränenstausee am Ende der letzten Eiszeit in einem von einer Zunge des Feldberggletschers ausgeformten Tal. Die Wasserfläche beträgt etwa 107 ha bei einer maximalen Tiefe von 39 m. Während das steile Längsufer im Südosten bis an die Wasserlinie bewaldet ist, ist das Nordufer durch mehr oder weniger dichte Besiedlung geprägt. Der wichtigste Zufluss ist der Seebach, der, vom Feldsee kommend, elektrolytarmes Wasser zuführt.

Der Illmensee hat entsprechend seinem Einzugsgebiet kalkreiches und gut gepuffertes Wasser. Demgegenüber hat der Titisee als typischer Schwarzwaldsee weiches Wasser mit geringem Puffervermögen, das im natürlichen Referenzzustand nährstoff- und elektrolytarm, aber huminstoffreich ist. Der pH-Wert lag in den letzten Untersuchungsjahren stabil im neutralen Bereich bei knapp unter 7. Damit ist der Titisee nicht von einer Versauerung des Wasserkörpers betroffen wie einige kleinere Schwarzwaldseen.

Tab. 5.4-2: Übersicht über die Kennwerte der kleinen Seen Illmensee und Titisee.

| | Illmensee | Titisee |
|---------------------|------------------------------|------------------------|
| Lage | Oberschwaben | Südl. Schwarzwald |
| Größe | 66 ha | 107 ha |
| Tiefe | 16 m | 39 m |
| Einzugsgebietsgröße | 830 ha | 2420 ha |
| Untersuchungsjahre | 1985, 2006, 2012, 2017, 2019 | 1996, 2007, 2013, 2018 |

LUBW



Abb. 5.4-7: Titisee bei Niedrigwasser. Foto: B. Engesser LUBW.

Kleine Seen: chemische Parameter

Der volumengewichtete Jahresmittelwert an Sauerstoff lag zuletzt mit 8,4 beziehungsweise 8,5 Milligramm pro Liter (mg/l) bei Illmensee und Titisee annähernd gleich, die Sauerstoffsituation im Tiefenwasser unterschied sich hingegen deutlich. Im Illmensee wurde 2019, wie bereits 2012 und 2017, ein fünf Monate anhaltendes Sauerstoffdefizit (Juni bis Oktober) in den unteren beiden Tiefenschichten beobachtet. Der Titisee wies 2018 mit 0,7 mg/l minimaler Sauerstoffkonzentration im Oktober noch Restsauerstoff auf. In den Messjahren 2013 und 2007 fielen die entsprechenden Werte nicht unter 2,5 mg/l.

Das volumengewichtete Jahresmittel für Gesamtphosphor (gesamt-P) im Illmensee lag 2019 mit 22 Mikrogramm pro Liter ($\mu\text{g/l}$) deutlich höher als im Titisee 2018 mit 8,4 $\mu\text{g/l}$.

Tab. 5.4-3: Wichtige chemische und physikalische Parameter im Illmensee (2019) und im Titisee (2018).

| Parameter | Einheit | Illmensee | Titisee |
|---|----------------------|----------------------------|------------------------|
| | | (Mrz. - Dez. 2019) | (Apr. - Nov. 2018) |
| Temperatur | °C | 10,9 | 7,4 |
| Sichttiefe | m | 2,5 | 3,9 |
| Leitfähigkeit | $\mu\text{S/cm}$ | 291 | 85 |
| pH | | 8,2 | 7 |
| Härte | $\frac{1}{2}$ mmol/l | 3 | 0,43 |
| SBV | mmol/l | 2,8 | 0,26 |
| gesamt-P | $\mu\text{g/l}$ | 22 | 8,4 |
| gelöst-P | $\mu\text{g/l}$ | 9,4 | 5 |
| ortho-P | $\mu\text{g/l}$ | 2,9 | 1,8 |
| O ₂ | mg/l | 8,4 | 8,5 |
| anorganisch-N | $\mu\text{g/l}$ | 814 | 320 |
| NH ₄ -N | $\mu\text{g/l}$ | 298 | 6,9 |
| SiO ₂ -Si | $\mu\text{g/l}$ | 728 | 2400 |
| gesamt-Fe | $\mu\text{g/l}$ | 46 | 160 |
| gesamt-Mn | $\mu\text{g/l}$ | 35 | 58 |
| Cl | mg/l | 12 | 19,4 |
| Chlorophyll-a | $\mu\text{g/l}$ | 11,4 ¹⁾ | 3,9 ²⁾ |
| O ₂ Min | mg/l | 0 (07-08, 10-11) | 0,7 (10) |
| gesamt-P Max | $\mu\text{g/l}$ | 157 (11) | 29 (6) |
| NH ₄ -N Max | $\mu\text{g/l}$ | 2935 (11) | 60 (10) |
| gesamt-Fe Max | $\mu\text{g/l}$ | 486 (11) | 1898 (6) ³⁾ |
| gesamt-Mn Max | $\mu\text{g/l}$ | 435 (9) | 1225 (6) |
| Trophiebewertung | | | |
| LAWA-Trophie (neu/alt) ⁴⁾ | | 2,4/2,4 | 1,49/1,55 |
| LAWA-Trophieindex (neu/alt) ⁴⁾ | | m ² /m | o/m |
| Referenz-Trophie | | oligotroph bis mesotroph 1 | oligotroph |

1) Wert bezieht sich auf das Jahresmittel im Epilimnion. – 2) Wert bezieht sich auf den Tiefenbereich 0-5 m. – 3) Ohne Oktober. – 4) Seit Ende 2013 wird eine aktualisierte Trophieklassifikation der LAWa zur Seebewertung eingesetzt (hier als „neu“ bezeichnet).

LUBW

Dies lässt sich auf das Einzugsgebiet zurückführen. Nach den Messergebnissen aus den 1980er-Jahren konnte bei den darauffolgenden Untersuchungen bei beiden Seen eine deutliche Reduktion des Phosphorgehalts als Folge von durchgeführten Maßnahmen im Abwasserbereich beobachtet werden.

Die Gehalte an anorganischem Stickstoff (N) liegen im Illmensee 2019 bei einem Jahresmittel (volumengewichtet) von 814 $\mu\text{g/l}$ im Titisee 2018 bei 320 $\mu\text{g/l}$. Dabei lag der Anteil von Ammonium am anorganischem gesamt-N im Illmensee bei mehr als einem Drittel, während im Titisee der Anteil etwa 2 % betrug.

Programm zur Messung von gelösten Metallen

Die Ergebnisse der im Rahmen des Metallmessprogramms bestimmten gelösten Spezies zeigen bei Illmensee und Titisee keine nennenswerten anthropogenen Belastungen an. Die ebenfalls für anthropogene Belastungen stehende Chloridkonzentration zeigte im Illmensee 2019 mit einem Jahresmittelwert von 11,7 mg/l keine nennenswerte Veränderung zu den Vorjahresmessungen. Der Chloridgehalt im Titisee hat von 12 mg/l im Jahr 2007 auf 19 mg/l im Jahr 2013 auf 19,4 mg/l im Jahr 2018 zugenommen. Bei der Untersuchung 2013 wurde mittels einer Ionenbilanz festgestellt, dass die Leitfähigkeit zu dieser Zeit zu mehr als 50 % durch Natriumchlorid bestimmt wurde, das überwiegend aus dem Einsatz von Streusalz stammen dürfte [LUBW 2015]. Die Messungen in den Zuflüssen des Titisees 2018 zeigen bezüglich der Chloridkonzentrationen einen deutlichen Einfluss aus dem Einzugsgebiet des Feldbergs.

Trophieklassifikation

Der Illmensee weist, bemessen an den chemischen Messwerten, ein mittleres Nährstoffangebot (mesotroph 2) auf. Als geschichteter Alpenvorlandsee mit relativ kleinem Einzugsgebiet ist der Illmensee damit eine Stufe von seinem maximalen Trophiestatus im Referenzzustand (mesotroph 1) entfernt und insgesamt im guten Zustand. Die Trophieklassifikation nach Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) ergibt für den Titisee wie in den vorherigen Untersuchungsjahren den Zustand oligotroph, der knapp an der Grenze zum mesotrophen Zustand liegt. Die Sichttiefe wurde für die LAWa-Einstufung nicht herangezogen, da der natürliche Gehalt an Huminstoffen diese verringert und damit eine zu hohe Trophie vortäuschen würde.

Kleine Seen: anthropogene Spurenstoffe

Sowohl der Illmensee als auch der Titisee wurden an Einzelterminen auf eine Vielzahl von Mikroverunreinigungen (bestimmten prioritären Stoffen und flussgebietspezifischen Schadstoffen nach der Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung – OGewV) und weiteren Pestizide, Metaboliten und Arzneimittel) untersucht. Von den im Illmensee insgesamt 210 untersuchten Substanzen wurden 41 in mindestens einer Probe in Konzentrationen größer oder gleich der Bestimmungsgrenze gemessen. Von den 41 im Illmensee nachgewiesenen Stoffen/Stoffgruppen zählen 9 zu den flussgebietspezifischen Schadstoffen und 6 zu den prioritären Stoffen nach OGewV. Bei keinem dieser Stoffe gab es eine Überschreitung der gesetzlich geregelten Umweltqualitätsnormen (UQN).

Im Jahr 2018 wurde der Titisee auf 48 der 50 prioritären Stoffe und auf 48 der 63 flussgebietspezifischen Schadstoffe mit Wasser-Umweltqualitätsnorm (OGewV 2016, Anlagen 6 und 8) untersucht.

Bei keinem der Stoffe kam es zu einer Überschreitung der gesetzlich vorgegebenen UQN. Alle gefundenen Substanzen lagen nur knapp über der Bestimmungsgrenze des jeweils eingesetzten Analyseverfahrens.

Über die Wasseranalytik hinaus wurden 2017 im Titisee und im Illmensee Befischungen von Rotaugen durch die Fischereiforschungsstelle Langenargen durchgeführt. Die entnommenen Fische wurden im Anschluss auf die prioritären Stoffe mit Biota-Umweltqualitätsnorm (OGewV 2016, Anlage 8) untersucht. Es wurden Überschreitungen der polybromierten Diphenylether und von Quecksilber gefunden. Werte unter der Bestimmungsgrenze wurden bei der Summenbildung der polybromierten Diphenylether (Kongenerenr. Nr. 28, 47, 99, 100, 153, 154) nicht berücksichtigt.

Kleine Seen: biologische Parameter – Plankton

Die niedrigen Phosphatkonzentrationen spiegeln sich ebenfalls in der produzierten Biomasse wider. Das Jahresmittel der Phytoplankton-Biomasse im Titisee lag 2018 bei 0,30 Milligramm pro Liter (mg/l). Die ökologische Bewertung des Titisees anhand des Phytoplanktons ergab 2018 einen PhytoSee-Index von 1,23. Dies entspricht einem sehr guten ökologischen Zustand. Das Zooplankton im Titisee ist relativ artenreich und zeigt eine typische Zusammensetzung von oligotrophen Seen mit weichem Wasser.

Das Plankton im Illmensee unterscheidet sich aufgrund der Wasserbeschaffenheit (kalkhaltig, schwach basisch) stark von dem des Titisees (kalkarm, schwach sauer, huminstoffreich). Aber auch die höheren Phosphorgehalte im Illmensee spiegeln sich zum einen in der Artenzusammensetzung wider, zum anderen auch in der Biomasse des Phytoplanktons, die im Jahresmittel von 2019 2,52 mg/l betrug. Der PhytoSee-Index für den Illmensee beträgt 3,3. Das entspricht nur einem mäßigen ökologischen Zustand. Als Auffälligkeit tritt im Illmensee die Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*) gehäuft auf. Während der Schichtung des Wasserkörpers im Sommer findet sich das Hauptvorkommen unterhalb der Sprungschicht und somit auch unterhalb der meisten anderen Algen. Die hohe Biomasse, die 2018 mit 4,05 mg/l gemessen wurde, ist durch das Massenvorkommen von *Planktothrix* maßgeblich beeinflusst.

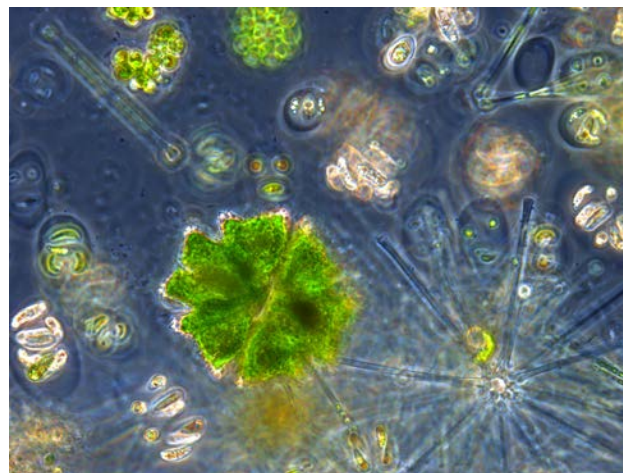


Abb. 5.4-8: Phytoplankton aus dem Titisee. Foto: LUBW.

Kleine Seen: biologische Parameter – Wasserpflanzen und Kieselalgen

Mit bloßem Auge sichtbare Wasserpflanzen (Makrophyten) und Kieselalgenaufwuchs (benthische Diatomeen) stellen ähnlich wie das Phytoplankton wertvolle Bioindikatoren dar, die Auskunft über den Zustand eines Sees geben können. Makrophyten reagieren auf Veränderungen relativ träge, Kieselalgen können bereits nach wenigen Wochen Veränderungen anzeigen. Beide Parameter werden im WRRL-Tool PHYLIB bewertet.

Im Titisee finden sich aufgrund der Eigenarten des Sees von Natur aus relativ wenige Wasserpflanzen. Dies führt dazu, dass die Bewertung anhand der Makrophyten statistisch nicht abgesichert ist. Als Besonderheit treten im Titisee sogenannte Brachsenkraut-Gesellschaften auf, die sehr selten und entsprechend schutzwürdig sind.

Im Illmensee hingegen erreicht die Bewertung anhand der Makrophyten einen Mittelwert von 3,7, was einen unbefriedigenden ökologischen Zustand anzeigt. Zahlreiche Wühlkrater von gründelnden Fischen und ein massenhaftes Auftreten des gebietsfremden Galizischen Sumpfkrebsses (*Astacus leptodactylus*), die bei der Kartierung der Wasserpflanzen festgestellt wurden, zeigen, dass der unbefriedigende ökologische Zustand hier durch eine gestörte Fauna mit bedingt wird. Dennoch weist der Illmensee mit Vorkommen des Langblättrigen Laichkrauts (*Potamogeton praelongus*) eine Besonderheit auf, die nur noch in wenigen Seen Baden-Württembergs auftritt.

Die Bewertung anhand benthischer Kieselalgen mittels PHYLIB ergibt für den Titisee einen Mittelwert von 1,3, also einen sehr guten ökologischen Zustand. Für den Illmensee beträgt der Mittelwert 2,4. Dieser Wert entspricht noch einem guten ökologischen Zustand.



Abb. 5.4-9: Makrophyten (hier *Potamogeton praelongus*) im Illmensee. Foto: F. Pätzold.

Der Illmensee – ein typischer Vertreter der kleinen Seen

Am Beispiel des Illmensees werden schon fast musterhaft viele Probleme sichtbar, die auch etliche andere Seen in Baden-Württemberg betreffen. Infolge der Verschmutzung mit Siedlungsabwässern und diffusen Nährstoffeinträgen, beispielsweise aus Bodenerosion, Zersetzung von entwässerten Torfkörpern und Düngung, kam es zu einer Nährstoffanreicherung im See, verbunden mit einer höheren Biomasseproduktion (Eutrophierung).

Ein verbessertes Management der Siedlungsabwässer und Extensivierungsmaßnahmen in der Landwirtschaft haben die Nährstofffracht in den See verringert. Trotz dieser Sanierungsmaßnahmen bleibt der See aber bislang in einem mäßigen ökologischen Zustand.

Dies ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen: Zum einen ist die Algenproduktion im See so hoch, dass es durch den Abbau abgestorbenen Planktons im See zu sauerstoffarmen Bedingungen in der Tiefe kommt, was wiederum zur Rücklösung von Nährstoffen aus dem Sediment und somit zu einer „internen Düngung“ führt. Des Weiteren hat der Illmensee durch eine künstliche Absenkung des Wasserspiegels zur Gewinnung von landwirtschaftlichen Nutzflächen große Teile seiner ökologisch sehr wichtigen Flachwasserzonen verloren, was die Selbstreinigung des Sees verschlechtert. Höhere Wasserpflanzen, die eine Konkurrenz zu Algen darstellen, können sich aufgrund der fehlenden Flachwasserzonen schlechter ansiedeln. Das Massenvorkommen des eingeschleppten Galizischen Sumpfkrebsses, der als Allesfresser auch Wasserpflanzen nicht verschont, verschlechtert das Wachstum der wichtigen Makrophyten weiter. Ein hoher Bestand an gründelnden Fischen trägt ebenfalls dazu bei, das Wachstum der Wasserpflanzen zu stören.



Abb. 5.4-10: Galizische Sumpfkrebse (*Astacus leptodactylus*) im Illmensee. Foto: F. Pätzold.

5.5 Abwasser

Kommunale Kläranlagen – Entwicklung

Neben Privathaushalten leiten auch Industrie und Gewerbe ihre Abwässer zur Behandlung in den kommunalen Kläranlagen in die öffentliche Kanalisation ein. Um die Behandlungskapazität der Kläranlage für Abwässer aus den unterschiedlichen Bereichen für jede Kläranlage einheitlich darzustellen, wird die Ausbaugröße einer Kläranlage in Einwohnerwerten (EW) angegeben – der Summe aus Einwohnerzahl und der Hilfsgröße Einwohnergleichwerte (EGW) für den gewerblichen Anteil. 2020 betrug die Gesamtausbaugröße aller 894 kommunalen Kläranlagen etwa 20,8 Millionen (Mio.) EW [UM 2021]. Die Anzahl der angeschlossenen Einwohnerinnen und Einwohner betrug etwa 11,1 Mio. und es standen somit rein rechnerisch etwa 9,7 Mio. EGW zur Behandlung von Abwasser aus Gewerbe und Industrie beziehungsweise als Reserve zur Verfügung. Die Anzahl der kommunalen Kläranlagen nahm in den vergangenen Jahren ab. Vermehrt wurden kleinere Kläranlagen stillgelegt. Das Abwasser wird in diesen Fällen in der Regel zu größeren Anlagen weitergeleitet, da diese eine bessere Reinigungsleistung aufweisen und die Behandlung dort wirtschaftlicher ist.

Über 99 % der Bevölkerung Baden-Württembergs sind an kommunale Kläranlagen angeschlossen. Lediglich rund 60 000 Einwohnerinnen und Einwohner kleiner Weiler, Gehöftanlagen oder Einzelanwesen im ländlichen Raum entsorgen ihre Abwässer über dezentrale Verfahren.

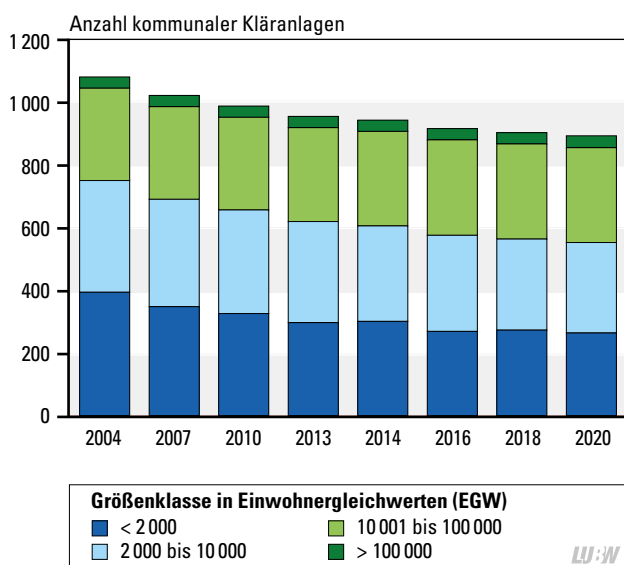


Abb. 5.5-1: Anzahl kommunaler Kläranlagen in Baden-Württemberg. Quelle Kommunales Abwasser Lagebericht 2021, Stand Dez. 2020.

Kommunale Kläranlagen – Abbauraten

Die Gesamtmenge der in die Kläranlage eingeleiteten organischen Stoffe (gemessen als chemischer Sauerstoffbedarf – CSB) wird im Landesmittel zu etwa 96 % abgebaut. Die Stickstofffracht wird zu 78 % und die Phosphorfracht zu etwa 93 % entfernt. Auf großen Anlagen kann der technisch anspruchsvolle Phosphorrückhalt effizienter durchgeführt werden. Daher steigt im Mittel die Phosphorabbauleistung mit der Anlagengröße deutlich.

Bei einigen Kläranlagen ist insbesondere die Stickstoffabbauleistung trotz der Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen unbefriedigend. Ursachen hierfür sind zumeist hohe Fremdwasseranteile. Fremdwasser entsteht durch den unerwünschten Zufluss von unbelastetem Wasser in die Kanalisation, etwa durch Grundwasserzufluss in undichte Kanäle oder die Zuleitung von Quellen oder Wasser aus Hausdrainagen. In der Summe kann das Fremdwasservolumen ein Vielfaches des behandlungsbedürftigen Schmutzwassers ausmachen. Diese Verdünnung verringert die theoretisch mögliche Reinigungs- und Abbauleistung der Kläranlage und wirkt sich negativ auf ihre Kosten- und Energiebilanzen aus. Deshalb stellen Maßnahmen zu Fremdwasserbeseitigung eine wichtige Daueraufgabe der Siedlungsentwässerung dar. Wichtige Grundlage dazu ist die regelmäßige Erfassung des Zustands der Kanalisation.

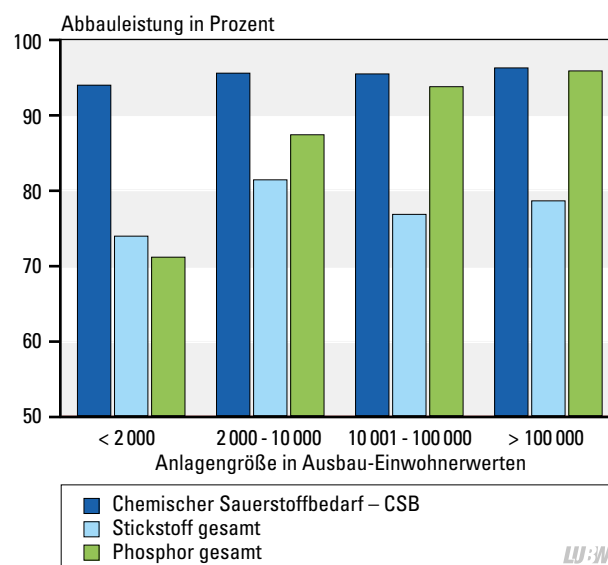


Abb. 5.5-2: Abbauleistung für unterschiedliche Anlagengrößen der Kläranlagen in Baden-Württemberg. Quelle Leistungsvergleich der kommunalen Kläranlagen, Stand 2020.

Kommunale Kläranlagen mit vierter Reinigungsstufe

Synthetische Mikroverunreinigungen zum Beispiel, durch Arzneimittelrückstände, Haushaltschemikalien und Pflanzenschutzmittel, können durch die etablierten dreistufigen Klärverfahren nicht vollständig aus dem Abwasser entfernt werden. Daher hat Baden-Württemberg bereits vor einigen Jahren damit begonnen, Kläranlagen an besonders empfindlichen Gewässern oder an Belastungsschwerpunkten mit einer vierten Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination auszurüsten. Die Umsetzung erfolgt im Konsens mit den Betreibern unter Einsatz von Fördermitteln. Insgesamt sind in Baden-Württemberg bereits 21 Kläranlagen (einschließlich einer Anlage in Bayern, die überwiegend baden-württembergisches Abwasser behandelt) mit einer vierten Reinigungsstufe in Betrieb. Damit kann Abwasser von bis zu 2,7 Millionen Einwohnerwerten (EW) in Baden-Württemberg gezielt auf Spurenstoffe behandelt werden. Weitere 23 Anlagen sind derzeit in Bau oder Planung. Zur Unterstützung von Kläranlagenbetreibern, Behörden und Planern bei der Einführung der neuen Technologien wurde im Jahr 2012 das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg gegründet.

Tab. 5.5-1: Kläranlagen mit 4. Reinigungsstufe. Quelle KomS BW, Stand Apr. 2021.

| Kläranlage | Ausbau-EW | Verfahren |
|------------------------|-----------|----------------------|
| Mannheim | 725 000 | PAK |
| Steinhäule | 445 000 | PAK |
| Böblingen-Sindelfingen | 250 000 | PAK |
| Pforzheim | 250 000 | PAK |
| Langwiese | 184 000 | PAK |
| Wendlingen | 170 213 | PAK |
| Albstadt-Ebingen | 125 000 | PAK |
| Lahr | 100 000 | PAK |
| Mittleres Glemstal | 90 000 | PAK |
| Friedrichshafen | 87 500 | Ozon |
| Hechingen | 57 200 | PAK |
| Erichskirch | 50 000 | Ozon |
| Öhringen | 49 500 | PAK |
| Stockacher Aach | 43 000 | PAK |
| Albstadt-Lautlingen | 36 000 | PAK |
| Laichingen | 35 000 | PAK |
| Immendingen-Geisingen | 25 500 | GAK |
| Kressbronn-Langenargen | 24 000 | PAK |
| Darmsheim | 13 800 | GAK |
| Emmingen-Liptingen | 7 500 | GAK |
| Westerheim | 5 500 | GAK |
| 12 in Bau | | 10 PAK, 2 Ozon |
| 11 in Planung | | 5 PAK, 4 GAK, 2 Ozon |

PAK: Pulveraktivkohle, GAK: Granulierte Aktivkohle

LU:W

Kanalisation und Regenwasserbehandlung

In Baden-Württemberg sind rund 79 000 Kilometer öffentliche Kanäle verlegt [STaLA 2021] (Datenstand 2016). Bei etwa zwei Dritteln handelt es sich um Mischwasserkanäle, in denen Schmutz- und Niederschlagswasser gemeinsam abgeleitet werden. Daneben kommen mit regionalen Schwerpunkten auch Trennsysteme zum Einsatz, bei denen Schmutz- und Niederschlagswasser in getrennten Kanalleitungen abgeführt werden. Früher war es Ziel der Siedlungsentwässerung, Niederschlagswasser schnell abzuleiten. Seit längerer Zeit wird vermehrt ein Beitrag zum naturnahen Wasserkreislauf geleistet. Dazu gehören beispielsweise die Reduzierung der Versiegelung, eine dezentrale Niederschlagsversickerung und -nutzung, Gründächer sowie die getrennte Ableitung und Retention des nicht behandlungsbedürftigen Niederschlagswassers. Dies erfolgt in Neubaugebieten, aber auch in bestehenden Siedlungsgebieten. Durch Entsiegelung oder Abkopplung von befestigten Flächen kann eine Erhöhung der Verdunstung und ortsnahe Versickerung erreicht werden. Auch der Grundwasserschutz muss ausreichend berücksichtigt werden. Da es nicht sinnvoll ist, das Kanalnetz und die Kläranlagen für extreme Regenereignisse auszulegen, sind dezentrale Anlagen zur Regenwasserbehandlung notwendig. Regenüberlaufbecken und Regenklärbecken können Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten vorübergehend speichern und reinigen. Dadurch werden die stofflichen und hydraulischen Belastungen insbesondere kleinerer Gewässer auf ein verträgliches Maß reduziert. Der Ausbau wurde bereits in den 1970er-Jahren begonnen und ist in den folgenden Jahren stetig gestiegen. Derzeit stehen etwa 3,8 Millionen Kubikmeter Beckenvolumen zur Verfügung. Dies ergibt einen durchschnittlichen Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung von etwa 96 %.

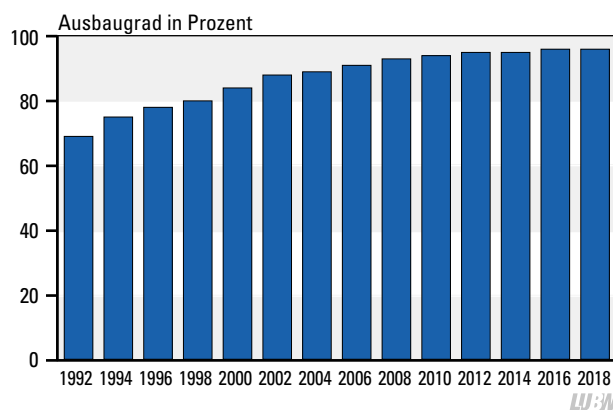


Abb. 5.5-3: Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung in Baden-Württemberg. Quelle Kommunales Abwasser Lagebericht 2021, Stand Dez. 2020

Abwasser von Industrie und Gewerbe

In Baden-Württemberg zählen besonders die Chemie-, Metall-, 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 oder in das örtliche Kanalnetz vorbehandelt werden. Seit 2001 sind große Betriebe nach der europäischen Verordnung zur Schaffung eines Schadstofffreisetzung- 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 Einwohnerwerte (EW) von dieser Berichtspflicht erfasst.

Betriebe müssen nun jährlich 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 werden. 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

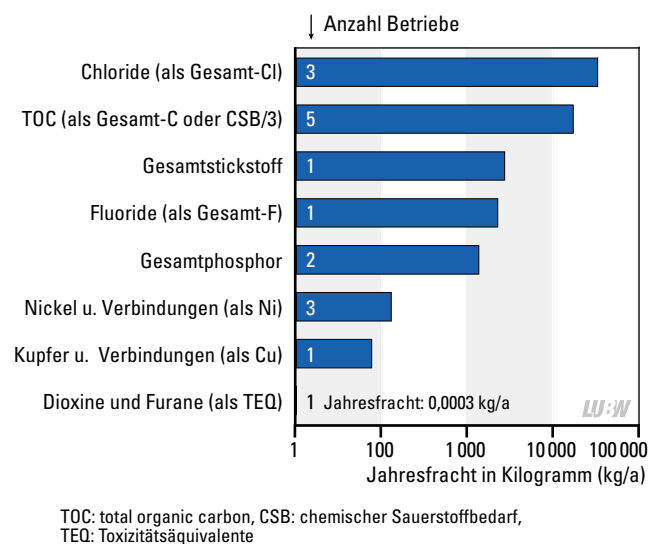


Abb. 5.5-4: In das Gewässer freigesetzte Frachten (Direkteinleitungen, ohne kommunale Kläranlagen) PRTR-pflichtiger Betriebe im Jahr 2018 in Baden-Württemberg. Quelle thru.de, Stand Feb. 2021.

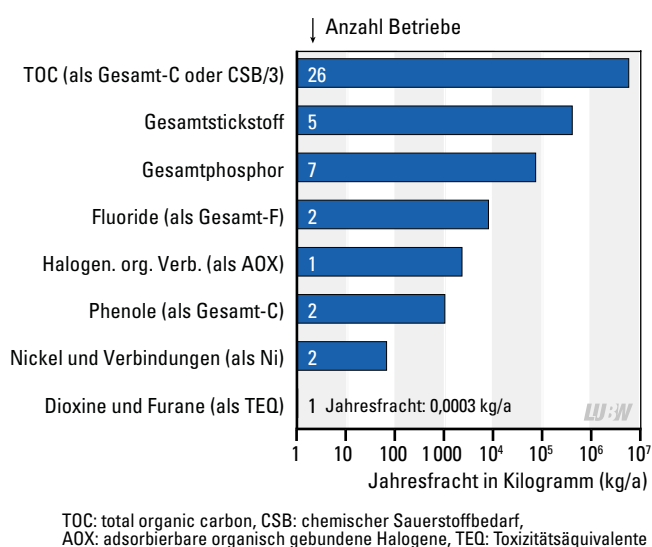


Abb. 5.5-5: Durch PRTR-pflichtige Betriebe in das Abwasser verbrachte Frachten, die in externen Kläranlagen behandelt werden (Indirekteinleitungen) im Jahr 2018 in Baden-Württemberg. Quelle thru.de, Stand Feb. 2021.

In Baden-Württemberg unterliegen aufgrund ihrer Tätigkeit potenziell knapp 700 Betriebseinrichtungen der europäischen PRTR-Verordnung. Für das Jahr 2018 haben insgesamt 41 verschiedene Direkt- und Indirekteinleiter sowie 35 kommunale Kläranlagen 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). Für die Indirekteinleitungen sind die höchsten Frachten TOC und Gesamtstickstoff. 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 den höchsten Frachten Chloride, TOC und Gesamtstickstoff.

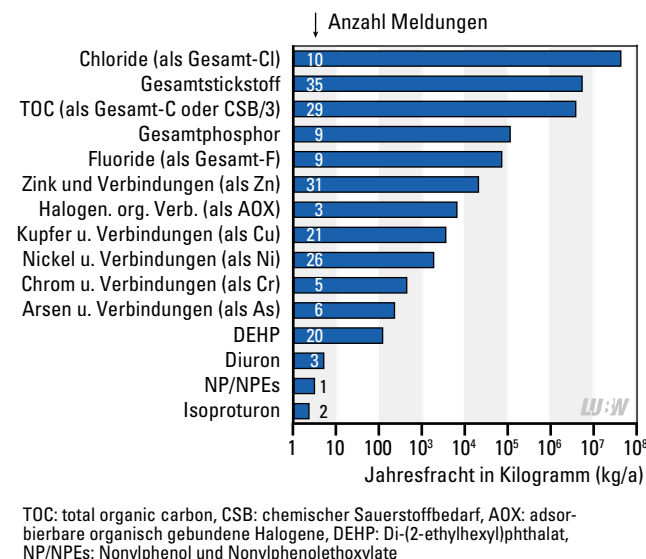


Abb. 5.5-6: In das Gewässer freigesetzte Frachten kommunaler Kläranlagen > 100 000 EW im Jahr 2015 in Baden-Württemberg. Quelle thru.de, Stand Feb. 2021.

5.6 Hydrologie der Oberflächengewässer

Pegelmessnetz

Zum hydrologischen Pegelmessnetz zählen derzeit 256 Landespegel. Im Regelfall liefern diese Pegel Wasserstands- und Abflussdaten, Seepegel nur Wasserstände.

Die Landespegel sollen die Messbereiche Niedrigwasser, Mittelwasser und Hochwasser abdecken. Sie müssen unter anderem für den Hochwassermelddienst („HMO-Pegel“) mehrere übergeordnete Aufgaben erfüllen. Dabei müssen sie so konzipiert und betrieben werden, dass schon die ungeprüften Rohdaten (Wasserstand und Abfluss) nach der Übertragung zur Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) für eine zeitnahe Veröffentlichung und Vorhersage geeignet sind. Die Daten der Landespegel sind die Grundlage für die Abflusskennwerte, die eine fachliche Grundlage für Hochwassergefahrenkarten und wasserrechtliche Verfügungen der Unteren Wasserbehörden sind. Des Weiteren sind die Abflüsse für Frachtberechnung und Plausibilisierung von Gewässergütedaten erforderlich. Einzelne Messstellen des Landes werden zusätzlich für besondere Landesaufgaben herangezogen, die sich zum Beispiel 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, beispielsweise die Überwachung von rechtlichen Regelungen. Für Fragestellungen der Landesbetriebe Gewässer bei den Regierungspräsidien gibt es weitere Messnetze mit derzeit 68 Betriebspegeln.

An den Landespegeln ist die Messtechnik so ausgelegt, dass selbst bei einem Hochwasserereignis, das sich statistisch alle 500 Jahre einmal ereignet, die Messwerte zuverlässig ermittelt und an die HVZ übertragen werden. Die LUBW erstellt die Konzeption für das hydrologische Messnetz und erarbeitet die Grundlagen und Vorgaben für den Betrieb und die Weiterentwicklung. In diesem Zusammenhang entwickelt und betreut sie das Fachinformationssystem Pegel. Die LUBW führt die Qualitätssicherung für die Messwerte durch sowie Schulungen für die Pegelbetreuerinnen und -betreuer der Regierungspräsidien. Betrieb und Unterhaltung der Pegel, Instandsetzungs- oder Modernisierungsmaßnahmen, Abflussmessungen mit Erstellung der Abflusskurven sowie die Datenprüfung werden von den Regierungspräsidien durchgeführt.

Pegeldaten werden im Daten- und Kartendienst der LUBW zum Download bereitgestellt.

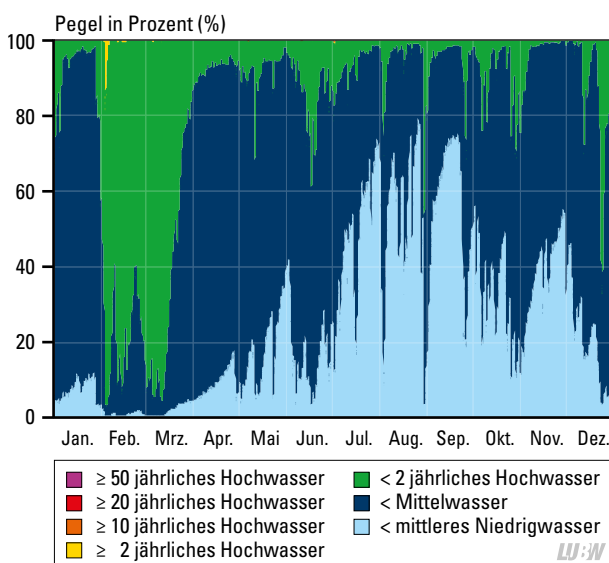


Abb. 5.6-1: Abflussklassen an HVZ-Kennwertpegeln 2020. Quelle LUBW, Stand Mai 2021.

[udo.lubw.baden-wuerttemberg.de >
Wasser > Oberflächengewässer >
Hydrologische Landespegel >
Hydrologische Landespegel](https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/Wasser/Oberflaechengewaesser/HydrologischeLandespegel)

Eine repräsentative hydrologische Übersicht zur Abflusssituation an den Landespegeln in den letzten 12 Monaten bietet das Diagramm „Hydrologische Übersicht“.

[hvz.lubw.baden-wuerttemberg.de >
Hydrol. Übersicht](https://hvz.lubw.baden-wuerttemberg.de/Hydrol.Übersicht)

Regionalisierung von Abflusskennwerten

Für die Planung und Bewertung wasserbaulicher Maßnahmen, Abflussregelungen, wasserwirtschaftlicher Nutzungen (zum Beispiel Wasserkraft), Renaturierungen oder bei der Bewertung der Gewässergüte stellen hydrologische Kenngrößen eine wichtige Grundlage dar. Die hydrologischen Kennwerte reichen von mittleren Niedrigwasserabflüssen über mittlere Abflüsse bis hin zu Hochwasserabflüssen mit definierter Jährlichkeit. An Pegelmessstellen können diese Kenngrößen anhand von Messdaten und Zeitreihen abgeleitet werden. Da auch abseits von Pegelmessstellen ein flächenhafter Bedarf an hydrologischen Kenngrößen in hoher räumlicher Auflösung besteht, stellt die LUBW den interaktiven Dienst „Abfluss-BW – regionalisierte Abflusskennwerte Baden-Württemberg“ zur Verfügung.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Wasser > Hoch- und Niedrigwasser > Regionalisierte Abflusskennwerte

Damit ist eine räumliche und sachdatenbezogene Recherche der wichtigsten hydrologischen Kennwerte an über 13 000 Gewässerstellen möglich. Im Niedrig- und Mittelwasser können anthropogene Einflüsse insbesondere durch Kläranlagen das Abflussverhalten beeinflussen. Deshalb werden in diesem Abflussbereich Kennwerte mit und ohne Kläranlageneinfluss zur Verfügung gestellt mit dem Ziel, die Niedrigwassersituationen in den Einzugsgebieten Baden-Württembergs verbessert beurteilen zu können.

Niedrigwasser: wie die Regionalisierung helfen kann

Als Niedrigwasser wird der Wasserstand von Gewässern bezeichnet, der deutlich unter einem als normal definierten Zustand, dem mittleren Abfluss, liegt. Niedrigwasser wirkt sich auf die Wasserkraft, Abwassereinleitungen und an größeren Gewässern auch auf die Schifffahrt aus. Um den Schaden für die Gewässerökologie aufgrund menschlicher Einflüsse wie Abwasser- und Wärmeeinleitungen möglichst gering zu halten, ist es wichtig, den mittleren Niedrigwasserabfluss zu kennen und wasserwirtschaftlich zu berücksichtigen. Die Kennwerte mittlerer Niedrigwasserabfluss und mittlerer Abfluss entlang des Gewässers der Jagst machen deutlich, dass der mittlere Niedrigwasserabfluss wesentlich geringer als der mittlere Abfluss ausfällt. Je kleiner das Einzugsgebiet, desto bedeutender werden lokale, gebietspezifische Gegebenheiten wie die Menge an Kläranlageneinleitungen entlang des Gewässers. Für Einzugsgebiete kleiner 5 bis 10 km² sind daher zu den regionalisierten Abflusskennwerten weitergehende Untersuchungen vorzunehmen.

Je mehr Ereignisse in Raum und Zeit beobachtet werden, desto besser können Statistiken wie die Regionalisierung abgeleitet werden, die dann wiederum zur Anpassung und zum Niedrigwassermanagement genutzt werden können.

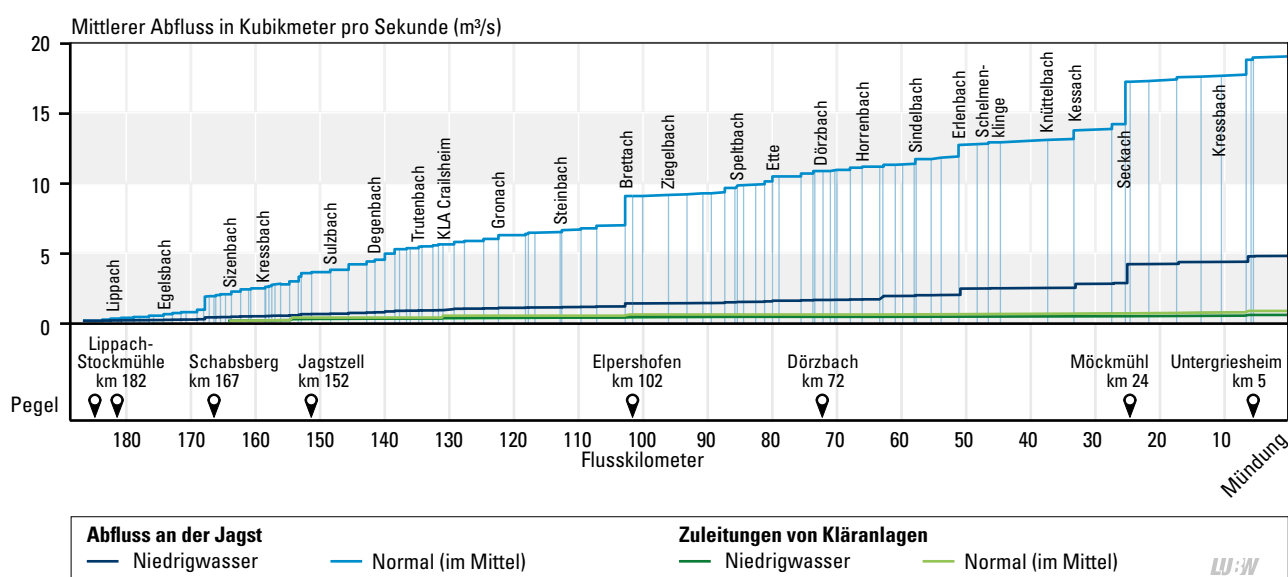


Abb. 5.6-2: Mittlerer Abfluss und Niedrigwasserabfluss an der Jagst. Die an den Pegelmessstellen abgeleiteten Abflusskennwerte sind durch ein Pegelsymbol gekennzeichnet. Die senkrechten Linien markieren die regionalisierten Abflusskennwerte entlang des Flusses. Quelle LUBW.



6 Natur und Landschaft

Das Wichtigste in Kürze

In Baden-Württemberg befinden sich über 50 % der Lebensraumtypen und knapp 60 % der Arten der **Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie** (FFH-Richtlinie) in einem ungünstigen Erhaltungszustand. Im Rahmen der seit 2010 laufenden Aktualisierung der Offenland-Biotopkartierung wurden bisher 22 Landkreise und 7 Stadtkreise in Baden-Württemberg erneut kartiert. Der landesweite **Biotopverbund** soll bis 2030 auf mindestens 15 % der Offenlandfläche des Landes ausgebaut werden. Ein Baustein des Ende 2017 von der Landesregierung aufgelegten **Sonderprogramms zur Stärkung der biologischen Vielfalt** ist das landesweite **Insektenmonitoring**. Erste Auswertungen zeigen, dass sich die Artenvielfalt zwischen den verschiedenen Flächentypen der Stichproben unterscheidet. Naturschutzgebiete wiesen mit im Schnitt 29,5 Tagfalter- und Widderchenarten rund 50 % mehr Arten auf als Gebiete in der normal genutzten Landschaft mit einem hohen Anteil an Grünland oder Ackerflächen. Außerhalb von Schutzgebieten finden anspruchsvollere Arten immer weniger höherwertige Lebensräume. Die Daten des **Brutvogelmonitorings** dokumentieren den Bestand von 34 häufigen Vogelarten und den Rückgang vieler Vogelarten der offenen Agrarlandschaft. Insbesondere sind insektenfressende Arten des Ackerlandes betroffen. Der Brutbestand des **Weißstorchs** entwickelt sich weiterhin positiv (1495 Paare in 2020).

In Bezug auf das naturschutzrechtliche Ökokonto gilt: Knapp 70 % der befragten Akteurinnen und Akteure sind mit der aktuellen **Ökokonto-Verordnung** zufrieden. Die Ergebnisse der Evaluation dienen als Grundlage für die Novellierung und Verzahnung der Ökokonto-Verordnung mit der geplanten Kompensationsverordnung. Ebenso soll das Kompensationsverzeichnis neu entwickelt werden.

Durch das Langzeitmonitoring der **Medienübergreifenden Umweltbeobachtung** wurden Auswirkungen des **Klimawandels** auf die belebte Umwelt nachgewiesen. **Schadstoffuntersuchungen** in Böden von Regenwürmern und Kleinsäugern zeigen, dass sich gesundheitsbedenkliche Chemikalien wie per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) in der Nahrungskette ansammeln. In Fischen und Muscheln werden die Umweltqualitätsnormen für Quecksilber und einige organische Schadstoffe zum Teil deutlich überschritten. Zur **Stickstoffbelastung mit Ammoniak** wurden die erste hochauflösende Karte und erste Critical Levels für stickstoffempfindliche Lebensraumtypen nach der FFH-Richtlinie veröffentlicht. Im Landkreis Karlsruhe konnte erstmals mit der neuen Methode **Umwelt-DNA (eDNA)** der Nordamerikanische Ochsenfrosch in einem See nachgewiesen werden.

Der **Waldzustand** in Baden-Württemberg verschlechterte sich 2020 unter dem Einfluss extremer Witterungsbedingungen im dritten Jahr in Folge. Aktuell wird knapp die Hälfte (46 %) der Waldfläche Baden-Württembergs als deutlich geschädigt eingestuft.



Foto: LUBW

| | | | |
|--|------------|--|------------|
| 6.1 FLÄCHENSCHUTZ | 112 | 6.4 EUROPÄISCHER NATURSCHUTZ | 128 |
| Instrumente des Flächenschutzes | 112 | Rechtlicher Rahmen | 128 |
| Natur- und Landschaftsschutzgebiete | 112 | Vogelschutzrichtlinie | 129 |
| Nationalpark | 113 | FFH-Gebiete, Arten und Lebensräume | 129 |
| Biosphärengebiete | 114 | FFH-Berichtspflicht | 130 |
| Naturparke und Naturdenkmale | 114 | Arten- und Biotophilfskonzepte | 131 |
| Gesetzlich geschützte Biotope | 115 | Gebietsmanagement von Natura 2000-Gebieten | 131 |
| Der landesweite Biotopverbund | 116 | Invasive gebietsfremde Arten | 132 |
| Naturschutzförderprojekte der EU und des Bundes | 117 | | |
| PLENUM | 118 | 6.5 NATURSCHUTZRECHTLICHE EINGRIFFSREGELUNG | 133 |
| Ramsar-Gebiete | 118 | Das neue Kompensationsverzeichnis | 133 |
| | | Evaluierung und Weiterentwicklung des | |
| 6.2 ARTENSCHUTZ | 119 | naturschutzrechtlichen Ökokontos | 133 |
| Arten- und Biotopschutzprogramm und seine | | | |
| Umsetzung | 119 | 6.6 MEDIENÜBERGREIFENDE UMWELTBEOBACHTUNG | 134 |
| Rote Listen und Artenverzeichnisse gefährdeter | | Was ist Medienübergreifende Umweltbeobachtung | 134 |
| Tier- und Pflanzenarten | 120 | Klimawandelfolgen in der belebten Umwelt | 134 |
| Besonders geschützte und streng geschützte Arten | 120 | Schadstoffanreicherung in der Nahrungskette | 135 |
| Öffentlichkeitskampagne des Landes | | Anreicherung von Quecksilber und organischen | |
| „Aktiv für die Biologische Vielfalt“ | 121 | Schadstoffen in Fischen und Muscheln | 136 |
| Brutvogelmonitoring – MhB und MsB | 121 | Gentechnisch veränderte Rapspflanzen | 137 |
| Brutvogelmonitoring – Weißstorch | 122 | Monitoring invasiver aquatischer Organismen | |
| Brutvogelmonitoring – Kormoran | 122 | mittels eDNA | 137 |
| Brutvogelmonitoring – Schwarzstorch | 123 | Hochauflösende Ammoniakkarte und Critical Level | 138 |
| | | | |
| SONDERPROGRAMM ZUR STÄRKUNG DER | | 6.7 WALD | 139 |
| BIOLOGISCHEN VIelfALT | 124 | Entwicklung der Waldfläche und des Waldzustandes | |
| | | in Baden-Württemberg | 139 |
| 6.3 ERGEBNISSE DES SONDERPROGRAMMS | 126 | Schutz- und Erholungsfunktionen von Wäldern | 139 |
| Insektendiversität in verschiedenen Flächentypen | 126 | Naturschutzwichtige Waldflächen | 140 |
| und Lebensräumen | 126 | Alt- und Totholzkonzept, Generalwildwegeplan | 140 |
| Landesweites Arten-Stichprobenmonitoring | 127 | Naturnahe Waldwirtschaft | 141 |
| Landesweite Artenkartierung | 127 | | |

6.1 Flächenschutz

Instrumente des Flächenschutzes

Die Ausweisung von Schutzgebieten verschiedener Schutzkategorien ist eines der wichtigsten Instrumente des Flächenschutzes. Sie bilden das Rückgrat des Biotop- und Artenschutzes mit dem Ziel, die Schönheit, Eigenart und Vielfalt der Natur des Landes Baden-Württemberg sowie die Tier- und Pflanzenwelt zu erhalten. Dieser Flächenschutz wird durch das Naturschutzgesetz Baden-Württemberg gewährleistet.

Tab. 6.1-1: Schutzgebiete in Baden-Württemberg. Quelle LUBW-BRS, Stand Apr. 2021¹⁾.

| | Anzahl | Fläche in Hektar | Anteil an der Landesfläche in % |
|-------------------------------|---------|------------------|---------------------------------|
| Naturschutzgebiete | 1045 | 87 593 | 2,46 |
| Nationalpark | 1 | 10 059 | 0,28 |
| Biosphärengebiete | 2 | 148 505 | 4,16 |
| Landschaftsschutzgebiete | 1452 | 808 863 | 22,67 |
| Naturparke | 7 | 1 274 296 | 35,64 |
| Naturdenkmale | 14 414 | 6 558 | 0,18 |
| gesetzlich geschützte Biotope | 232 533 | 157 383 | 4,41 |

1) Naturparke, Biosphärengebiete und gesetzlich geschützte Biotope können die anderen Schutzkategorien überlagern. Natura 2000-Gebiete sind naturschutzrechtlich keine Schutzgebietskategorie und daher nicht hier aufgeführt.

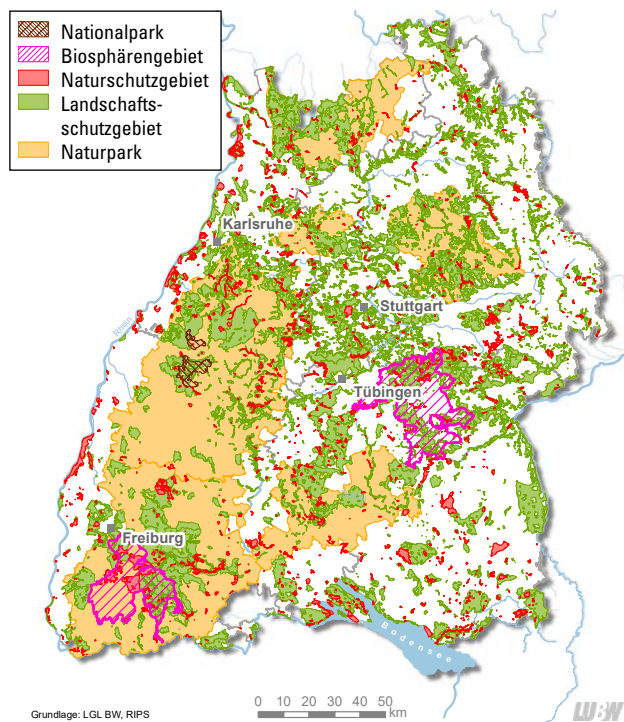


Abb. 6.1-1: Schutzgebietskategorien in Baden-Württemberg. Quelle LUBW, Stand Apr. 2021.

Natur- und Landschaftsschutzgebiete

Im April 2021 gab es in Baden-Württemberg 1045 **Naturschutzgebiete** mit einer Fläche von 87 593 Hektar (ha). Der Anteil der Naturschutzgebiete an der Landesfläche vergrößerte sich von 0,5 % im Jahr 1976 auf 2,46 % im April 2021. In den vergangenen zehn Jahren blieben Anzahl und Fläche der Naturschutzgebiete in Baden-Württemberg nahezu konstant. Die Durchschnittsgröße aller Naturschutzgebiete beträgt knapp 84 ha. Die Mehrzahl der Flächengrößen liegt zwischen 10 und 50 ha. Zehn Naturschutzgebiete sind größer als 1000 ha. Die beiden größten Naturschutzgebiete sind das Naturschutzgebiet Feldberg und das Naturschutzgebiet Gletscherkessel Präg.

Die Gesamtfläche der **Landschaftsschutzgebiete** ist seit 1975 von 540 143 auf 808 863 ha im April 2021 gestiegen. Damit stehen heute fast 23 % der Landesfläche unter Landschaftsschutz. 11 % der Landschaftsschutzgebiete sind als Bestandteil kombinierter Natur- und Landschaftsschutzgebiete ausgewiesen. Sie erfüllen dabei die Funktion einer Pufferzone zwischen intensiv genutzten Flächen und den Naturschutzgebieten und fördern damit deren Schutzziele.

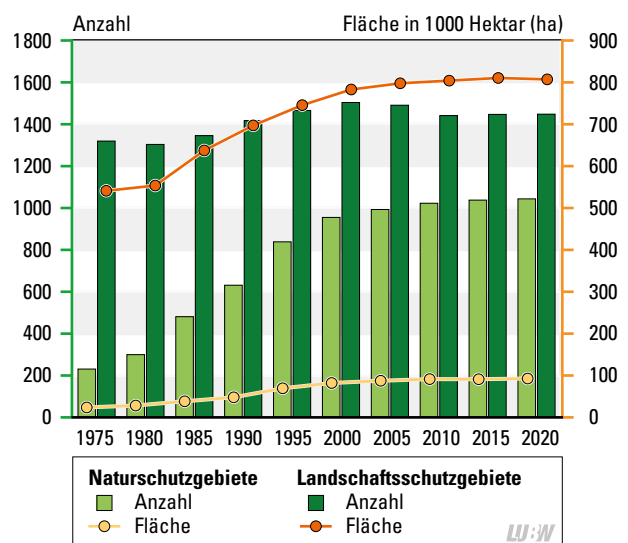


Abb. 6.1-2: Anzahl und Fläche der Natur- und Landschaftsschutzgebiete in Baden-Württemberg. Quelle LUBW, Stand Dez. 2020.

Nationalpark

Zum 01.01.2014 wurde per Gesetz der erste Nationalpark Baden-Württembergs, der „Nationalpark Schwarzwald“, mit einer Fläche von 10 059 Hektar (ha) errichtet. Er wird vollständig vom Naturpark Schwarzwald Mitte/Nord umschlossen und stellt 0,7 % der Waldfläche Baden-Württembergs unter besonderen Schutz. Ein Großteil der Fläche des Nationalparks ist Natura 2000-Schutzgebiet.

www.nationalpark-schwarzwald.de

Nationalparks unterscheiden sich von anderen Schutzgebieten vor allem durch den sogenannten Prozessschutz. Das bedeutet, dass der Mensch auf dem Großteil der Fläche, der Kernzone, nicht mehr in die Naturentwicklung eingreift, sondern Natur Natur sein lässt.

Der Nationalpark ist deshalb in drei unterschiedlich stark geschützte Zonen aufgeteilt:

Kernzone

Die Kernzone ist am stärksten geschützt. Nach den internationalen Richtlinien für Nationalparks müssen 30 Jahre nach Errichtung des Nationalparks 75 % der Fläche des Nationalparks Schwarzwald zur Kernzone zählen. Aktuell sind über 50 % des Nationalparks als Kernzone ausgewiesen.

Entwicklungszone

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

Managementzone

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 Weideflächen in den Hochlagen, Grinden genannt, liegen in der Managementzone. Sie werden dauerhaft erhalten und miteinander vernetzt.

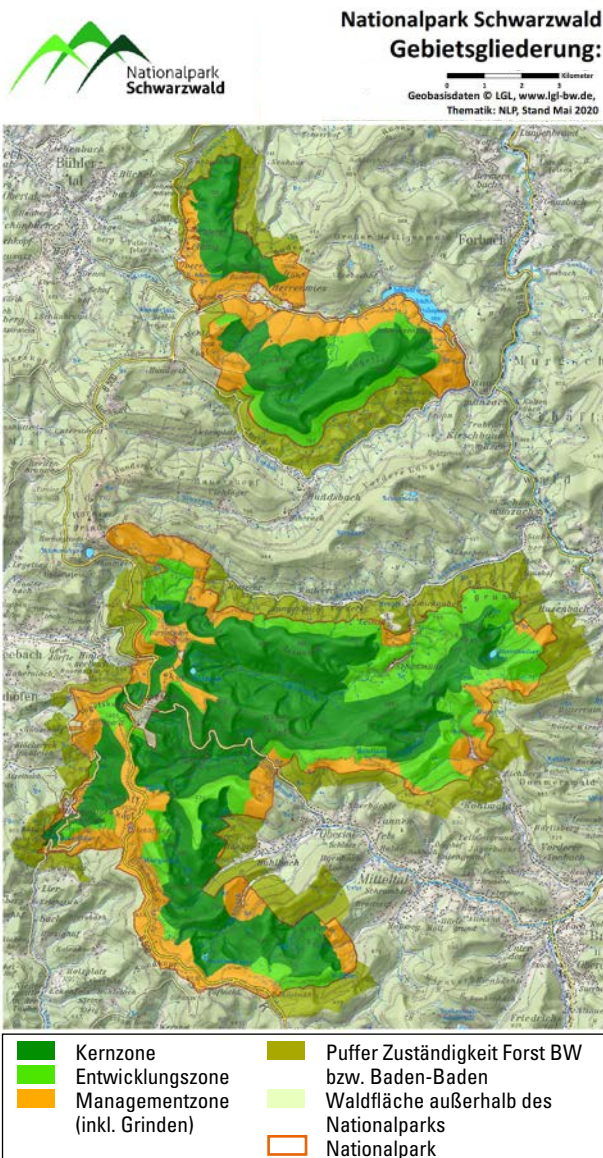


Abb. 6.1-3: Gebietsgliederung des NLP Schwarzwald. Quelle Nationalpark Schwarzwald.

Tab. 6.1-2: Zielsetzung und Anteil der Zonen an der Gesamtfläche des Nationalparks Schwarzwald. Quelle NLP, Stand Apr. 2021.

| Nationalparkzone | Zielsetzung der Zonen | Fläche in Hektar | Anteil an der Gesamtfläche in % |
|---------------------|---|------------------|---------------------------------|
| Kernzone | Ungestörte Naturentwicklung | 5116 | 50,86 |
| Entwicklungszone | Entwicklung zu Kernzonen | 2601 | 25,86 |
| Managementzone | Sicherung von Biotop- und Artenschutzzielen | 2342 | 23,28 |
| Gesamtfläche | | 10059 | 100,00 |

LU:W

Biosphärengebiete

Biosphärengebiete sind Modellregionen, die zeigen, wie sich Aktivitäten im Bereich der Wirtschaft, der Siedlungstätigkeit und des Tourismus zusammen mit den Belangen von Natur und Umwelt gemeinsam innovativ fortentwickeln können.

In Baden-Württemberg gibt es zwei Biosphärengebiete:

- „Schwäbische Alb“ seit 22.03.2008 mit einer Fläche von 85 269 Hektar (ha),

www.biosphaerengebiet-alb.de

- „Schwarzwald“ seit 04.01.2016 mit einer Fläche von 63 236 ha.

www.biosphaerengebiet-schwarzwald.de

Beide Biosphärengebiete sind von der UNESCO international anerkannt und die Anerkennung des Biosphärengebiets Schwäbische Alb wurde im September 2021 um weitere zehn Jahre verlängert.

Biosphärengebiete sind räumlich in drei Zonen unterschiedlicher Schutzintensität gegliedert, in Kern-, Pflege- und Entwicklungszonen. Die Kernzonen mit mindestens 3 % der Gesamtfläche sollen sich vom Menschen weitgehend unbeeinflusst entwickeln können. Die Pflegezonen mit mindestens 10 % Gesamtfläche sollen überwiegend wie Natur- oder Landschaftsschutzgebiete geschützt werden. Hier steht vorrangig die umweltgerechte Landnutzung im Mittelpunkt, während in den Entwicklungszonen mit mindestens 50 % der Gesamtfläche nachhaltige wirtschaftliche Entwicklungen gefördert und umgesetzt werden. Modellhafte und nachhaltig wirkende Projekte der verschiedenen Handlungsfelder in den Biosphärengebieten können durch Fördermittel des Landes unterstützt werden.

Tab. 6.1-3: Zielsetzung und Anteil der Zonen an der Gesamtfläche der Biosphärengebiete „Schwäbische Alb“ und „Schwarzwald“. Quelle LUBW-BRS, Stand Dez. 2020.

| Biosphärengebietszone Zielsetzung der Zonen | Schwäbische Alb | Schwarzwald | Anteil an der Gesamtfläche in % | |
|--|------------------|---------------|---------------------------------|--------------|
| | Fläche in Hektar | | Schwäbische Alb | Schwarzwald |
| Kernzone Ungestörte Naturentwicklung | 2645 | 2094 | 3,1 | 3,3 |
| Pflegezone Entwicklung wertvoller Kulturlandschaften | 35 410 | 18 345 | 41,5 | 29,0 |
| Entwicklungszone Nachhaltige Wirtschaftsweisen | 47 214 | 42 787 | 55,4 | 67,7 |
| Gesamtfläche | 85 269 | 63 236 | 100,0 | 100,0 |

LUBW

Naturparke und Naturdenkmale

Naturparke sind einheitlich zu entwickelnde und zu pflegende, großräumige Gebiete und auf überwiegender Fläche Landschafts- oder Naturschutzgebiete. Sie weisen eine große Arten- und Biotopvielfalt und eine durch vielfältige Nutzungen geprägte Landschaft auf (§ 27 BNatSchG).

Im April 2021 gab es in Baden-Württemberg sieben Naturparke mit einer Gesamtfläche von 1 274 296 Hektar (ha). Seit Januar 2021 hat der Naturpark Schwarzwald Mitte/Nord durch einen Flächenzuwachs um 46 000 ha eine neue Gesamtfläche von 420 000 ha und ist damit der größte Naturpark Deutschlands. Zusammen mit dem Naturpark Südschwarzwald ist damit fast der gesamte Schwarzwald als Naturpark ausgewiesen. 2018 und 2020 wurden drei weitere Naturparke aufgrund Änderungsverordnungen flächenmäßig erweitert.

Tab. 6.1-4: Naturparke in Baden-Württemberg. Quelle LUBW-BRS, Stand Apr. 2021.

| | Naturparkfläche in | |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|
| | Hektar | % der Landesfläche |
| Schönbuch | 15 507 | 0,43 |
| Stromberg-Heuchelberg | 40 766 | 1,14 |
| Neckartal-Odenwald | 128 454 | 3,59 |
| Obere Donau | 149 150 | 4,17 |
| Schwäbisch-Fränkischer Wald | 127 035 | 3,55 |
| Südschwarzwald | 393 372 | 11,00 |
| Schwarzwald Mitte/Nord | 420 013 | 11,75 |
| Baden-Württemberg | 1 274 296 | 35,64 |

LUBW

Als **Naturdenkmale** können sowohl Einzelgebilde wie Bäume oder Felsen als auch naturschutzwürdige Flächen bis zu 5 ha Größe ausgewiesen werden. Ihr Schutzstatus ist mit dem eines Naturschutzgebietes vergleichbar. Landesweit existieren 14 414 Naturdenkmale mit rund 6 558 ha Fläche.

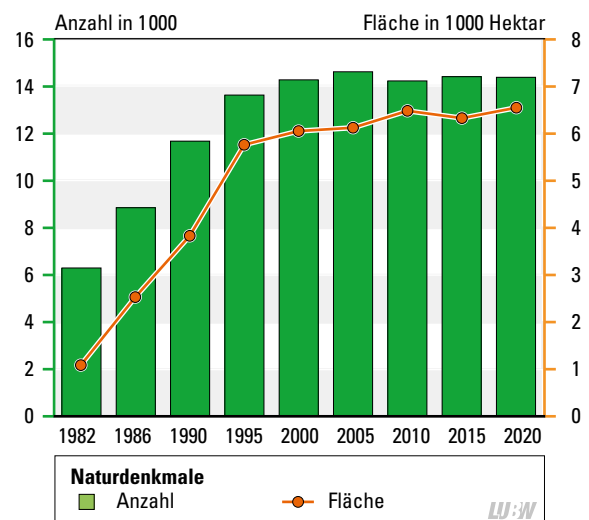


Abb. 6.1-4: Naturdenkmale nach Anzahl und Flächen. Quelle LUBW, Stand Dez. 2020.

Gesetzlich geschützte Biotope

Besonders wertvolle und gefährdete Biotope wie Moore, Nasswiesen oder Trockenrasen genießen gesetzlichen Schutz. Grundlage dieses Schutzes bieten das Bundesnaturschutzgesetz, das Naturschutzgesetz Baden-Württemberg und das Landeswaldgesetz.

Insgesamt sind in Baden-Württemberg 4,41 % (157 383 Hektar) der Landesfläche als Biotop gesetzlich geschützt.

Tab. 6.1-5: Geschützte Biotope in Baden-Württemberg. Quelle LUBW-BRS, Stand Apr. 2021.

| | Anzahl Biotope | Fläche Biotope in Hektar | Anteil an der Landesfläche in % |
|----------------------------|----------------|--------------------------|---------------------------------|
| Offenland-Biotopkartierung | 168 180 | 76 854 | 2,15 |
| Waldbiotopkartierung | 64 353 | 80 529 | 2,26 |
| Gesamt | 232 533 | 157 383 | 4,41 |

LU:W

Die gesetzlich geschützten Biotope werden mittels Kartierungen erfasst. Hierbei werden sowohl bekannte Biotope aktualisiert als auch neu entstandene Biotope erhoben. Die Biotope werden zum einen auf Luftbildern abgegrenzt, und zum anderen werden Informationen wie die Biotopbeschreibung, Beeinträchtigungen und charakteristische oder

gefährdete Pflanzenarten aufgenommen. Seit 2010 wurden im Rahmen dieser Aktualisierung bisher 22 Landkreise und 7 Stadtkreise kartiert. Die weiteren Kreise werden sukzessiv in den nächsten Jahren bearbeitet.

Verschlechtert hat sich vor allem die Situation von Offenlandbiotopen, 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, die durch Nutzungsaufgabe und Sukzession oder durch das Neuaufwachsen beziehungsweise Verdichtung vorwiegend lückiger Bestände entstanden sind.

Am zweithäufigsten wurden Nasswiesen kartiert, wobei hier angenommen wird, dass die Neuaufnahme einer geänderten Kartiermethodik geschuldet ist.

Tab. 6.1-6: Überblick über Biotopanzahl und Biotopfläche. Quelle LUBW, Stand Dez. 2020.

| Kreis | Biotopanzahl | | | Biotopfläche in Hektar | | | Anteil Biotopfläche an Kreisfläche in % |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|------------------------|---------------|----------------------|---|
| | aktuell | neu | nicht mehr vorhanden | aktuell | neu | nicht mehr vorhanden | |
| Alb-Donau-Kreis | 5 333 | 1 113 | 471 | 2 151 | 600 | 50 | 1,6 |
| Baden-Baden | 515 | 163 | 87 | 355 | 83 | 33 | 2,5 |
| Breisgau-Hochschwarzwald | 8 787 | 3 338 | 1 032 | 4 493 | 1 186 | 231 | 3,3 |
| Esslingen | 3 627 | 799 | 448 | 1 336 | 264 | 69 | 2,1 |
| Freiburg | 544 | 22 | 11 | 261 | 6 | 7 | 1,7 |
| Freudenstadt | 4 175 | 1 178 | 240 | 1 142 | 403 | 32 | 1,3 |
| Göppingen | 3 928 | 1 217 | 344 | 1 447 | 397 | 56 | 2,3 |
| Hohenlohekreis | 5 134 | 1 068 | 513 | 1 497 | 224 | 59 | 1,9 |
| Karlsruhe, Land | 7 657 | 2 137 | 1 106 | 2 815 | 467 | 276 | 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 | 298 | 192 | 42 | 197 | 68 | 5 | 1,4 |
| Ortenaukreis | 10 358 | 3 441 | 1 678 | 3 911 | 1 083 | 314 | 2,1 |
| Ostalbkreis | 6 518 | 1 425 | 883 | 2 280 | 634 | 106 | 1,5 |
| Pforzheim | 312 | 192 | 39 | 185 | 91 | 11 | 1,9 |
| Rastatt | 2 805 | 1 105 | 272 | 1 454 | 385 | 64 | 2,0 |
| Reutlingen | 5 430 | 1 115 | 95 | 3 179 | 519 | 25 | 3,1 |
| Schwäbisch Hall | 9 302 | 2 116 | 1 363 | 2 243 | 362 | 147 | 1,5 |
| Schwarzwald-Baar-Kreis | 4 524 | 1 430 | 401 | 2 823 | 575 | 94 | 2,8 |
| Sigmaringen | 6 734 | 729 | 890 | 2 896 | 329 | 148 | 2,4 |
| Tübingen | 3 011 | 1 079 | 370 | 1 253 | 250 | 62 | 2,4 |
| Tuttlingen | 2 451 | 946 | 327 | 1 336 | 417 | 145 | 1,8 |
| Ulm | 340 | 185 | 24 | 237 | 78 | 16 | 2,0 |
| Waldshut | 7 068 | 2 473 | 1 059 | 3 710 | 777 | 174 | 3,3 |
| Zollernalbkreis | 5 908 | 1 189 | 1 063 | 2 744 | 665 | 207 | 3,0 |
| gesamt | 109 962 | 29 977 | 13 451 | 47 944 | 10 243 | 2 644 | 2,3 |

LU:W

Der landesweite Biotopverbund

Der genetische Austausch zwischen Populationen ist essenziell, um Anpassungsmöglichkeiten von Arten an veränderte Lebensbedingungen, auch verursacht durch den Klimawandel, zu sichern. Um funktionsfähige ökologische Wechselbeziehungen in der Kulturlandschaft zu gewährleisten, sind Maßnahmen zum Verbund und zur Vernetzung der vorhandenen, oft isolierten Lebensräume wichtig. Nach § 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. Auf Grundlage des in 2020 in Kraft getretenen Biodiversitätsstärkungsgesetzes Baden-Württemberg soll bis 2030 der funktionale Biotopverbund auf mindestens 15 % des Offenlandes der Landesfläche ausgebaut werden.

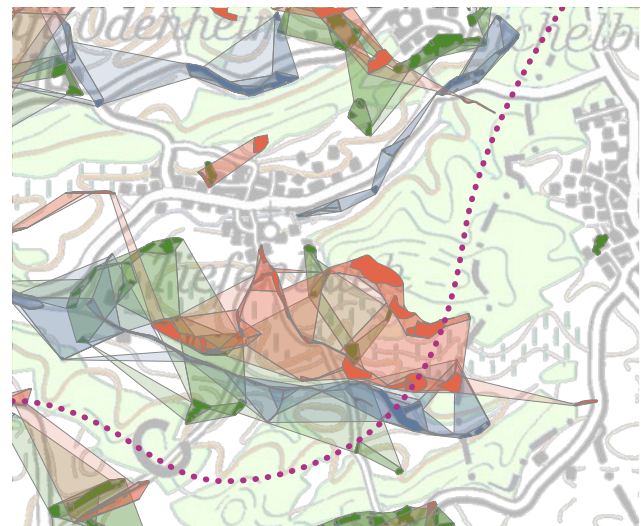
Als „übergeordnete Verbundachsen für das Offenland“ werden die großräumigen, über die Landesgrenzen hinausreichenden **Verbundachsen** für Offenlandbiotope bezeichnet.

Die **Kernflächen** bestehen aus ausgewählten geschützten Biotopen, Lebensraumtypen und Arten der FFH-Richtlinie, Arten des Artenschutzprogramms und Streuobstgebieten. Sie enthalten Quellpopulationen von Tieren und Pflanzen, die sich von hier aus weiter ausbreiten sollen. Der Erhalt und die Pflege der Kernflächen und Kernräume bilden den Ausgangspunkt für die Stärkung des landesweiten Biotopverbundes.

In den **Suchräumen** werden Verbindungsflächen und -elemente gesucht, optimiert oder neu entwickelt. Als Verbindungselemente können auch beispielsweise auf die Zielart abgestimmte Trittsteinbiotope wie kleine Tümpel oder Blühstreifen entlang von Wegen oder Steinriegeln dienen. Die Planung für den Biotopverbund im Offenland wird ergänzt durch die **Wildtierkorridore des Generalwildwegeplans**, welche für die Vernetzung heimischer Arten, zum Beispiel Schwarzwild, Rotwild oder Wildkatze notwendig sind. Barrieren werden durch geeignete Maßnahmen aufgelöst – bei Straßen beispielsweise durch Grün-

brücken. Knapp 9 % der Offenlandfläche des Landes sind Kernflächen des Biotopverbundes Offenland (Stand 2020). Im ersten Halbjahr 2021 wurde die noch fehlende Biotopverbundkulisse Gewässerlandschaften veröffentlicht.

Der Biotopverbund wird von Regierungspräsidien, Landratsämtern, Gemeinden, aber auch von Privatinitiativen, Vereinen oder Naturschutzverbänden in Kooperation mit den Landschaftserhaltungsverbänden umgesetzt. Präzise Zahlen zum aktuellen Stand der Umsetzung liegen aufgrund der Vielzahl der Akteure nicht vor. Einen Überblick über Modellprojekte und Fördermöglichkeiten gibt die Fachzeitschrift Naturschutz-Info 2/2017. Erste Ansprechpartner für Gemeinden und Interessierte sind die Landschaftserhaltungsverbände.



Grundlage: - Räumliches Informations- und Planungssystem (RIPS) der LUBW
- Amtliche Geobasisdaten © LGL www.lgl-bw.de. Az.: 2851.9-1/19

| Trockene Standorte | | Feuchte Standorte | | Mittlere Standorte | |
|--|-----------------|--|-----------------|---|-----------------|
| ■ | Kernfläche | ■ | Kernfläche | ■ | Kernfläche |
| ■ | Kernraum | ■ | Kernraum | ■ | Kernraum |
| ■ | Suchraum 500 m | ■ | Suchraum 500 m | ■ | Suchraum 500 m |
| ■ | Suchraum 1000 m | ■ | Suchraum 1000 m | ■ | Suchraum 1000 m |
| ●●●●● | | Wildtierkorridor | | | |

Abb. 6.1-5: Beispiel für Kernflächen, Kernräume und Suchräume für die drei Offenland-Standortarten feuchter, trockener und mittlerer Standort und Darstellung des Wildtierkorridors. Quelle LUBW, Stand Jun. 2021.

Naturschutzförderprojekte der EU und des Bundes

Um dauerhaft den Erhalt, die Sicherung und Entwicklung natürlicher und naturnaher Landschaftsbestandteile, Lebensräume und ihrer zu schützenden Tier- und Pflanzenarten zu garantieren, werden repräsentative Gebiete und Naturschutzprojekte finanziell gefördert. Neben Förderprogrammen des Landes kommen Förderprogramme auf Bundes- und EU-Ebene hinzu.

Seit Anfang 2011 unterstützt das **Bundesprogramm Biologische Vielfalt** die Umsetzung der nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. Gefördert werden Projekte, für die ein deutschlandweites Interesse besteht und die dazu beitragen, den Rückgang der biologischen Vielfalt in Deutschland zu stoppen und umzukehren. Die Projekte können sich dabei über mehrere Bundesländer erstrecken. Bisher wurden drei Projekte unter Beteiligung von Baden-Württemberg umgesetzt. Aktuell laufen sechs Projekte.

Biologischevielfalt.bfn.de >
[Bundesprogramm](#) > [Projekte](#) >
Laufende Projekte

Mit dem Programm „**chance.natur – Bundesförderung Naturschutz**“ fördert das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit seit 1979 national bedeutsame Natur- und Kulturlandschaften als Beitrag zum Schutz des nationalen Naturerbes und zur Erfüllung internationaler Naturschutzverpflichtungen. Die Bundesmittel werden dabei für Maßnahmen bereitgestellt, die zur dauerhaften Sicherung der ausgewählten Gebiete beitragen. Dazu gehören zum Beispiel die Erarbeitung eines naturschutzfachlichen Pflege- und Entwicklungsplans, der Ankauf von Flächen, Ausgleichszahlungen für Nutzungseinschränkun-

gen, Wiedervernässungsmaßnahmen, Öffentlichkeitsarbeit und Personal- und Sachkosten der Projektverwaltung. In Baden-Württemberg sind mit Badberg-Haselschacher Buck, Wurzacher Ried, Wollmatinger Ried, Feldberg-Belchen-Oberes Wiesental und Pfrunger-Burgweiler Ried bisher fünf Projekte abgeschlossen worden. In der Umsetzung ist derzeit das Naturschutzgroßprojekt Baar mit 4289 Hektar.

www.ngp-baar.de

Die Europäische Union förderte 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 etwa 18 Millionen Euro und Gesamtmittel in Höhe von knapp 36 Millionen Euro in die Naturschutzmaßnahmen der baden-württembergischen LIFE-Projekte geflossen. Alle baden-württembergischen LIFE-Projekte sind abgeschlossen. Baden-Württemberg beteiligt sich aktuell an dem länderübergreifenden Projekt „LIFE EURO-KITE“ (2019 bis 2027).

megeg.eu.de > [Projekte](#) >
life-eurokite

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > [Themen](#) >
[Natur und Landschaft](#) > [Flächenschutz](#) >
Naturschutzgroßprojekte und LIFE

Tab. 6.1-7: Übersicht über die derzeitigen im Rahmen des Bundesprogramms für Biologische Vielfalt geförderten Projekte in Baden-Württemberg. Quelle BfN, Stand Apr. 2021.

| Kurztitel | Projekträger | Drittmittelgeber | Laufzeit |
|---|---|---|-------------|
| Gelbbauchunke | NABU Niedersachsen e.V. | Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg | 2011 - 2018 |
| Lebensader Oberrhein | NABU Rheinland-Pfalz e.V. und NABU Baden-Württemberg e.V. | Regierungspräsidium Karlsruhe | 2013 - 2019 |
| Inwertsetzung von Klima- und Naturschutzmaßnahmen | Nationale Naturlandschaften e.V. | Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg | 2015 - 2020 |
| Biologische Vielfalt im Obstbau | Universität Hohenheim | Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg | 2016 - 2022 |
| BienABest | Universität Ulm und VDI e.V. | Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg | 2017 - 2023 |
| Mopsfledermaus | Stiftung FLEDERMAUS, NABU Baden-Württemberg e.V. und andere | Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg | 2018 - 2024 |
| Netzwerk Natur Westliches Allgäu | NABU Baden-Württemberg e.V. | Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg | 2021 - 2027 |

PLENUM

PLENUM ist das „Projekt des Landes zur Erhaltung und Entwicklung von Natur und Umwelt“. Die Kerngebiete von PLENUM-Gebieten sind naturschutzfachlich besonders wertvolle Natur- und Kulturlandschaften, die erhalten und in Wert gesetzt werden sollen.

Als Förderprogramm des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg kann es Projekte aus der Region, die positive Naturschutzauswirkungen haben, durch eine Anschubfinanzierung und kompetente Beratung unterstützen. Grundpfeiler der PLENUM-Strategie sind naturverträgliche Nutzung, umweltschonende Wirtschaftsweisen, Vermarktung regionaler, naturverträglich erzeugter Produkte, kombiniert mit sanftem Tourismus und Umweltbildung. Zwischen 2001 und 2016 gab es insgesamt sechs PLENUM-Gebiete, wovon mittlerweile fünf nach jeweils 14 Jahren Förderung ausgelaufen sind. Im Juni 2013 wurde das aktuelle PLENUM-Gebiet Landkreis Tübingen ins Leben gerufen. Es wurde im Jahr 2020 um weitere fünf Jahre verlängert. Die PLENUM-Konzeption wird damit derzeit auf etwa 1,5 % der Landesfläche umgesetzt, das entspricht 52 000 Hektar.

www.plenum-bw.de

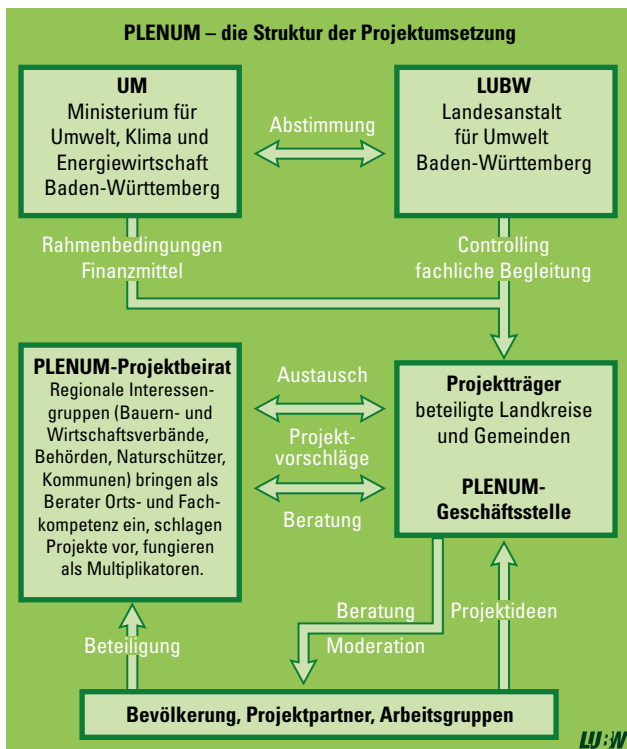


Abb. 6.1-6: PLENUM – Struktur der Projektumsetzung. Quelle LUBW.

Ramsar-Gebiete

Die Ramsar-Konvention ist ein internationales Übereinkommen zum Schutz von Feuchtgebieten internationaler Bedeutung, insbesondere als Lebensraum für Wat- und Wasservogel. Deutschland ist der Konvention 1976 beigetreten und hat bisher 35 Ramsar-Gebiete mit einer Fläche von insgesamt etwa 870 000 Hektar (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. Neben dem Oberrhein sind die Naturschutzgebiete „Wollmatinger-Ried“ (767 ha) und „Mindelsee“ (459 ha) am Bodensee als Ramsar-Gebiet gemeldet.

um.baden-wuerttemberg.de > Umwelt & Natur > Naturschutz > Schutzgebiete > alle Schutzgebiete im Überblick
Ramsar-Schutzgebiete

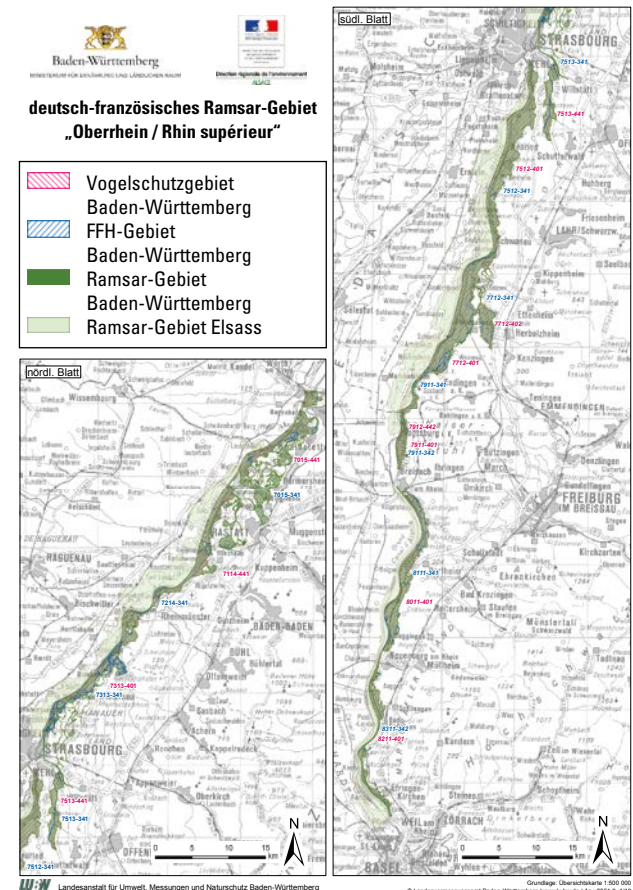


Abb. 6.1-7: Darstellung des Ramsar-Gebietes Oberrhein/Rhin supérieur. Quelle UM, LUBW, Stand Feb. 2020.

6.2 Artenschutz

Arten- und Biotopschutzprogramm und seine Umsetzung

Vom Land Baden-Württemberg wird unter Mitwirkung unter anderem von Naturschutzverbänden, Hochschulen und sachkundigen Bürgerinnen und Bürgern ein Arten- und Biotopschutzprogramm (§ 39 NatSchG) erstellt und fortgeschrieben. Dieses dient der Erhaltung der biologischen Vielfalt. Es hat zum Ziel, hochgradig gefährdete Tier- und Pflanzenarten vor dem Verschwinden zu bewahren, im Bestand zu stabilisieren und, sofern möglich, eine Ausbreitung dieser Arten zu fördern. Dies geschieht durch die Erhaltung der Lebensräume und eine an die Lebensraumsprüche der Zielarten angepasste Bewirtschaftung oder spezielle Pflege der Biotope. Die fachliche Basis bilden die in über 50 Bänden zu verschiedenen Artengruppen erschienenen „Grundlagenwerke“. Sie enthalten das umfassende Wissen der Naturkundemuseen und Experten im Land zu Biologie, Lebensweise, Verbreitung, Gefährdung und möglichen Schutzmaßnahmen der in Baden-Württemberg vorkommenden Arten.

Die Durchführung des Artenschutzprogramms erfolgt in enger Zusammenarbeit mit allen Ebenen der Naturschutzverwaltung und weiteren betroffenen Behörden, den Naturkundemuseen, Naturschutz- und Landschaftspflegeverbänden, den Artenexperten im Land und nicht zuletzt den Grundstückseigentümern und Bewirtschaftern von Flächen mit Vorkommen der gefährdeten Arten.



Abb. 6.2-1: Sand-Silberscharte (*Jurinea cyanoides*). Foto: M. Waitzmann 2013.

Nach Auswertung der Grundlagenwerke erfolgt zunächst eine gezielte Erfassung von ausgewählten Vorkommen der am stärksten gefährdeten Arten mit dem Ziel, jeweils geeignete Maßnahmen zu entwickeln. Inzwischen liegen Erfassungen von rund 1000 Arten aus elf Artengruppen (Amphibien, Farn- und Blütenpflanzen, Heuschrecken, Käfer, Libellen, Moose, Säugetiere, Schmetterlinge, Vögel, Weichtiere, Wildbienen) vor. Die vorgeschlagenen Maßnahmen werden von Spezialisten vor Ort in Zusammenarbeit mit den beteiligten Behörden, Institutionen und Bewirtschaftern umgesetzt.

Die hochgradig gefährdete Sand-Silberscharte (*Jurinea cyanoides*), für deren Erhaltung Baden-Württemberg eine sehr hohe Verantwortung trägt, ist auf basenreiche, aber nährstoffarme, trockene Sandflächen angewiesen. In Baden-Württemberg kommt sie ausschließlich in den Sandgebieten um Schwetzingen, Sandhausen und Mannheim vor. Durch periodische Schaffung von offenen vegetationsarmen Pionierstandorten und Wiederansiedlungsmaßnahmen konnten ihre Bestände in Baden-Württemberg stabilisiert werden, sodass sich ihr Erhaltungszustand entsprechend der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie) auch bundesweit verbessert hat.

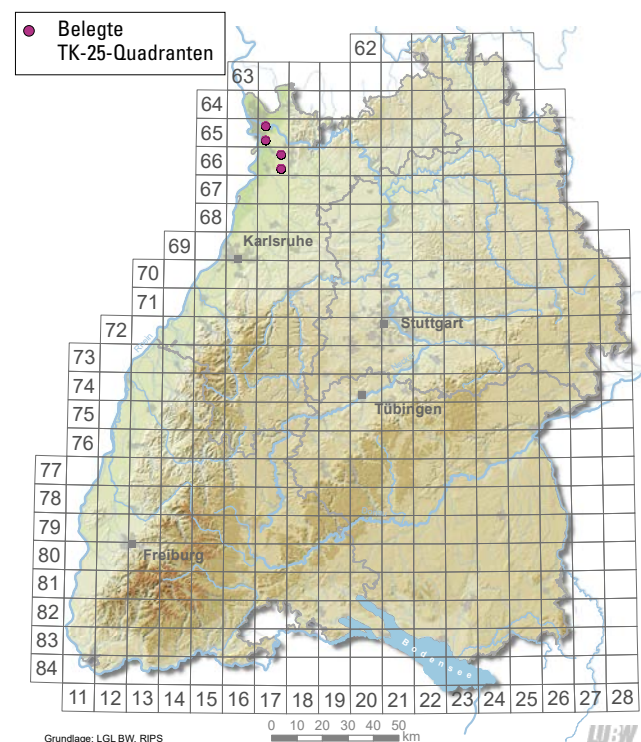


Abb. 6.2-2: Vorkommen der Sand-Silberscharte (*Jurinea cyanoides*) in Baden-Württemberg. Quelle LUBW, Stand Jan. 2021.

Rote Listen und Artenverzeichnisse gefährdeter Tier- und Pflanzenarten

Rote Listen sind Kataloge gefährdeter oder ausgestorbener Tier- und Pflanzenarten. Sie geben Auskunft über die Gefährdungssituation einzelner Arten. Unter anderem dienen sie der Prioritätensetzung im Arten- und Biotopschutz sowie als Entscheidungshilfe für den rechtlichen Schutz von Arten. Aus den bisher veröffentlichten Roten Listen folgt, dass etwa 40 % der Landesfauna und -flora als gefährdet einzustufen sind.

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 und Artenverzeichnisse**

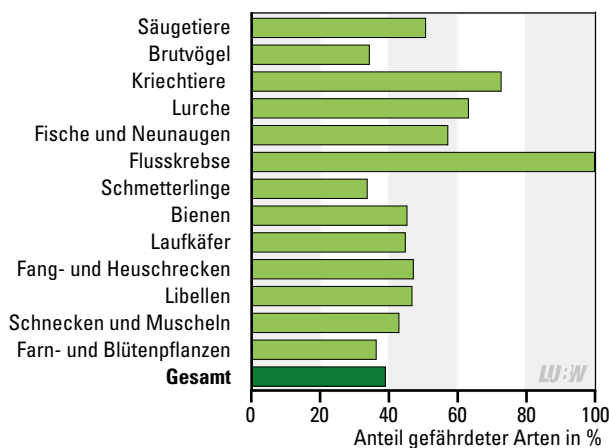


Abb. 6.2-3: Anteil gefährdeter Arten ausgewählter Artengruppen. Quelle LUBW, Stand Jan. 2021.

Besonders geschützte und streng geschützte Arten

Eine der wichtigsten Rechtsgrundlagen des gesetzlichen Artenschutzes ist das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG). Hier werden in § 7 die besonders geschützten und streng geschützten Arten definiert. Für diese Arten gelten bestimmte Verbote (§ 44 BNatSchG). Zum Beispiel sind alle 20 in Baden-Württemberg vorkommenden Amphibienarten besonders geschützt. Sie dürfen nicht getötet oder aus ihrer natürlichen Umgebung entfernt werden. Auch ihre Fortpflanzungs- und Ruhestätten dürfen weder beschädigt noch zerstört werden. Darüber hinaus genießen elf Amphibienarten zudem einen sogenannten strengen Schutz. Für streng geschützte Arten gilt zusätzlich das Verbot, sie während der Fortpflanzungsphase, Aufzuchtzeit sowie der Mauser-, Überwinterungs- und Wanderungszeit erheblich zu stören.

In Baden-Württemberg kommen insgesamt 296 streng geschützte Arten vor, darunter allein 142 Vogelarten. Arten, deren Vorkommen in Baden-Württemberg in den aktuellen Artenverzeichnissen als fraglich gekennzeichnet ist, oder ausgestorbene Arten sind hier nicht berücksichtigt.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Natur und Landschaft > Artenschutz > Arten-Wissen > Geschützte Arten > **Besonders und streng geschützte Arten**

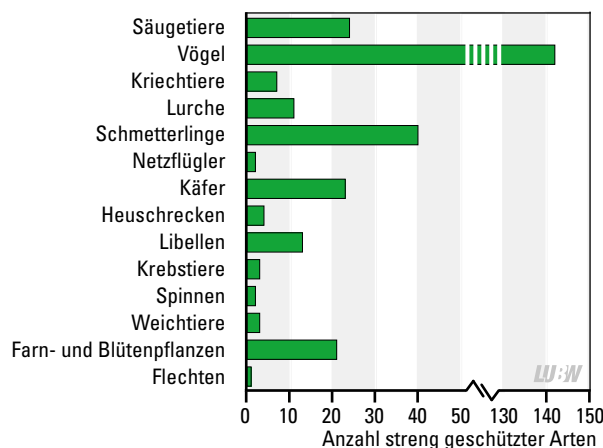


Abb. 6.2-4: Anzahl der aktuell in Baden-Württemberg vorkommenden streng geschützten Arten. Quelle LUBW, Stand Jan. 2021.

Öffentlichkeitskampagne des Landes „Aktiv für die Biologische Vielfalt“

„Aktiv für die Biologische Vielfalt“ ist eine Öffentlichkeitskampagne der Landesregierung, die bereits 2008 in Zusammenarbeit mit der LUBW und Naturschutzverbänden des Landes entwickelt wurde. Mit dieser Initiative soll die bisherige Naturschutzarbeit ergänzt werden. In erster Linie geht es darum, die Bevölkerung für die biologische Vielfalt vor der eigenen Haustür zu begeistern. Dabei können alle mitmachen, egal ob Stadt, Gemeinde, Verein, Kirche, Schule, Privatperson oder aber auch Unternehmen.

Um möglichst viele gesellschaftliche Gruppen anzusprechen, stehen derzeit vier verschiedene Module mit unterschiedlichen Inhalten und Angeboten zur Verfügung.

Ein Teil dieser Kampagne ist beispielsweise der 111-Artenkorb. Er umschließt 111 in Baden-Württemberg heimische Tier- und Pflanzenarten, die besonders auf Hilfe angewiesen sind. Mittels Partnerschaften aus unterschiedlichen Bereichen werden Aktionen und Projekte für diese Arten durchgeführt. Ein besonderes Unternehmensbeispiel ist das EnBW-Förderprogramm „Impulse für die Vielfalt“, das unter dem Modul „Wirtschaft und Unternehmen pro Natur“ geführt wird. Seit 2011 wurden durch dieses gemeinsame Projekt der LUBW und der EnBW AG 125 Projekte für Amphibien und Reptilien mit Maßnahmen in Baden-Württemberg unterstützt. Dazu zählen beispielsweise die Anlage von Laichgewässern oder das Offenhalten von Rohbodenstellen.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Natur und Landschaft > Artenschutz > Arten schützen > **Aktiv für die biologische Vielfalt**

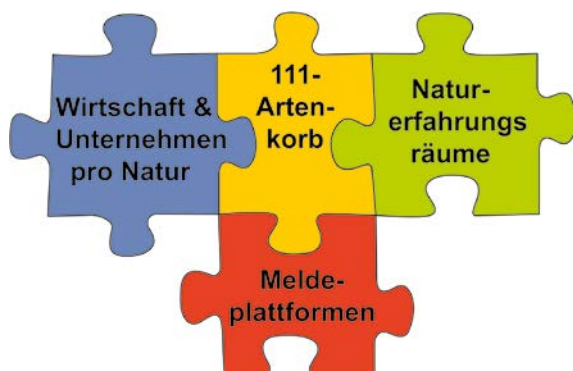


Abb. 6.2-5: Puzzle-Logo der landesweiten Öffentlichkeitskampagne „Aktiv für die Biologische Vielfalt“.

Brutvogelmonitoring – MhB und MsB

Vögel sind eine sehr gut erforschte Artengruppe. Sie eignen sich als Zeiger für den Zustand unserer Natur und Landschaft. Das Brutvogelmonitoring erfasst Bestandsveränderungen auf Landesebene. Bei uns weitverbreitete, mittelhäufige sowie eher selten und lokal vorkommende Arten werden dabei in unterschiedlichen Programmen betrachtet.

Das „**Monitoring häufiger Brutvögel (MhB)**“ wird bundesweit standardisiert auf 1 Quadratkilometer großen Probeflächen durchgeführt. Die ermittelten Daten erlauben Aussagen zu den Auswirkungen verschiedener Landnutzungen auf die Vogelwelt und fließen in verschiedene Indikatorenssysteme auf Landes- und Bundesebene ein. Von landesweit 400 Probeflächen werden insgesamt 212 von 171 ehrenamtlich Kartierenden bearbeitet (Stand 18.12.2020). Bis zu 103 weitere Probeflächen werden seit 2018 im Rahmen des **Sonderprogramms zur Stärkung der biologischen Vielfalt** ergänzend durch Planungsbüros kartiert. Im Zeitraum 1999 bis 2018 sind die Bestände von Feldsperling, Feldlerche und Goldammer in Baden-Württemberg sukzessive zurückgegangen. Der Bestand des Feldsperlings hat sich um fast die Hälfte reduziert. Diese negativen Trends spiegeln sich auch auf Bundesebene wider: Auswertungen belegen eine starke Abnahme von insektenfressenden Vogelarten des Ackerlandes seit dem Jahr 2000 [KAMP ET AL. 2020]. Ebenfalls im Rahmen des Sonderprogramms wird seit dem Jahr 2020 das „**Monitoring mittelhäufige und seltene Brutvogelarten (MsB)**“ in Baden-Württemberg etabliert.

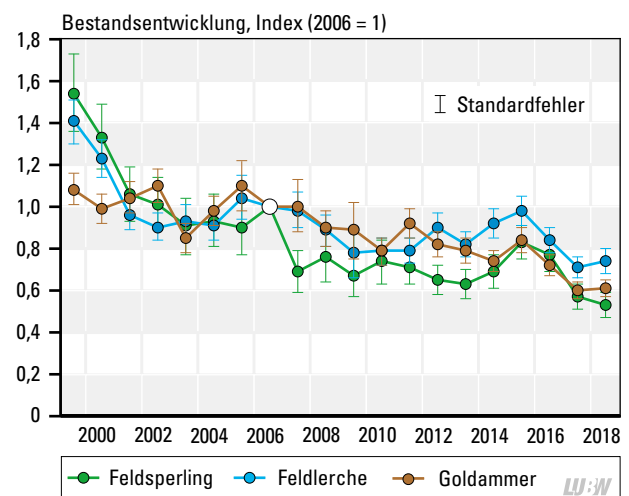


Abb. 6.2-6: Entwicklung der Bestände von Feldsperling, Feldlerche und Goldammer. Quelle LUBW, Stand Jan. 2021.

Brutvogelmonitoring – Weißstorch

Das Weißstorchmonitoring dokumentiert für das Jahr 2020 in Baden-Württemberg 1495 frei fliegende Paare. Das sind 12,1 % (161 Paare) mehr als im Vorjahr. Der Weißstorch ist eine symbolträchtige und sehr gut untersuchte Vogelart. In den 1940er-Jahren brüteten nur etwa 180 Paare in Baden-Württemberg. Dieser Bestand nahm dann seit 1960 drastisch ab und erholte sich seit Ende der 1980er-Jahre infolge von Wiederansiedlungsprojekten und gezielten Hilfsmaßnahmen. So gab es im Jahr 2014 bereits wieder weit über 700 Brutpaare. Die Ursache für den starken Anstieg der westdeutschen Population ist wohl vor allem ein verändertes Zugverhalten: Die nach Südwesten ziehenden Weißstörche fliegen heute kaum noch nach Afrika, sondern verbringen den Winter zunehmend auf der Iberischen Halbinsel. Dort ernähren sie sich auf Mülldeponien und auf Reisfeldern. Dies hat eine geringere Wintersterblichkeit und somit steigende Bestände zur Folge.

Brutvogelmonitoring – Kormoran

Die landesweite Brutbestandserfassung des Kormorans wird auf Grundlage der Verordnung der Landesregierung zum Schutz der natürlich vorkommenden Tierwelt und zur Abwendung erheblicher fischereiwirtschaftlicher Schäden durch Kormorane (Kormoranverordnung (KorVO) vom 20.07.2010) durchgeführt. Dabei zählten Ornithologen im Jahr 2020 mindestens 1276 Paare. Die 21 Brutstandorte liegen an Rhein, Donau, Neckar und am Bodensee. Der Kormoran ist erst seit 1994 wieder regelmäßiger Brutvogel in Baden-Württemberg. Seitdem haben die Bestände kontinuierlich zugenommen.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Natur und Landschaft > Artenschutz > Arten erfassen > Brutvogelmonitoring >
Kormoran-Brutvogelmonitoring

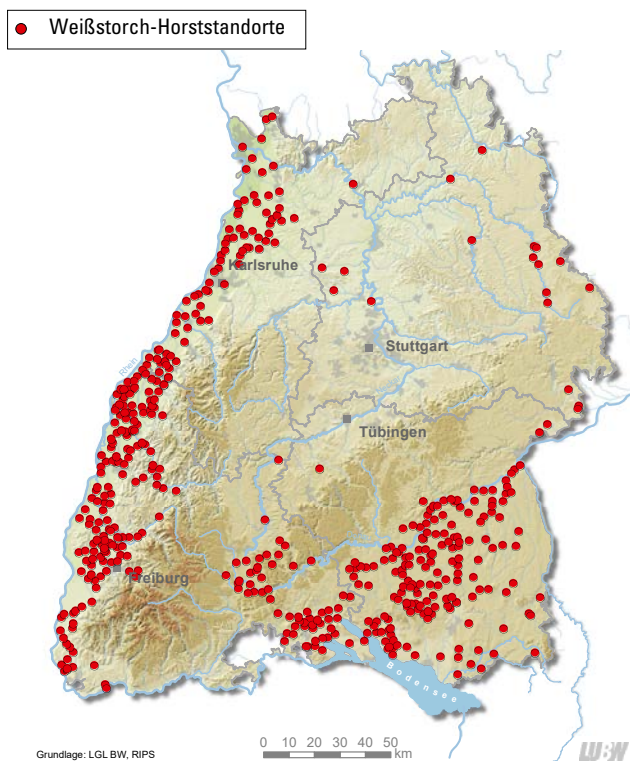


Abb. 6.2-7: Besetzte Horststandorte des Weißstorches 2015 bis 2019. Quelle LUBW, Stand Jan. 2021.



Abb. 6.2-8: Kormoran (*Phalacrocorax carbo*). Foto: WaceQ/shutterstock.com.

Brutvogelmonitoring – Schwarzstorch

Durch die Schwarzstorchkartierung im Auftrag der LUBW wurden in Zusammenarbeit mit der Ornithologischen Gesellschaft Baden-Württemberg e.V. (OGBW) in fast allen Untersuchungsflächen Schwarzstorch-Nachweise erbracht. Die besonders wichtigen Brut- oder Reviernachweise konnten jedoch nur in 20 von insgesamt 45 Suchräumen festgestellt werden. Bei der Statusangabe wird zwischen einem Brutpaar beziehungsweise Brutnachweis (C-Nachweis nach EOAC-Brutvogelstatus-Kriterien; vgl. [SÜDBECK ET AL. 2005]) und einem Revierpaar beziehungsweise Brutverdacht (B-Nachweis) unterschieden. Die Abgrenzung von Revierpaaren erfolgte anhand der gutachterlichen Einschätzung der Kartierenden. Mögliche revieranzeigende Einzelvögel und Nichtbrüter wurden damit ebenfalls in die Auswertung miteinbezogen. Bei einem Brutpaar ist der konkrete Neststandort bekannt, oder es wurden eindeutige Hinweise auf Brutgeschehen beobachtet. Werden alle Revierpaare und Brutpaare aufsummiert, ergibt dies die Gesamtzahl der bekannten Reviere in Baden-Württemberg. In der Zusammenschau der ehrenamtlichen Schwarzstorchdaten der OGBW mit den Daten der LUBW-Kartierungen konnten für den Zeitraum 2013 bis 2018 insgesamt 31 Reviere sicher bestätigt werden. Einzelne Reviere erstrecken sich dabei über die Grenzen der TK-Quadranten (TK: Topografische Karte) hinaus oder verlagerten sich zwischen

den Kartierjahren, sodass in der Abbildung mehr Quadranten eingefärbt sind, als es sichere Reviernachweise gibt. Da die Kartierkulisse nur auf Grundlage von vorhandenen Zufallsdaten erstellt wurde und nicht alle geeigneten Habitats untersucht wurden, muss man davon ausgehen, dass es Revierpaare in Baden-Württemberg gibt, die nicht erfasst wurden. Die OGBW schätzt einen Bestand von 50 bis 80 Revierpaaren für das Jahr 2019, wobei sie von mindestens 35 sicheren Revierpaaren ausgeht. Die OGBW wertet die ihr vorliegenden Daten teilweise nach anderen Kriterien und mit anderen Zeitschnitten aus, sodass es zu von den LUBW-Angaben abweichenden Zahlen kommt. Zusätzlich zu den Revierpaaren konnten vier Verbreitungsschwerpunkte abgegrenzt werden:

- Odenwald,
- Schwäbisch-Fränkische Waldberge,
- Neckar- und Tauber-Gäuplatten/Schwäbisches Keuper-Lias-Land,
- Voralpines Hügel- und Moorland/Donau-Iller-Lech-Platte.

Die Daten finden zum Beispiel bei Planungen von Windenergieanlagen Berücksichtigung und können abgefragt werden über

Artdaten.Windenergie@lubw.bwl.de

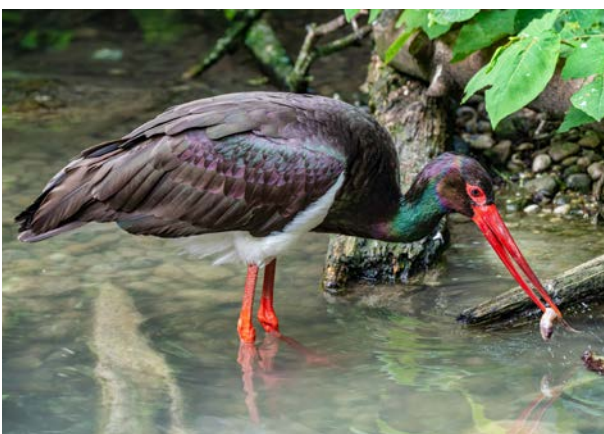


Abb. 6.2-9: Schwarzstorch (*Ciconia nigra*). Foto: D. Nill 2004.

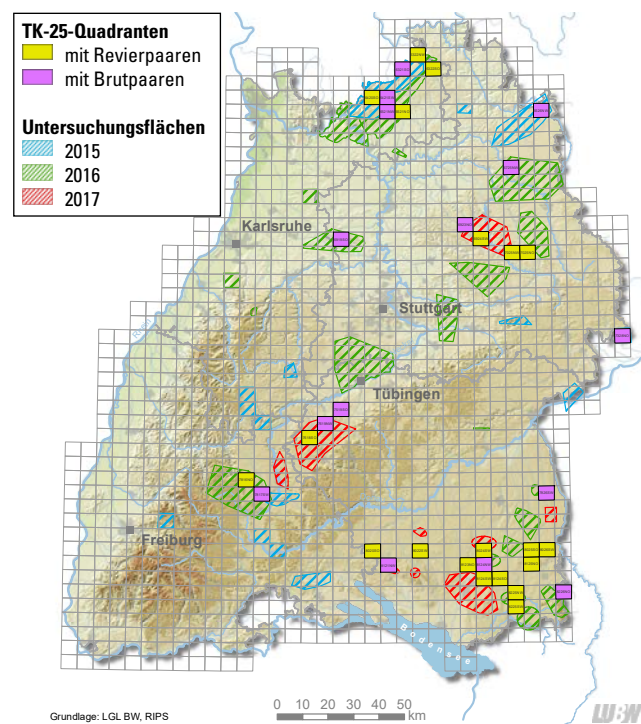


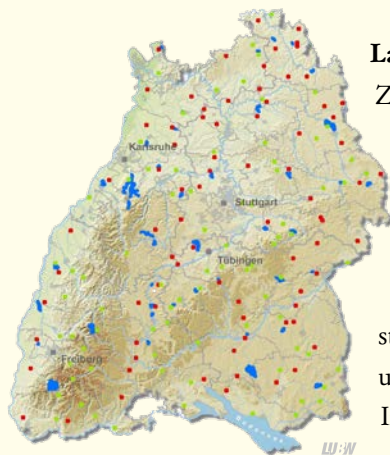
Abb. 6.2-10: Loskulisse der LUBW-Schwarzstorchkartierung 2013 bis 2018. Quelle LUBW, Stand Nov. 2020.

Sonderprogramm zur Stärkung der biologischen Vielfalt

Ziel des Sonderprogramms ist es, die biologische Vielfalt in Schutzgebieten, aber vor allem auch in der vom Menschen genutzten Kulturlandschaft zu erhalten. 2018 und 2019 standen zur Umsetzung von Projekten 30 Millionen, weitere 6 Millionen Euro für die Erhebung von Grundlagendaten und zur Etablierung eines Monitorings zur Verfügung. Das Sonderprogramm wird gemeinsam vom Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz (MLR), vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (UM) und vom Ministerium für Verkehr (VM) umgesetzt, wobei sich die Ministerien die genannten Summen wie folgt teilen: UM 45 %, MLR 45 %, VM 10 %.

Bis Ende 2019 hat die Naturschutzverwaltung rund 2 300 Vorhaben auf einer Fläche von mindestens 5 900 ha umgesetzt. Für 2020 und 2021 stehen die gleichen Summen wie in den beiden Vorjahren erneut zur Verfügung.

Die LUBW führt Grundlagenuntersuchungen in Form mehrerer Monitorings durch, in denen landesweit Daten erhoben werden und die teilweise bereits bestehende Untersuchungen der LUBW ergänzen. Das Biodiversitätsmonitoring der LUBW umfasst folgende Bausteine:



Landesweites Insektenmonitoring

Ziel ist die Bereitstellung belastbarer Daten zu den Insektenbeständen des normal genutzten Offenlands in Baden-Württemberg. Die 201 Probepunkte beinhalten 161 Flächen eines Systems bundes- und landesweit repräsentativer Stichprobenflächen und 40 Naturschutzgebiete. Sechs Indikatoren sollen die Gesamtheit der Insekten abbilden, indem tag- und nachtaktive, pflanzen- und fleischfressende Gruppen, Bestäuber sowie am Boden und in der Luft aktive Insekten erfasst werden.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen >
Natur und Landschaft > Artenschutz >
Arten erfassen >
Insektenmonitoring

Monitoring häufiger Brutvögel (MhB)

Bis zu 103 zusätzliche, zuvor noch nie bearbeitete Probeflächen werden durch Planungsbüros seit 2018 kartiert. So erweitert sich der Kenntnisstand zum Vorkommen und zur Häufigkeit vieler Vogelarten im Land. Dabei wird parallel die Fragestellung untersucht, ob und mit welchem Aufwand die relevanten Indikatorarten im Rahmen des MhB erfasst werden können. Ziel ist es, für alle 46 Brutvogelarten des von der Umweltministerkonferenz empfohlenen Indikators „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“ künftig ein ausreichendes Flächenset zur Berechnung belastbarer Trends zur Verfügung zu haben.

www.dda-web.de > Monitoring >
Monitoring häufiger Brutvögel



Monitoring mittelhäufiger und seltener Brutvogelarten (MsB)

Ziele sind die kontinuierliche Überwachung der Bestandsentwicklungen mittelhäufiger und seltener Brutvogelarten, die bisher nicht über das MhB abgedeckt werden, und die Ermittlung von Bestandstrends. Bundesweit werden etwa 200 Brutvogelarten dem MsB zugeordnet. Ab dem Jahr 2020 wurde die Ornithologische Gesellschaft Baden-Württemberg (OGBW) e.V. mit der Koordination beauftragt. Das MsB wird wie auch die anderen bundesweiten Erfassungsprogramme im Vogelmonitoring vom Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA) e.V. begleitet.

www.dda-web.de > Monitoring > **Monitoring seltener Brutvögel**

Greifvogelmonitoring

Als Teil des Monitorings seltener Brutvögel liegt der Fokus auf drei Greifvogelarten:

Rotmilan (*Milvus milvus*), **Schwarzmilan** (*Milvus migrans*) und **Wespenbussard** (*Perisoreus apivorus*).

Das Greifvogelmonitoring wird seit 2018 im jährlichen Turnus auf 32 Probeflächen in Baden-Württemberg durchgeführt. Die durch das systematische Monitoring gewonnenen Daten liefern mittelfristig belastbare Aussagen zu Populations-trends und zur Beurteilung von Erhaltungszuständen sowie eine repräsentative Datengrundlage für Berichtspflichten, Indikatorenberichte, die Erstellung von Roten Listen und die Beurteilung von Eingriffsvorhaben, zum Beispiel Windenergieplanung.

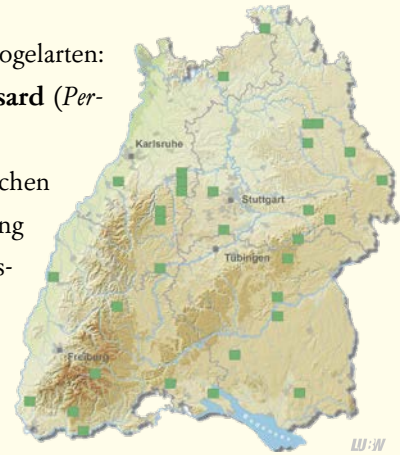


Foto: Thomas Stephan

Fledermausmonitoring

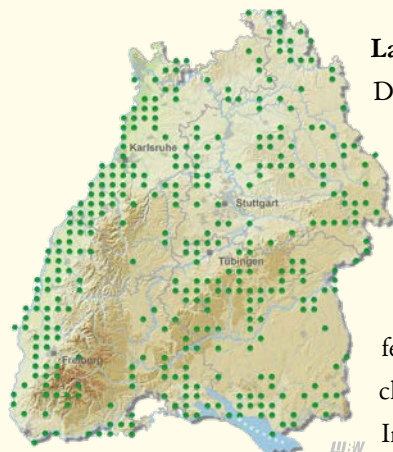
Es werden Fledermausdaten erhoben, die künftig belastbare Aussagen zur Bestandsentwicklung der Arten ermöglichen. Bislang liegen dazu nur begrenzt Daten vor. Durch die vergleichsweise heimliche Lebensweise der nachtaktiven und hochmobilen Fledermausarten sind die Methoden zur Erfassung der Tiere zum Teil sehr aufwendig.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Natur und Landschaft > Artenschutz > Artenschutz und Windkraft > **Verbreitungskarten Artenvorkommen**

Landesweite Artenkartierung

Seit 2014 wurden **Amphibien und Reptilien** auf etwa drei Viertel der Landesfläche von mehr als 300 Ehrenamtlichen kartiert. Die Kartierung erfolgt auf Basis der insgesamt 1581, jeweils 5 x 5 Kilometer großen Rasterfelder des UTM-Koordinatensystems (UTM5-Raster; UTM: Universal Transverse Mercator) im Land. Die Artengruppe der **Libellen** erweitert die Landesweiten Artenkartierungen seit 2019 mithilfe der Mitglieder der Schutzgemeinschaft Libellen BW e.V. Durch systematische Kartierung und dauerhaftes Monitoring entwickeln sich unter anderem eine systematische Grundlage für die Überarbeitung der Roten Listen und ein hervorragender Überblick über die Arten im Land und deren Erhaltungszustand.

www.artenkartierung.de



Landesweites Arten-Stichprobenmonitoring

Das Landesweite Arten-Stichprobenmonitoring stellt eine Erweiterung des seit 2010 bestehenden bundesweiten Stichprobenmonitorings von Lebensraumtypen und Arten der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie) in Deutschland dar. So können nun auch Aussagen über den Erhaltungszustand der überwachten Arten in Baden-Württemberg getroffen werden. Für das bundesweite Stichprobenmonitoring wurde eine Mindestflächenanzahl von 63 festgelegt, woran in Baden-Württemberg festgehalten wurde. 10 Arten mit unsicherer Bestandssituation im Land und guter Kartierbarkeit wurden ausgewählt. Im Jahr 2019 und 2020 erfolgte der erste von mindestens zwei Kartierdurchgängen.

6.3 Ergebnisse des Sonderprogramms

Insektendiversität in verschiedenen Flächentypen und Lebensräumen

In den Jahren 2018 bis 2021 finden auf allen Stichprobenflächen (SPF) des Insektenmonitorings die Ersterhebungen von Insektenarten statt. Vergleichende Auswertungen der bereits bearbeiteten SPF der Flächentypen „Naturschutzgebiet“, „Ökologische Flächenstichprobe (ÖFS)-Grünland“ und „ÖFS-Ackerland“ zeigen, dass sich die Artenvielfalt von Tagfaltern und Widderchen sowie Heuschrecken sehr unterschiedlich auf diese verteilt. Naturschutzgebiete weisen mit durchschnittlich 29,5 Tagfalter- und Widderchenarten über 50 % mehr Arten auf als Gebiete in der normal genutzten Landschaft mit einem hohen Anteil an Grünland (20 Arten) oder Ackerflächen (17,5 Arten). Dieser Unterschied ist auch statistisch signifikant. Die festgestellten Individuenzahlen sind ebenfalls zwischen allen drei Flächentypen signifikant unterschiedlich, mit den niedrigsten Werten in Ackerflächen und den höchsten in Naturschutzgebieten.

Für die im ÖFS-Grünland und in Naturschutzgebieten kartierten Heuschrecken ergibt sich ein sehr ähnliches Bild wie bei den Tagfaltern und Widderchen. Naturschutzgebiete beherbergten mit 8 Arten rund 50 % mehr Arten als Grünland-Stichprobenflächen (5 Arten) der „Normallandschaft“. Hingegen lagen die gefundenen Individuenzahlen fast gleich hoch, da im ÖFS-Grünland wenige anspruchslose Arten in hohen Abundanzen (Dichten) dominierten.

Die Verteilung der Insektenvielfalt in der Landschaft ist durch eine Vielzahl von Faktoren bedingt. Einen großen Einfluss auf die Insektendiversität hat die Qualität der Lebensräume, aus denen sich die Landschaft zusammensetzt. Beleg dafür ist die signifikant positive Korrelation zwischen dem Anteil von durch die Biotopkartierung erfassten Flächen in einem 100 Meter breiten Bereich um das Transekt (linear beprobte Fläche) und dem Artenreichtum von Tagfaltern und Widderchen. Wie wichtig die Lebensraumqualität ist, zeigt sich auch daran, dass gleichförmige Nutzung und Intensivierung einen Rückgang der Artenvielfalt zur Folge haben. So wirkt sich ein steigender Anteil von Ackerflächen signifikant negativ auf die gefundenen Artenzahlen von Schmetterlingen aus.

Auch der Artenreichtum der Heuschrecken lässt sich über den Landschaftskontext erklären. Je größer der Anteil der im Rahmen der Biotopkartierung erfassten hochwertigen Flächen im Umkreis der Transekte, desto höher waren die gefundene Artenvielfalt und die Zahl laut Roter Liste gefährdeter Arten. Bei der Betrachtung von Artenzahlen in Grünlandtypen verschiedener Nutzungsintensität zeigte sich, dass in Intensivgrünland und Wirtschaftswiesen signifikant weniger Arten gefunden wurden als in Nasswiesen, Heiden, Mager-, Sand- und Trockenrasen.

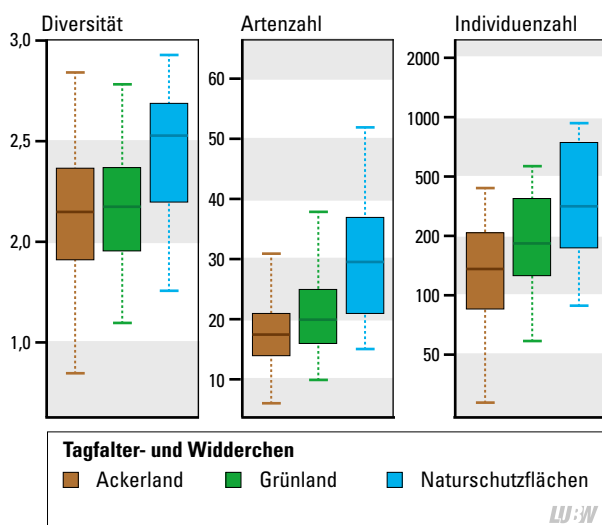


Abb. 6.3-1: Shannon-Diversität, Artenzahl und Individuenzahl (Abundanz) der Tagfalter- und Widderchen auf den drei Probeflächentypen. Die Darstellung zeigt den Median und die Datenstreuung. Quelle LUBW, Stand Jan. 2021.

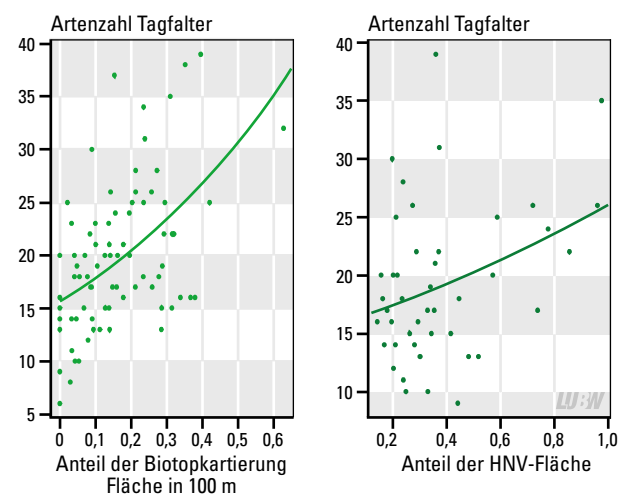


Abb. 6.3-2: Einfluss des Anteils der biotopkartierten Flächen im 100-m-Umkreis um den Transekt und des Anteils der HNV-Flächen (landwirtschaftliche Flächen mit hohem Naturwert) an der jeweiligen ÖFS-Stichprobe auf die Artenzahl (Tagfalter und Widderchen) der ÖFS-Ackerland- und ÖFS-Grünlandflächen. Auf der x-Achse sind transformierte Daten dargestellt. Quelle LUBW, Stand Jan. 2021.

Landesweites Arten-Stichprobenmonitoring

Von den 243 Untersuchungsflächen, die 2019 beprobt wurden, blieben 30 Flächen ohne Artnachweis. In 128 Flächen befanden sich die Populationen jedoch in einem ungünstig-schlechten Erhaltungszustand. 2020 wurden weitere 200 Flächen kartiert, deren Auswertung jedoch noch aussteht. Mithilfe dieser Ergebnisse können bereits vorläufige Trendentwicklungen zu den Beständen abgeleitet werden. Eine belastbare Einschätzung kann allerdings erst nach Abschluss aller Kartierdurchgänge erfolgen.

Landesweite Artenkartierung

Von der LUBW wurde zusammen mit dem Staatlichen Museum für Naturkunde Stuttgart und Naturschutzverbänden 2014 ein Projekt zur Kartierung der Amphibien und Reptilien gestartet. Es können alle beobachteten Amphibien- und Reptilienarten gemeldet werden, auch Arten, die nicht von gemeinschaftlicher Bedeutung nach der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie) sind. Dazu gehören beispielsweise Blindschleiche oder Bergmolch. Bis Dezember 2020 wurden mithilfe eines Netzes von ehrenamtlichen Kartierenden über 25500 Fundorte mit insgesamt fast 76000 Datensätzen eingerichtet. Die erhobenen Daten werden in einer zentralen Datenbank gespeichert und die Ergebnisse der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

www.artenkartierung-bw.de

Tab. 6.3-1: Ausgewählte Arten mit den Flächen des FFH-Monitorings und mit den zusätzlichen Flächen durch das landesweite Arten-Stichprobenmonitoring. Das Monitoring von Arnika hat noch nicht begonnen.

| Art | | Flächen aus dem FFH-Monitoring ¹⁾ | Zu ergänzende Flächen |
|-------------------------------------|------------------------------|--|-----------------------|
| Gelbbauchunke | <i>Bombina variegata</i> | 27 | 36 |
| Laubfrosch | <i>Hyla arborea</i> | 7 | 56 |
| Zauneidechse | <i>Lacerta agilis</i> | 8 | 55 |
| Helm-Azurjungfer | <i>Coenagrion mercuriale</i> | 21 | 42 |
| Grüne Flussjungfer | <i>Ophiogomphus cecilia</i> | 8 | 55 |
| Arnika | <i>Arnica montana</i> | — | 63 |
| Gelber Frauenschuh | <i>Cypripedium calceolus</i> | 19 | 44 |
| Dunkler Wiesenknopf-Ameisenbläuling | <i>Maculinea nausithous</i> | 6 | 57 |
| Heller Wiesenknopf-Ameisenbläuling | <i>Maculinea teleius</i> | 11 | 52 |
| Schwarzfleckiger Ameisenbläuling | <i>Maculinea arion</i> | 12 | 51 |

1) Flächen der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie.

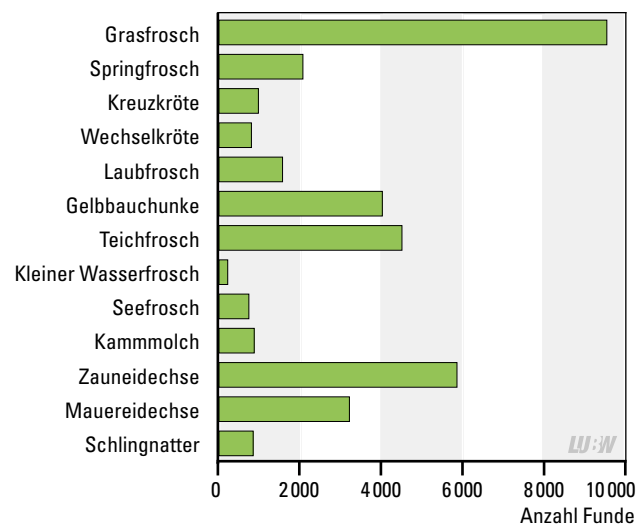


Abb. 6.3-3: Anzahl der Funde der Projektarten bei der landesweiten Artenkartierung (LAK) Amphibien und Reptilien in Baden-Württemberg. Quelle LUBW, Stand Dez. 2020.

6.4 Europäischer Naturschutz

Rechtlicher Rahmen

Das Naturschutzrecht des Bundes und des Landes Baden-Württemberg ist von zwei Richtlinien der Europäischen Union geprägt:

- der 1979 verabschiedeten und 2009 novellierten Vogelschutzrichtlinie (2009/147/EG),
- der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie) von 1992 (92/43/EWG).

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Natur und Landschaft > Europäische Naturschutzrichtlinien

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.

Die Schutzgebiete nach europäischem Recht überlagern sich teilweise mit denen des landesweiten Flächenschutzes.

Tab. 6.4-1: Natura 2000-Gebiete: Flächen- und Schutzgebietsanteile. Quellen Statistisches Bundesamt, Stand Dez. 2018; LUBW-Auswertungen, Stand Apr. 2021.

| | 212 FFH-Gebiete | | 90 Vogelschutzgebiete | | 302 Natura 2000-Gebiete ¹⁾ | |
|--|------------------|---|-----------------------|---|---------------------------------------|---|
| | Fläche in Hektar | Anteil an der Landesfläche ²⁾ in % | Fläche in Hektar | Anteil an der Landesfläche ²⁾ in % | Fläche in Hektar | Anteil an der Landesfläche ²⁾ in % |
| Baden-Württemberg ²⁾ | 419 199 | 11,7 | 391 953 | 11,0 | 624 249 | 17,5 |
| Davon unter anderem durch nachfolgenden Schutzstatus ³⁾ gesichert | | Anteil an FFH-Gebieten in % | | Anteil an Vogelschutzgebieten in % | | Anteil an Natura 2000 Gebieten in % |
| Nationalpark | 2 817 | 0,7 | 7 776 | 2,0 | 7 798 | 1,2 |
| Naturschutzgebiete | 80 540 | 19,2 | 51 946 | 13,3 | 81 752 | 13,1 |
| Landschaftsschutzgebiete | 163 230 | 38,9 | 141 865 | 36,2 | 227 848 | 36,5 |
| Naturparke | 62 481 | 14,9 | 85 968 | 21,9 | 133 374 | 21,4 |
| sonstige Flächen ⁴⁾ | 110 131 | 26,3 | 104 400 | 26,6 | 173 477 | 27,8 |
| zusätzlich Bodensee ⁵⁾ | 12 038 | | 5 948 | | 12 120 | |
| Meldefläche ¹⁾ | 431 237 | | 397 901 | | 636 369 | |

1) Überlagerung Vogelschutzgebiete mit FFH-Gebieten 192 769 ha, verbleiben 205 133 ha reine Vogelschutzgebiete und 238 468 ha reine FFH-Gebiete.

2) Landesfläche Baden-Württemberg 3 574 822 ha exklusive Bodensee.

3) Die Schutzgebietstypen sind absteigend nach der Höhe ihres Schutzstatus aufgelistet. Bei den angegebenen Schutzgebietsflächen wurde die Summe der Überlagerungsflächen aller jeweils darüberstehenden, höherwertigen Schutzgebietstypen abgezogen.

4) Verbleibende Fläche der FFH-, Vogelschutz-, beziehungsweise Natura 2000-Gebiete abzüglich der Flächen unter oben genanntem Schutzstatus.

5) Wasserfläche des Bodensees wird in der Statistik des Landes Baden-Württemberg nicht berücksichtigt.

Vogelschutzrichtlinie

76 Vogelarten der Vogelschutzrichtlinie (VRL) sind in Baden-Württemberg relevant für die Ausweisung der 90 Vogelschutzgebiete mit einer Gesamtfläche von insgesamt 398.218 Hektar. Für die Vogelschutzgebiete wurden in Baden-Württemberg die Abgrenzungen, die geschützten Vogelarten und die Erhaltungsziele durch die Vogelschutzgebietsverordnung (VSG-VO) vom 05.02.2010 festgelegt und durch die Verordnung zur Änderung der Anlagen der VSG-VO vom 21.08.2017 ergänzt. Im Rahmen von Managementplänen werden die Erhaltungs- und Entwicklungsziele für die Gebiete dargestellt. Der aktuell vorliegende Nationale Bericht 2019 nach Artikel 12 der Vogelschutzrichtlinie umfasst den Berichtszeitraum 2013 bis 2018. Die Berichtsdaten liefern Informationen zur Umsetzung der Richtlinie in Deutschland und zum Management von Vogelschutzgebieten. Es werden die Populationsgrößen und die Verbreitung der Vogelarten sowie deren Bestandstrends angegeben. Eine Übersicht über die Ergebnisse sowie die vollständigen Berichtsdaten können auf der Homepage des Bundesamts für Naturschutz (BfN) eingesehen werden.

www.bfn.de > Themen > Natura 2000 > Berichte / Monitoring > Nationaler Vogelschutzbericht > **Vollständige Berichtsdaten Vogelschutz**

FFH-Gebiete, Arten und Lebensräume

Die Umsetzung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie) soll die biologische Vielfalt in Europa langfristig sichern. Dafür müssen die Mitgliedsstaaten für alle Lebensräume und Arten der FFH-Richtlinie den günstigen Erhaltungszustand bewahren oder wiederherstellen. In Baden-Württemberg gibt es eine Vielzahl von Lebensräumen und Arten der FFH-Richtlinie. Die Arten können dabei in mehreren Anhängen der Richtlinie gleichzeitig aufgeführt sein. Günstig ist der Erhaltungszustand, wenn die Flächen und Populationen langfristig stabil bleiben oder sich ausdehnen und keine Verschlechterungen bei der Qualität, zum Beispiel der Strukturen und Funktionen von Lebensräumen, eintreten.

In Baden-Württemberg gibt es insgesamt 212 FFH-Gebiete mit einer Gesamtfläche von 431.237 Hektar. Die FFH-Gebiete sind in Baden-Württemberg durch die Vorschriften des Bundesnaturschutzgesetzes geschützt. Sie wurden durch Sammelverordnungen der Regierungspräsidien rechtlich gesichert (FFH-Verordnung). Diese sind am 01.01.2019 in Kraft getreten. Weitere Grundlagen für die Sicherung der FFH-Gebiete sind die Managementpläne, die für jedes FFH- und Vogelschutzgebiet erstellt werden.

Tab. 6.4-2: Übersicht über die Anhänge und die Anzahl der in Baden-Württemberg vorkommenden Lebensräume und Arten der FFH-Richtlinie. Quellen Europäische Kommission, Stand Jan. 2007; LUBW, Stand Okt. 2013; BfN, Stand Nov. 2017.

| Anhang | Inhalt der FFH-Richtlinie | Anzahl der Arten beziehungsweise Lebensraumtypen mit Vorkommen in Baden-Württemberg | Beispielart oder -lebensraumtypen mit Vorkommen in Baden-Württemberg ¹⁾ |
|------------|---|---|--|
| Anhang I | Natürliche Lebensraumtypen von gemeinschaftlichem Interesse, für deren Erhaltung besondere Schutzgebiete ausgewiesen werden müssen. (insgesamt 231 Lebensraumtypen) | 53 Lebensraumtypen (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) | 63 Arten (50 Tier- [davon 4 prioritäre] und 13 Pflanzenarten [davon eine prioritäre]) | Bechsteinfledermaus Gelbbauchunke Frauenschuhs |
| Anhang III | Kriterien zur Auswahl der Gebiete, die als Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung bestimmt und als besondere Schutzgebiete ausgewiesen werden könnten. | | |
| Anhang IV | Streng zu schützende Tier- und Pflanzenarten von gemeinschaftlichem Interesse. (insgesamt 1.026 Arten) | 83 Arten (72 Tier- und 11 Pflanzenarten) | Feldhamster Mauereidechse Bodensee-Vergissmeinnicht |
| Anhang V | Tier- und Pflanzenarten von gemeinschaftlichem Interesse, deren Entnahme aus der Natur und Nutzung Gegenstand von Verwaltungsmaßnahmen sein kann. (insgesamt 223 Arten) | 67 Arten (16 Tier- und 51 Pflanzenarten) | Itlis Edelkrebs Gelber Enzian |
| Anhang VI | Verbotene Methoden und Mittel des Fangs, der Tötung und Beförderung | | |

¹⁾ Viele Arten der FFH-Richtlinie sind in mehreren Anhängen gelistet. In Baden-Württemberg kommen aktuell 170 Arten von gemeinschaftlichem Interesse vor.

FFH-Berichtspflicht

Die EU-Mitgliedsstaaten sind verpflichtet, den Erhaltungszustand der Lebensräume und Arten der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie) zu überwachen und der Europäischen Kommission alle sechs Jahre zu berichten. Der aktuelle Bericht aus dem Jahr 2019 beinhaltet die Entwicklungen der vorausgegangenen 18 Jahre.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Natur und Landschaft > Europäische Naturschutzrichtlinien > Berichtspflichten und Monitoring

Um die Entwicklung der FFH-Arten und Lebensraumtypen zu bewerten, beteiligt sich Baden-Württemberg am bundesweiten Stichprobenmonitoring. Dabei werden die Lebensraumtypen aus Anhang I sowie die Arten der Anhänge II und IV auf über 1300 Untersuchungsflächen in regelmäßigen Intervallen untersucht. Lebensraumtypen werden in der Regel einmal pro Berichtsperiode untersucht. FFH-Arten hingegen häufiger, da diese stärkeren Schwankungen unterliegen. Darüber hinaus findet jährlich ein FFH-Mähwiesenmonitoring auf 120 Stichprobenflächen statt, da das Land über hohe Anteile der FFH-Lebensraumtypen „Flachland-Mähwiese“ und „Berg-Mähwiese“ verfügt. So werden alle 720 Flächen des gesamten Stichprobennetzes in einer Sechs-Jahres-Periode begutachtet.

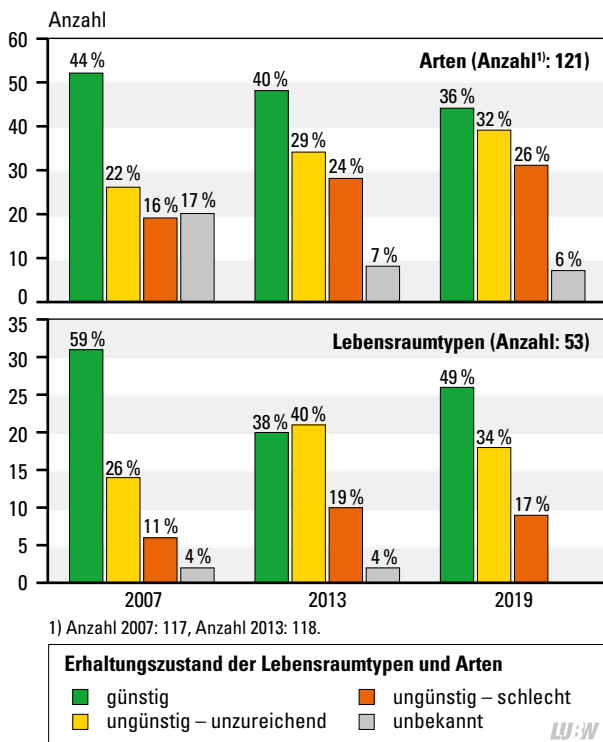


Abb. 6.4-1: Erhaltungszustand der Arten und Lebensraumtypen in Baden-Württemberg. Werte über den Säulen: Anteil in Prozent. Quelle LUBW, Stand 2019.

Die Einstufung des Erhaltungszustands der Lebensräume und Arten erfolgt über ein Ampelschema, wobei „grün“ einen günstigen, „gelb“ einen ungünstig-unzureichenden und „rot“ einen ungünstig-schlechten Erhaltungszustand widerspiegelt. Unbekannt („grau“) ist der Erhaltungszustand, wenn die Datenlage keine genaue Bewertung zulässt. In Baden-Württemberg befinden sich nach dem FFH-Bericht 2019 knapp 60 % der Arten sowie über 50 % der Lebensraumtypen in einem ungünstig-schlechten beziehungsweise ungünstig-unzureichenden Erhaltungszustand. Dies betrifft insbesondere die Lebensraumtypen, die auf extensive Nutzung und Pflege durch den Menschen angewiesen sind, wie die mageren Flachland-Mähwiesen. Ihr als ungünstig-unzureichend eingestuft Erhaltungszustand ist auf Nutzungsintensivierungen durch Erhöhung der Schnitthäufigkeit und durch Düngung zurückzuführen. Eine wichtige Schutzmaßnahme für Flachland-Mähwiesen ist die Unterstützung der traditionellen, extensiven Bewirtschaftung über Förderprogramme.

Zwei Arten, deren Erhaltungszustand bei der letzten FFH-Berichtspflicht nur als ungünstig-unzureichend eingestuft werden konnte waren der Helle und der Dunkle Wiesenknopf-Ameisenbläuling (*Maculinea teleius* und *M. nausitibous*). Beide Arten leiden massiv unter der immer intensiveren Grünlandbewirtschaftung mit häufigeren Schnitten. Auch Maßnahmen wie Auffüllungen, Entwässerungen und der generelle Flächenverlust tragen ihren Teil dazu bei, die komplexe Ökologie der Arten zu stören.



Abb. 6.4-2: Heller Wiesenknopf-Ameisenbläuling (*Maculinea teleius*). Foto: T. Bittner.

Arten- und Biotophilskonzepte

Aus der Berichtspflicht an die Europäische Union zum Erhaltungszustand von Arten und Lebensräumen geht hervor, dass sich auch in Baden-Württemberg zahlreiche Arten und Lebensräume in einem ungünstigen Erhaltungszustand befinden. Um diese zu erhalten und ihre Vorkommen zu verbessern, werden in Zusammenarbeit mit den Regierungspräsidien, den unteren Naturschutzbehörden sowie den Landschaftserhaltungsverbänden Arten- und Biotophilskonzepte erarbeitet. Ziel der Konzepte ist es, konkrete Maßnahmen zur Verbesserung des Erhaltungszustandes der Arten und Lebensräume aufzuzeigen und so zur dauerhaften Erhaltung und Entwicklung beizutragen. Sie sollen den Dienststellen und Verbänden als konkrete Handreichung zur Umsetzung, beispielsweise im Rahmen von Kreispflegeprogrammen, dienen und sind Grundlage für das Erarbeiten von Kompensationsmaßnahmen für Eingriffe in Natur und Landschaft. Bislang wurden Biotophilskonzepte für Kalkmagerrasen, -pionierassen und Wacholderheiden im Nordosten Baden-Württembergs sowie für Borstgrasrasen und trockene Heiden im Schwarzwald erstellt. Ergebnisse der Artenhilfskonzepte fließen in das Artenschutzprogramm des Landes ein. Artenhilfskonzepte werden derzeit unter anderem für den Juchtenkäfer (*Osmoderma eremita*), die Zierliche Moosjungfer (*Leucorrhinia caudalis*) und das Wald-Wiesenvögelchen (*Coenonympha hero*) erarbeitet.



Abb. 6.4-3: Wacholderheide. Foto: C. Wagner, 2015.

Gebietsmanagement von Natura 2000-Gebieten

Neben Schutzgebietsausweisungen und der Durchsetzung des gesetzlichen Schutzes werden in Baden-Württemberg die FFH- und Vogelschutzgebiete vorrangig über vertragliche Vereinbarungen mit den Landnutzenden gesichert. Basierend auf dem Vertragsnaturschutz nach der Landschaftspflegerichtlinie, erhalten Landwirte für besondere Bewirtschaftungsauflagen zum Schutz von Arten oder Lebensräumen eine finanzielle Förderung. Grundlage bei allen Sicherungsmaßnahmen sind die Managementpläne, die für jedes Natura 2000-Gebiet aufgestellt werden sollen. Diese Fachpläne erfassen die Vorkommen der Lebensraumtypen und der Lebensstätten der Arten in den Natura 2000-Gebieten und legen konkrete Erhaltungs- und Entwicklungsmaßnahmen fest. Sie sind zudem eine Basis für die Beurteilung der Zulässigkeit von Plänen und Projekten wie für den Bau eines Gebäudes oder touristischer Nutzungen. Aktuell wurden in 231 Managementplänen 206 FFH-Gebiete fertig bearbeitet sowie 81 Vogelschutzgebiete insgesamt oder in geringer Anzahl teilbearbeitet (Stand April 2021). Die methodisch einheitliche Erarbeitung der Managementpläne wird durch landesweit verbindliche Vorgaben sichergestellt. Die Pläne sind auch eine unverzichtbare Grundlage für Verträge nach der Landschaftspflegerichtlinie (LPR) oder dem Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT).

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Natur und Landschaft > Europäische Naturschutzrichtlinien > Management und Sicherung > **MaP Endfassungen**

Invasive gebietsfremde Arten

Die 2015 in Kraft getretene Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 über die Prävention und das Management der Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten sieht ein gestuftes System von Prävention, Früherkennung und sofortiger Beseitigung sowie das Management bereits weitverbreiteter invasiver Arten vor. Von den bisher gelisteten 66 invasiven Arten kommen oder kamen 31 in Baden-Württemberg vor. Arten gemäß Artikel 16 der Verordnung befinden sich in Deutschland in einer frühen Phase der Invasion und unterliegen der Früherkennung mit einer



Abb. 6.4-4: Asiatische Hornisse (*Vespa velutina nigrithorax*). Foto: M. Waitzmann 2018.

Verpflichtung zur sofortigen Beseitigung. Hierzu zählt beispielsweise die Asiatische Hornisse (*Vespa velutina nigrithorax*), von der in den vergangenen drei Jahren Nester an mehreren Fundorten durch Spezialisten entfernt wurden. Arten gemäß Artikel 19, zum Beispiel der Götterbaum (*Ailanthus altissima*) unterliegen einem Management. Die Organisation und Umsetzung von Managementmaßnahmen erfolgen im Land nach Abwägung aller Rahmenbedingungen (Art der Maßnahme, Erfolgsaussichten, Verhältnismäßigkeit). Als Grundlage dienen von allen Bundesländern gemeinsam erarbeitete Maßnahmenblätter. Die Öffentlichkeit hatte dabei die Gelegenheit, zu den Entwürfen der Managementmaßnahmenblättern Stellung zu nehmen. Eine erste Berichtspflicht gegenüber der EU wurde im 1. Quartal 2019 vom Land erfüllt und enthält unter anderem Angaben zur Verbreitung der invasiven Arten der Unionslisten (Arten von unionsweiter Bedeutung) in Baden-Württemberg.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen >
Natur und Landschaft > Artenschutz >
Invasive Arten

6.5 Naturschutzrechtliche Eingriffsregelung

Das neue Kompensationsverzeichnis

Seit 2011 wird in Baden-Württemberg ein Kompensationsverzeichnis (KompVz) geführt. Dieses enthält aktuell naturschutzrechtliche Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen (Kompensationsmaßnahmen) sowie Ökokonto-Maßnahmen (vorgezogene Kompensationsmaßnahmen). Wegen der Unterschiede in den zugrunde liegenden Rechtsvorschriften ist das KompVz in die Bereiche „Naturschutzrecht“ und „Bauplanungsrecht“ unterteilt. Eintragungen in den bauplanungsrechtlichen Teil erfolgen derzeit noch freiwillig, während die Führung des naturschutzrechtlichen Teils verpflichtend ist (Kompensationsverzeichnis-Verordnung; Ökokonto-Verordnung).

Mit den Anpassungen im Naturschutzgesetz (§ 18) aus den Jahren 2015 und 2020 wurden umfangreiche Ergänzungen des KompVz auf den Weg gebracht. So soll es zukünftig über eine von der LUBW bereitgestellte, webbasierte Plattform landesweit einheitlich öffentlich einsehbar sein. Zudem sollen weitere Themen aufgenommen werden. Um diese Erfassung zu ermöglichen, wird die Fachanwendung zur Führung des KompVz von der LUBW neu entwickelt. In diesem Zuge sollen die Oberfläche der Fachanwendung anwenderfreundlicher gestaltet und für die erfassten Daten mehr Auswertungsmöglichkeiten zur Verfügung gestellt werden.

- Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen nach § 1a Abs. 3 BauGB und § 200a BauGB (in den in § 18 Abs. 2 NatSchG genannten Fällen),
- Vermeidungs- und Minimierungsmaßnahmen sowie Maßnahmen aufgrund von Ersatzzahlungen,
- Beeinträchtigungen von Natura 2000-Gebieten,
- Schadensbegrenzungsmaßnahmen bei erheblichen Beeinträchtigungen von Natura 2000-Gebieten,
- Kohärenzsicherungsmaßnahmen nach § 34 Abs. 5 Satz 1 BNatSchG,
- Maßnahmen zur Vermeidung und Minimierung des Eintritts der Zugriffsverbote nach § 44 Abs. 1 BNatSchG,
- vorgezogene Ausgleichsmaßnahmen nach § 44 Abs. 5 Satz 3 BNatSchG,
- Maßnahmen zur Vermeidung der Verschlechterung des Erhaltungszustandes der Population einer Art im Sinne von § 45 Abs. 7 Satz 2 BNatSchG und
- Maßnahmen zur Schaffung eines ökologischen Mehrwertes bei Flurneuordnungsverfahren.

Abb. 6.5-1: Inhalte nach § 18 Abs. 2-3 NatSchG, die bei der Neuentwicklung des KompVz berücksichtigt werden. Quelle NatSchG, Stand Nov. 2020.

Evaluierung und Weiterentwicklung des naturschutzrechtlichen Ökokontos

Die Evaluation der baden-württembergischen Ökokonto-Verordnung (ÖKVO) wurde Ende 2018 abgeschlossen. Der Ergebnisbericht ist abrufbar unter:

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Natur und Landschaft > Eingriffsregelung, Landschaftsplanung > Eingriffsregelung, Ökokonto > Service > **2. Dokumente**

Den Schwerpunkt der Evaluation bildeten die Wirkungsbereiche und Maßnahmen der ÖKVO. Darüber hinaus wurden weitere Themen, beispielsweise die Informations- und Kommunikations-Fachanwendung, behandelt.

Die Ergebnisse der Evaluation dienen als Grundlage für die fachliche und rechtliche Weiterentwicklung der ÖKVO. Es ist geplant, dass die ÖKVO zukünftig zusammen mit anderen Fachvorschriften in einer neuen Kompensationsverordnung zusammengefasst wird. In diesem Zuge werden ausgewählte Themen der Evaluation geprüft und weiter ausgearbeitet. Ein Beispiel hierfür ist die Erarbeitung artspezifischer Hinweispapiere, mit denen bestehende Anwendungsprobleme und Unklarheiten bei Begriffsdefinitionen behoben werden sollen. Des Weiteren soll die Bewertung von punktuellen Biotopmaßnahmen mit großer Flächenwirkung, die bisher über die Maßnahmenkosten erfolgte (sogenannter Herstellungskostenansatz), überprüft und weiterentwickelt werden.

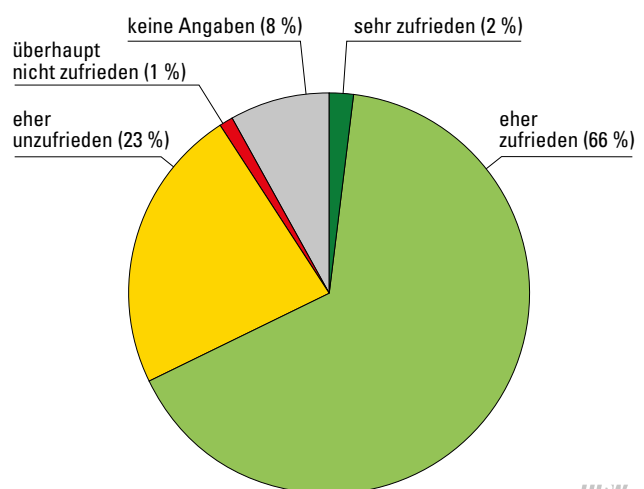


Abb. 6.5-2: Zufriedenheit mit der Ökokonto-Verordnung: Die Mehrheit der Akteurinnen und Akteure ist mit der bisherigen Ökokonto-Verordnung zufrieden. Quelle Bericht zur Evaluation der Ökokonto-Verordnung Baden-Württemberg [PAN 2018], Stand Nov. 2018.

6.6 Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Was ist Medienübergreifende Umweltbeobachtung?

Seit 1984 – also seit 37 Jahren – beobachtet, überprüft und bewertet die Medienübergreifende Umweltbeobachtung (MUB) an der LUBW den Zustand von Ökosystemen in Baden-Württemberg und dokumentiert die Auswirkungen menschlichen Handelns und Wirtschaftens auf Natur und Umwelt.

Grundlage hierfür ist das Monitoring in Wäldern, im Grünland sowie an Fließ- und Stillgewässern in Baden-Württemberg, welches regelmäßig und über einen langen Zeitraum hinweg betrieben wird (ökologische Dauerbeobachtung).

Die gesammelten Mess- und Untersuchungsergebnisse fließen in eine ganzheitliche Bewertung des Umweltzustandes ein.

Ziel ist es, frühzeitig Signale aus der Natur zu erhalten, die Belastungen und Gefährdungen von Natur und Umwelt anzeigen.

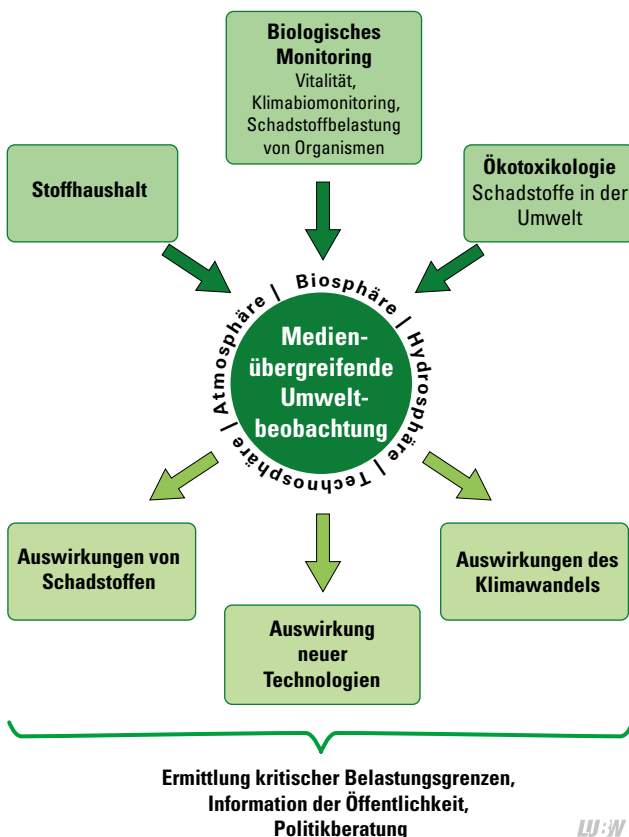


Abb. 6.6-1: Medienübergreifende Umweltbeobachtung in Baden-Württemberg. Quelle LUBW.

Klimawandelfolgen in der belebten Umwelt

Die langen Untersuchungszeitreihen des biologischen Messnetzes zu unterschiedlichen Organismen und Ökosystemen ermöglichen es, Veränderungen der belebten Umwelt durch den Klimawandel aufzuzeigen (vgl. Kapitel 2.2). Eine Folge der steigenden Temperaturen ist beispielsweise, dass Pflanzen immer früher im Jahr blühen, sich die Winterphase deutlich verkürzt hat und die Vegetationszeit folglich länger geworden ist. Dies lässt sich anhand der Wildpflanzenphänologie gut beobachten. Die längere Vegetationszeit und die milden Winter bergen aber auch Risiken. So werden beispielsweise gebietsfremde Arten wie die Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) gefördert, die gesundheitliche Risiken mit sich bringt. Auch wärmeliebende Insektenarten oder Flechten profitieren von den steigenden Temperaturen. Im Fall von Schädlingen wie dem Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) oder unerwünschten Stechmückenarten wie der Asiatischen Tigermücke (*Aedes albopictus*) kann dies zu Ernteaufschlägen oder zum Auftreten neuer Infektionskrankheiten führen. Negativen Einfluss kann der Klimawandel auch auf die Bodenorganismen haben. So reagieren beispielsweise Regenwürmer, die wichtigste Gruppe der Bodentiere, empfindlich auf Trockenphasen.

<https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10182>



Abb. 6.6-2: Bild einer Walduntersuchungsfläche. Foto: LUBW.

Schadstoffanreicherung in der Nahrungskette

Synthetische Chemikalien wie die per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS, früher abgekürzt als PFC) kommen in vielen Alltagsprodukten, beispielsweise als Imprägnierung in Outdoorkleidung oder Lebensmittelverpackungen, vor. Sie reichern sich aufgrund ihrer Langlebigkeit in der Umwelt an. Einige PFAS stehen im Verdacht, krebserregend zu sein, sodass vermieden werden muss, dass PFAS in die Nahrung gelangen.

An naturnahen Walddauerbeobachtungsflächen der LUBW sowie an belasteten Acker- und Grünflächen im Raum Rastatt/Baden-Baden wurden Boden-, Regenwurm- und Kleinsäugerproben analysiert, um den Übertritt der PFAS in die Nahrungskette zu untersuchen.

In den **Waldböden** wurden nur geringe Konzentrationen von Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) und Perfluorooctansäure (PFOA) mit 1 bis 2 Nanogramm pro Gramm (ng/g) gemessen.

Die Anreicherung der Verbindungen in den Würmern war jedoch sehr stark. Je nach Regenwurmart wurden Anreicherungsfaktoren von 7,5 bis 135 im Vergleich zu den Bodenwerten gefunden.

Auf den belasteten **Acker- und Grünlandflächen** wurden hohe PFAS-Werte zwischen 200 bis 800 Mikrogramm pro Kilogramm ($\mu\text{g}/\text{kg}$) im Boden gemessen. Auch hier

zeigte sich eine starke und artspezifische Anreicherung mit einer maximalen Summe von $108 \mu\text{g}/\text{g}$. Die Anreicherungsfaktoren lagen in der gleichen Größenordnung wie bei den Waldflächen und zeigen sich somit weniger abhängig von den Bodenkonzentrationen als vielmehr von der Regenwurmart.

Bei den untersuchten **Kleinsäufern** zeigte sich die höchste Anreicherung mit $14 \mu\text{g}/\text{g}$ in fleischfressenden Spitzmäusen der belasteten Flächen. An einer Waldfläche wurde der höchste Wert im Regenwurm um etwa das 7-Fache überschritten.

Selbst die geringen in Waldböden messbaren PFAS-Konzentrationen können sich entlang der Nahrungskette stark anreichern. Auch wenn es wahrscheinlich ist, dass diese keine akuten Wirkungen auf die untersuchten Organismen ausüben, sind dennoch nachteilige chronische Effekte nicht auszuschließen.

Eine detaillierte Darstellung der Untersuchungsergebnisse findet sich im Bericht „PFC in Böden und Übertritt in die Nahrungskette“.

<https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10163>



Abb. 6.6-3: Hausspitzmaus frisst einen Regenwurm. Foto: Eric Isselee/shutterstock.com.

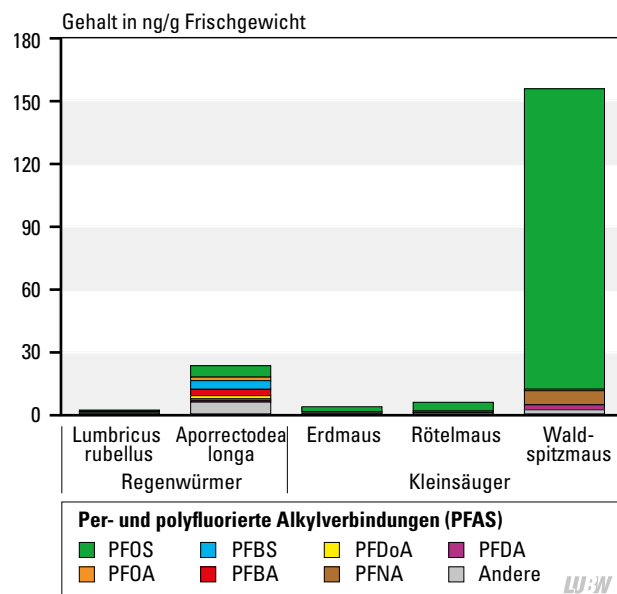


Abb. 6.6-4: PFAS-Gehalte in Regenwürmern und Lebern von Kleinsäufern des Waldstandortes Kirchheim u. T. Quelle LUBW, Stand Jan. 2021.

Anreicherung von Quecksilber und organischen Schadstoffen in Fischen und Muscheln

Der gute chemische Zustand der Gewässer ist eine Grundlage für ein intaktes aquatisches Ökosystem. Mit der Wasserrahmenrichtlinie hat die Europäische Union für bestimmte Schadstoffe Umweltqualitätsnormen (UQN) festgelegt, die für das Erreichen des guten chemischen Zustands der Oberflächengewässer unterschritten werden müssen (vgl. Kapitel 5.3).

Einige dieser UQN gelten für Schadstoffgehalte in Wasserlebewesen. In Baden-Württemberg werden seit 2012 Fische und Muscheln auf diese Schadstoffe untersucht (Biotamonitoring). Dazu werden an insgesamt neun Untersuchungsstellen an Rhein, Neckar und Donau bestimmte Fisch- und Muschelarten von definierter Größe entnommen und chemisch analysiert.

Im Zeitraum 2017 bis 2019 wurden bei Fischen an allen Probenahmestellen durchgehend Überschreitungen der UQN für Quecksilber (bis zu 8-fach) und bromierte Diphenylether (bis zu 345-fach) sowie in einzelnen Jahren bei insgesamt drei Probenahmestellen (Rhein, je einmal in 2017 und 2018; Donau, einmal in 2017) für cis-Heptachlorepoxyd (bis zu 1,5-fach) festgestellt. Bei Muscheln wurde im Jahr 2017 bei 3 Probenahmestellen am Neckar die UQN für Fluoranthen (bis zu 3,1-fach) überschritten. Die UQN wurden somit nicht eingehalten und das Ziel eines guten chemischen Zustandes bisher nicht erreicht.

Die in Fischen und Muscheln gemessenen Konzentrationen zeigen, dass einige der analysierten Schadstoffe sich über die Nahrungskette anreichern, also eine Bioakkumulation stattfindet.

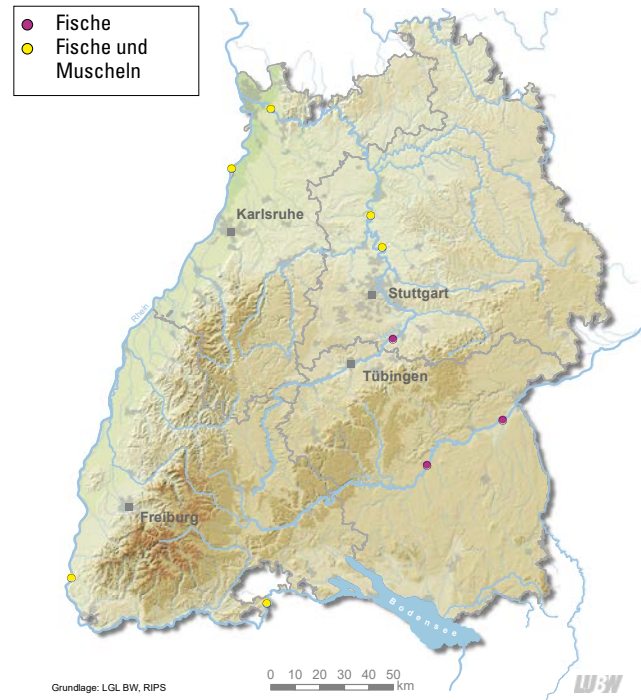


Abb. 6.6-5: Entnahmestellen von Fischen und Muscheln für den Zeitraum 2017 bis 2019. Quelle LUBW.

Tab. 6.6-1: Schadstoffe in Fischen und Muscheln des Rheins, des Neckars und der Donau für den Zeitraum 2017 bis 2019. Die Schadstoffgehalte sowie die Werte für die Umweltqualitätsnormen sind in Mikrogramm pro Kilogramm (µg/kg) Nassgewicht angegeben. Quelle LUBW.

| Biota | Stoff | Umweltqualitätsnorm µg/kg | Rhein µg/kg | Neckar µg/kg | Donau µg/kg |
|----------|---|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Fische | Dioxine und dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle | 0,0065 | 0,00013 - 0,0008 | 0,0003 - 0,00274 | 0,00016 - 0,00065 |
| Fische | Hexachlorbenzol | 10 | 0,1 - 3,0 | 0,1 - 0,6 | 0,03 - 0,2 |
| Fische | Hexachlorbutadien | 55 | <10 | <10 | <10 |
| Fische | p,p'-Dicofol | 33 | <10 | <10 | <10 |
| Fische | Hexabromcyclododecan | 167 | 18 | 18 | 18 |
| Fische | cis-Heptachlorepoxyd | 0,0067 | <0,005 - 0,01 | <0,005 | <0,005 - 0,01 |
| Fische | Heptachlor | 0,0067 | <0,005 | <0,005 | <0,005 |
| Fische | Quecksilber | 20 | 40 - 160 | 40 - 130 | 60 - 70 |
| Fische | Perfluorooctansulfonsäure | 9,1 | 3 - 8 | 2 - 7 | 3 - 5 |
| Fische | Polybromierte Diphenylether | 0,0085 | 0,26 - 0,84 | 0,31 - 2,93 | 0,22 - 0,46 |
| Muscheln | Dioxine und dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle | 0,0065 | 0,00016 - 0,00051 | 0,00039 - 0,00545 | n. u. |
| Muscheln | Fluoranthen | 30 | 2,3 - 7,66 | 9,4 - 92 | n. u. |
| Muscheln | Benzo(a)pyren | 5 | <0,3 - 0,43 | <0,3 - 1,9 | n. u. |

n. u.: nicht untersucht.

Gentechnisch veränderte Rapspflanzen

Der kommerzielle Anbau von gentechnisch verändertem Raps ist in der EU nicht erlaubt. Zulässig sind aber Import und Verarbeitung von bestimmten gentechnisch veränderten Rapslinien. Somit ist nicht auszuschließen, dass sich gentechnisch veränderte Raps durch Verluste im Umfeld von Bahnhöfen, Hafenanlagen oder Ölmühlen, an denen üblicherweise große Saatgutmengen umgeschlagen oder verarbeitet werden, ansiedeln kann. Transgener Raps kann auch über konventionelles Saatgut, das mit gentechnisch veränderten Rapssamen kontaminiert ist, in die Umwelt gelangen.

Seit 2009 wird in Baden-Württemberg von der LUBW gemeinsam mit den Landwirtschaftsbehörden des Landes jährlich stichprobenartig überprüft, ob wild wachsende Rapspflanzen gentechnische Veränderungen aufweisen. Untersucht werden Rapspflanzen, die auf verdächtigen Flächen wie Bahnverladestellen, Häfen, Ölmühlen oder entlang von Transportwegen vorkommen. In den Jahren 2018 bis 2020 wurden 1628 Rapspflanzen von rund 77 Standorten überprüft. Bei keiner der Pflanzen wurde eine gentechnische Veränderung festgestellt.



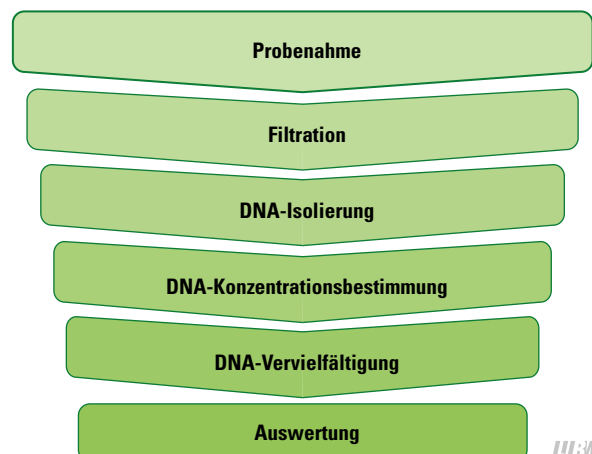
Abb. 6.6-6: Rapspflanzen auf Hafengelände. Foto: LUBW.

Monitoring invasiver aquatischer Organismen mittels eDNA

Aquatische Lebewesen hinterlassen durch Kot, Hautzellen, Blut oder Sekrete Spuren ihres Erbguts, der Desoxyribonukleinsäure (DNA) im Gewässer. Anhand typischer DNA-Muster können die Organismen identifiziert werden. Mit molekularbiologischen Verfahren kann diese sogenannte Umwelt-DNA (environmental DNA, eDNA) in Wasserproben detektiert werden, wofür schon eine geringe Menge an DNA der gesuchten Organismenart in einer Wasserprobe ausreicht. Im Labor wird die Probe filtriert und die DNA extrahiert. Mit der Polymerase-Kettenreaktion (Polymerase Chain Reaction, PCR) werden die in der Probe enthaltenen spezifischen DNA-Sequenzen der gesuchten Organismenart vervielfältigt und anschließend durch Vergleich mit Referenzmaterial identifiziert.

Nördlich von Karlsruhe wurden im Jahr 2020 fünf Seen auf das Vorkommen des Nordamerikanischen Ochsenfroschs (*Lithobates catesbeianus*) mittels eDNA-Nachweis untersucht, um Hinweise auf die Ausbreitung dieser invasiven und für die heimische Fauna schädlichen Art zu erhalten. Im Fokus standen dabei Seen, in denen der Nordamerikanische Ochsenfrosch mit den klassischen Verfahren (Rufkontrolle, Beobachtung) bislang noch nicht festgestellt wurde. Die Seen wurden während der Aktivitätsphase der Frösche in den Monaten Juni, Juli und August beprobt. Bei einem der Seen wurden im Monat Juli DNA-Spuren des Nordamerikanischen Ochsenfroschs nachgewiesen. Dagegen war bei den vier anderen Seen im Untersuchungszeitraum der molekularbiologische Nachweis negativ.

Untersuchungsschema für den Nachweis von Umwelt-DNA in einer Wasserprobe



LUBW

Abb. 6.6-7: Untersuchungsschema für den Nachweis von Umwelt-DNA in einer Wasserprobe. Quelle LUBW.

Hochauflösende Ammoniakkarte und Critical Levels

Ammoniak (NH₃) ist eine reaktive Stickstoffverbindung, die empfindliche Ökosysteme schädigt. Die Hauptursache für erhöhte Ammoniakkonzentrationen in der Luft ist der Stickstoffüberschuss aus der Landwirtschaft. Mit dem Verbundvorhaben StickstoffBW will die Landesregierung dazu beitragen, die Stickstoffüberschüsse und die Ammoniakkonzentrationen auf ein verträgliches Maß zurückzuführen. Dazu erschien im Jahr 2020 ein erster Diskussionsvorschlag für Instrumente und Maßnahmen zur Reduktion der Stickstoffüberschüsse [HERMANN ET AL. 2020].

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Medienübergreifende Umweltbeobachtung > Stoffhaushalt > Stickstoff > **StickstoffBW**

Grundlage hierfür ist die Modellierung der aktuellen Ammoniakkonzentration im Land. Die Ammoniakkonzentrationen können seit 2020 mit einer neuen hochauflösenden Karte im Kartendienst des Landes Baden-Württemberg beurteilt werden. Die Ammoniakkonzentration wurde auf einem Raster von 100 x 100 m kartiert. Dabei wurden zwei Modellansätze kombiniert, und es erfolgte eine Validierung anhand von gemessenen Ammoniakkonzentrationen in der Luft. Bis zu einer Distanz von 4 Kilometern wurde

die Ausbreitung lokaler Ammoniakemissionen für jedes Hektar einzeln mit einem Modell der schweizerischen Meteotest AG berechnet, während die Ausbreitung weiter entfernter Quellen mit einem Chemie-Transportmodell der Universitäten Köln und Stuttgart berechnet wurde.

Die Ammoniak-Hintergrundkonzentration ist vor allem in Gebieten mit hohem Viehbesatz und solchen mit hohen Stickstoffüberschüssen in der Landwirtschaft erhöht. Auch der Nahbereich von Straßen weist erhöhte Ammoniakkonzentrationen auf.

Die Bewertung der Ammoniakkonzentration erfolgt mit den sogenannten Critical Levels, die im Jahr 2019 erstmals auf die Lebensraumtypen der FFH-Richtlinie angewendet wurden. Eine Bewertung der Stickstoffeinträge muss immer sowohl Konzentrationen als auch die ebenfalls berechneten und im Kartendienst veröffentlichten Stickstoffdepositionen umfassen. In den Modellierungen sind nur rund 150 von 22 000 Tierhaltungsanlagen als Punktquellen berücksichtigt. Bei Genehmigungsverfahren und bei Planungen in der Nähe von Tierhaltungsanlagen ist daher eine räumliche Korrektur der Ammoniakkonzentration und Stickstoffdepositionen erforderlich. Eine Interpretation der Karte ist derzeit ohne räumliche Korrektur nicht zulässig.

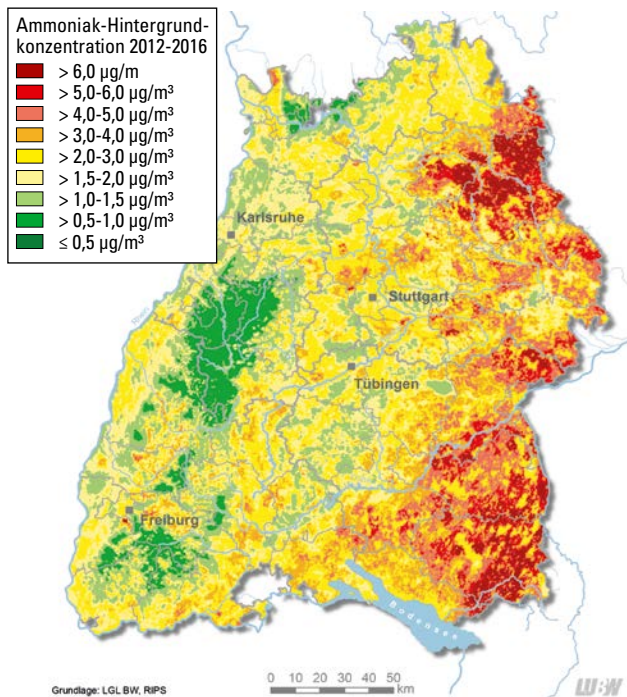


Abb. 6.6-8: Neufassung der Ammoniakkonzentration im Kartendienst der LUBW. Bearbeitung: Universität Stuttgart (Institut für Navigation, INS), Meteotest AG (Bern, Schweiz), Universität Köln (RIU Rheinisches Institut für Umweltforschung) und weitere Mitglieder der StickstoffBW AG1 Deposition.

Tab. 6.6-2: Critical Levels für die FFH-Lebensraumtypen in Baden-Württemberg (Auszug, vollständige Liste siehe CL-Bericht 2019 [UM 2019]).

| LRT | LRT-Name (Kurzbezeichnung) | Critical Level NH ₃ µg/m ³ |
|-------|---|--|
| 2330 | Binnendünen mit Magerrasen | 1-2 |
| 4030 | Trockene Heiden | 2-3 |
| 5130 | Wacholderheiden | 2-3 |
| 6230* | Artenreiche Borstgrasrasen | 2-3 |
| 7140 | Übergangs- und Schwingrasenmoore | 1-3 |
| 8150 | Silikatschutthalden | 1-2 |
| 8220 | Silikatfelsen mit Felsspaltenvegetation | 1-2 |
| 8230 | Pionierrasen auf Silikatfelskuppen | 1-2 |
| 9110 | Hainsimsen-Buchenwald | (2-3) |
| 9150 | Orchideen-Buchenwälder | (2-3) |
| 9170 | Labkraut-Eichen-Hainbuchenwald | (2-3) |
| 9190 | Bodensaure Eichenwälder auf Sandebenen | (1-2) |
| 91D0* | Moorwälder | (1-2) |
| 9410 | Bodensaure Nadelwälder | (1-2) |

LRT: Lebensraumtyp. In Klammern: vorläufige Werte.



6.7 Wald

Entwicklung der Waldfläche und des Waldzustandes in Baden-Württemberg

Baden-Württemberg weist eine **Waldfläche** von 1,4 Millionen Hektar (ha) auf, das sind rund 38 % der Landesfläche. 40 % des Waldes sind im Eigentum der Städte und Gemeinden (Körperschaften). Weitere 36 % der Gesamtwaldfläche sind Privatwald, überwiegend in klein parzelliertem 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. Von 2002 bis 2012 wuchs die Waldfläche allerdings nur noch um knapp 10 000 ha [BMEL 2012]. Vor allem in den walddreichen Landesteilen ist die Waldfläche durch natürliche Wiederbewaldung stetig größer geworden. In den Verdichtungsräumen sind durch Siedlungs- und Verkehrsentwicklung dagegen die größten Waldverluste aufgetreten.

Der **Waldzustand** in Baden-Württemberg verschlechterte sich 2020 unter dem Einfluss extremer Witterungsbedingungen im dritten Jahr in Folge. Aktuell wird knapp die Hälfte (46 %) der Waldfläche Baden-Württembergs als deutlich geschädigt eingestuft.

www.fva-bw.de > publikationen > **Waldzustandsbericht 2020**



Abb. 6.7-1: Verteilung von Waldflächen in Baden-Württemberg. Quelle ForstBW, Stand Feb. 2020.

Schutz- und Erholungsfunktionen von Wäldern

Der Wald erfüllt verschiedenartige Schutzfunktionen, zum Beispiel als Wasserschutzwald. Vor allem aber ist der Wald Ort der Erholung und Freizeitgestaltung. Waldflächen erfüllen diese Funktionen jedoch nicht überall in gleicher Weise und in gleicher Intensität. Die Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes werden deshalb seit 1975 mit der Waldfunktionenkartierung einzeln und örtlich erfasst. Ihre Darstellung beschränkt sich auf die Fälle, in denen sie für das Gemeinwohl von besonderer Bedeutung sind und deshalb bei der Waldbehandlung und bei anderen wald- und landschaftsbezogenen Planungen berücksichtigt werden sollen. Die Ergebnisse der Waldfunktionenkartierung fließen in die forstliche Rahmenplanung ein. Des Weiteren sind sie für Fördermaßnahmen von Bedeutung.

Informationen zu den einzelnen Funktionen sowie deren Ausweisung finden Sie hier:

www.fva-bw.de > Daten & Tools > Geodaten > **Waldfunktionenkartierung**

Die Waldfunktionenkarten können von allen Bürgerinnen und Bürgern im Geoportal des Landes Baden-Württemberg kostenlos eingesehen werden.

www.geoportal-bw.de

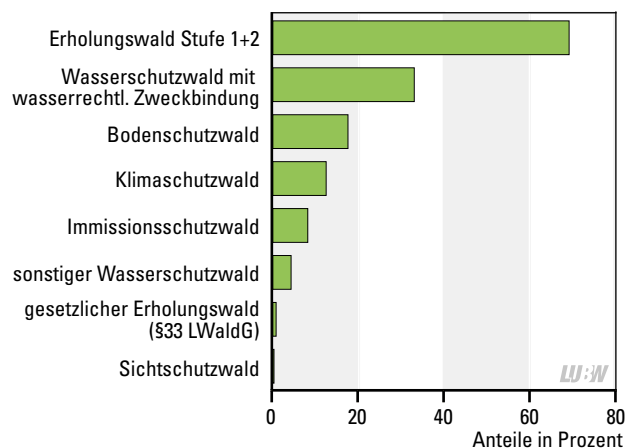


Abb. 6.7-2: Anteile von Schutz- und Erholungswald an der Gesamtwaldfläche. Quelle Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), Stand 2020.

Naturschutzwichtige Waldflächen

Die Großflächigkeit und die naturnahe Bewirtschaftung haben Wälder zu Rückzugsstätten und Lebensräumen für viele Tier- und Pflanzenarten gemacht. Landesweit unterliegen rund drei Viertel der Waldfläche einer naturschutzrechtlichen Zweckbindung.

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 27,4 % der Waldfläche Baden-Württembergs liegen in FFH-Gebieten, das sind 391900 Hektar (ha). Die großflächigen Buchenwald-Lebensraumtypen bilden einen Flächenanteil von 85 % (82409 ha) an der Gesamtfläche der Waldlebensraumtypen und damit bei den Waldlebensraumtypen einen deutlichen Schwerpunkt innerhalb der FFH-Gebiete. Die kleinflächigen Waldlebensraumtypen wie Hang- und Schluchtwälder, Eichen-Hainbuchen-Wälder oder Erlen-Eschen-Wälder auf 15005 ha sind aufgrund ihrer geringeren natürlichen Vorkommen seltener.

Alt- und Totholzkonzept, Generalwildwegeplan

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 (etwa 7 bis 15 Bäume) und Waldrefugien (auf Dauer aus der Bewirtschaftung genommene Waldflächen von mindestens einem Hektar (ha) Größe) bieten Lebensraum für Arten, die auf sehr alte Bäume und große Totholzmassen angewiesen sind. Bis Ende 2019 wurden rund 325000 Bäume, verteilt auf 31000 Habitatbaumgruppen und 4274 Waldrefugien, mit einer Gesamtfläche 11979 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 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. Er ist ein Bestandteil des Fachplans landesweiter Biotopverbund.

Tab. 6.7-1: Geschützte und naturschutzwichtige Waldflächen. Quelle Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), Stand Dez. 2020.

| Schutzkategorie | | Waldfläche in ha | Anteil am Gesamtwald ¹⁾ in % |
|---|---|------------------|---|
| Wald nach § 32 LWaldG | Bannwald ^{2) 4)} | 5 669 | 0,4 |
| Wald in Schutzgebieten nach Naturschutzgesetz | Wald in Kernzonen Biosphärengebiet | 2 777 | 0,2 |
| | Bannwald und Wald in Kernzonen Biosphärengebiet (doppelt verordnet) | 1 960 | 0,1 |
| | dem Prozessschutz dienende Flächen (PdF) gesamt | 10 406 | 0,7 |
| Wald nach § 32 LWaldG | Schonwald | 17 325 | 1,2 |
| Wald in Schutzgebieten nach Naturschutzgesetz | Wald in Naturschutzgebieten ²⁾ | 50 014 | 3,5 |
| | Wald in Landschaftsschutzgebieten | 454 318 | 31,7 |
| | Wald in Naturparks | 715 804 | 50,0 |
| Waldbiotope | Waldbiotope nach § 30 Bundesnaturschutzgesetz ³⁾ | 35 401 | 2,5 |
| | Waldbiotope nach § 32 Landesnaturschutzgesetz ^{2) 3)} | 2 726 | 0,2 |
| | Waldbiotope nach § 30a Landeswaldgesetz | 18 798 | 1,3 |
| | sonstige seltene Waldbiotope | 25 033 | 1,7 |
| Natura 2000-Gebiete | FFH-Gebiete und Vogelschutzgebiete (überlagerungsbereinigt) | 391 900 | 27,4 |
| Summe naturschutzwichtiger Flächen im Wald (überlagerungsbereinigt)²⁾ | | 1 061 530 | 74,2 |

1) Waldfläche Baden-Württemberg: 1 428 716 ha.

2) Naturschutzwichtige Flächen im Wald.

3) Seit 2010 gilt § 30 des Bundesnaturschutzgesetzes. Der Landesparagraf ergänzt die Waldbiotope auf Landesebene.

4) Inklusive doppelt verordneter Bannwälder in der Kernzone des Biosphärengebiets Schwäbische Alb, exklusive ehemaliger Bannwälder im Nationalpark Schwarzwald.

Naturnahe Waldwirtschaft

Das Leitbild der naturnahen Waldwirtschaft ist die Entwicklung und Nutzung eines naturnahen Wirtschaftswalds, der gleichzeitig, grundsätzlich gleichrangig und dauerhaft seine Schutz- und Erholungsfunktionen erfüllt. Die weitgehende Ausnutzung natürlich ablaufender Prozesse in Waldökosystemen und eine ausreichende ökologische und physikalische Stabilität der Wälder bilden dabei auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht die Grundvoraussetzung. Bei der dritten Bundeswaldinventur 2012 (BWI) wurden 50,4 % der Wälder in Baden-Württemberg als „naturnah“ und „sehr naturnah“ eingestuft. Das ist der höchste Wert im gesamten Bundesgebiet. Die vierte Bundeswaldinventur begann im April 2021, die Datenerhebung wird Ende 2022 abgeschlossen werden.

www.bundeswaldinventur.de

Die Anteile der für den Naturschutz wichtigen alten Wälder mit Bäumen mit mehr als 50 Zentimeter (cm) Stammdurchmesser sind im Vergleich zur letzten BWI stark gestiegen. 49 % der Eichen und 50 % der Tannen sowie 34 % des Buchenvorrates sind Bäume mit mehr als 50 cm Durchmesser. Die Totholzvorräte im Wald, Lebensräume für spezielle Tier- und Pflanzenarten, erreichen einen Durchschnittswert von 28,8 Kubikmeter pro Hektar (m³/ha).

Das derzeitige Verhältnis von Laub- zu Nadelbaumarten liegt sowohl im Gesamtwald (BWI 2012) [BMEL 2012] als auch aktuell im öffentlichen Wald (2020) bei 48:52.

2020 war im öffentlichen Wald die Fichte mit 28 % knapp vor der Buche mit 26 % Flächenanteil die häufigste Baumart.

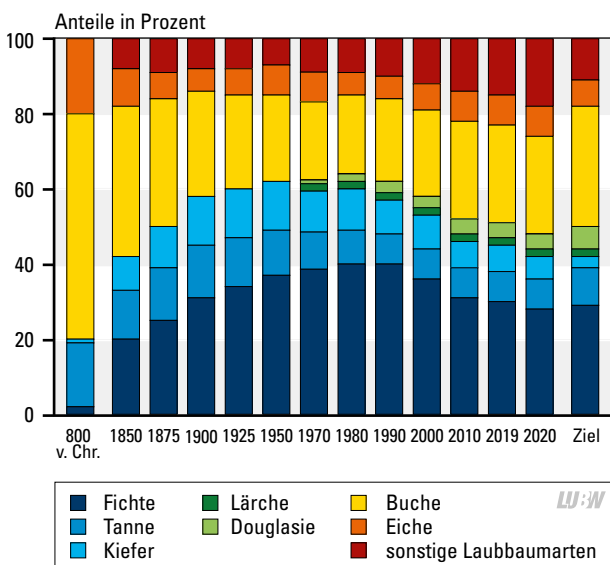


Abb. 6.7-3: Baumartenentwicklung im öffentlichen Wald Baden-Württemberg nach FE-Statistik. Quellen Regierungspräsidium Freiburg, Ref. 85; [FRBAS 1949], Stand 2020.

Die jungen Wälder sind nach der BWI 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 Kahlflächen, sondern unter dem schützenden Kronendach der alten Bäume. Dadurch entstehen stufige und strukturreiche Wälder. Ein Mehrwert für die ökologischen und gesellschaftlichen Waldfunktionen, zum Beispiel Erholungsfunktion, ein Vorteil aber auch gegenüber Schadereignissen und Witterungsextremen.

Im Hinblick auf Witterungsextreme brachten die Jahre 2018 bis 2020 für den Wald große Herausforderungen mit sich. So waren hier überdurchschnittliche Niederschlagsarmut, lange Trockenperioden sowie hohe Sommertemperaturen zu verzeichnen. Die Folge waren extrem gestresste Wälder, absterbende oder kränkelnde Bäume sowie Folgeschäden durch Schadinsekten wie den Borkenkäfer. Es entstanden große Schadflächen mit hohen wirtschaftlichen Schäden für die Forstbetriebe. In den kommenden Jahren werden für Waldbesitzende schwierige Entscheidungen zur notwendigen Klimaanpassung der Wälder in einer wirtschaftlich angespannten Situation anstehen. Ziel der Landesforstverwaltung wird es sein, Waldbaukonzepte und Wiederbewaldungsempfehlungen auszuarbeiten, mit denen mittel- bis langfristig ökologisch anpassungsfähige, klimaresiliente und dennoch wirtschaftlich rentable Wälder entstehen können.

Mit einer Zertifizierung der nachhaltigen Waldwirtschaft verpflichtet sich ein Forstbetrieb, bei seiner Waldbewirtschaftung bestimmte Qualitäts- oder Umweltstandards einzuhalten. 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.



7 Lärm

Das Wichtigste in Kürze

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 Lärm-minderungsstrategien in Form von Lärmaktionsplänen abgeleitet.

Als Folge des **Straßenverkehrslärms** sinkt der Aufenthalts- und Erholungswert weiter Teile der Landesfläche. So wurde im Zuge der Lärmkartierung 2017 ermittelt, dass in Baden-Württemberg über 244 000 Menschen in der Nacht Lärmpegeln über 55 Dezibel (A) ausgesetzt sind, die vom Straßenverkehr verursacht werden. Solche Belastungen können auf Dauer zu Gesundheitsbeeinträchtigungen führen. Lokale **Maßnahmen** wie Ortsumgehungsstraßen oder Lärmschutzwände führen durchaus zu Erleichterungen bei den betroffenen Menschen, werden jedoch durch steigende Verkehrszahlen und höhere Fahrgeschwindigkeiten teilweise wieder aufgehoben. Neben dem Antrieb wird der Schallpegel auch wesentlich vom Reifen-Fahrbahn-Geräusch verursacht. Bei Mopeds und Motorrädern ist das Antriebsgeräusch stets die dominante Lärmquelle. Lärminderung durch die Umstellung auf Elektromobilität ist grundsätzlich möglich. Die Nutzung von Elektrofahrzeugen mindert vorrangig das Antriebsgeräusch, nicht aber das Reifen-Fahrbahn-Geräusch.

Auch der **Bahnverkehr** führt, vor allem bei nahe an der Wohnbebauung verlaufenden Trassen, zu hohen Lärmbelastungen und hohen Betroffenzahlen unter den Anwohnerinnen und Anwohnern. Hier wird mit dem Einsatz modernerer Fahrzeugflotten mit leiserer Bremstechnik gegengesteuert.

Der **Flugverkehr**, insbesondere in der Nacht, zählt zu den Lärmquellen, die die Anwohnerinnen und Anwohner besonders stark beeinträchtigen. Im Einwirkungsbereich des Flughafens Stuttgart ist es in den vergangenen 30 Jahren gelungen, trotz höherer Flugzahlen die Dauerschallpegel kontinuierlich abzusenken. Ein Grund für diesen Erfolg sind unter anderem die lärmbezogenen Start- und Landegebühren. Damit werden Anreize geschaffen, möglichst geräuscharme Flugzeuge mit modernen Triebwerken, verbesserter Aerodynamik und geräuschreduzierender Technik einzusetzen.



Foto: focus finder/stock.adobe.com

| | |
|--|------------|
| 7.1 LÄRM UND SEINE AUSWIRKUNGEN | 144 |
| Was ist Lärm? | 144 |
| Auswirkungen von (zu viel) Lärm | 144 |
| 7.2 LÄRMKARTIERUNG IN BADEN-WÜRTTEMBERG: GRUNDLAGEN UND ERGEBNISSE ZU STRASSEN-, SCHIENEN- UND FLUGLÄRM | 145 |
| Grundlagen | 145 |
| Lärmkarten | 145 |
| Welche Straßen werden von der Lärmkartierung erfasst? | 146 |
| Lärmaktionsplanung | 146 |
| Ursachen des Straßenverkehrslärms | 147 |
| Ergebnisse der Lärmkartierung für Straßenverkehrslärm | 147 |
| Maßnahmen zur Minderung des Straßenverkehrslärms | 148 |
| Ursachen des Schienenverkehrslärms | 149 |
| Ergebnisse der Lärmkartierung für Schienenverkehrslärm | 149 |
| Fluglärm | 150 |
| Fluglärngesetz | 151 |
| Ergebnisse der Lärmkartierung für Fluglärm | 151 |
| 7.3 MESSUNGEN DER LUBW VON VERKEHRSLÄRM | 152 |
| Straßenverkehr | 152 |
| Schieneverkehr | 152 |
| 7.4 WEITERE LÄRMQUELLEN | 153 |
| Anlagenlärm (Industrie, Gewerbe) | 153 |
| Lärm im Wohnumfeld | 154 |
| Lärm in Kindergärten und Schulen | 154 |
| Lärm am Arbeitsplatz | 155 |

7.1 Lärm und seine Auswirkungen

Was ist Lärm?

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. Die Skala in der Tabelle zeigt Pegelwerte ausgewählter Geräuschquellen. Spitzenpegel kurzzeitiger Geräusche erreichen teilweise noch höhere Werte. Neben der Höhe des Schallpegels wirkt sich zusätzlich auch die Dauer der Einwirkung auf den Menschen aus.

| „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 | |
| Kühlschrank | 40 | |
| Flüstern | 30 | |
| Klick einer PC-Maus in 3 m Entfernung | 20 | |
| | 10 | „Stille“ |
| Hörschwelle | 0 | |

Abb. 7.1-1: Schallpegel von typischen Geräuschen in Dezibel (A) [FLEISCHER 2000].

Auswirkungen von (zu viel) Lärm

Hohe Lärmimmissionen haben vielfältige negative Auswirkungen auf die Umwelt und den Menschen. Nachgewiesene Lärmwirkungen auf den Menschen sind beispielsweise Herz-Kreislauf-Erkrankungen, erhöhtes Herzinfarktrisiko, Schlafstörungen, Stress, Nervosität, Lern- und Konzentrationsstörungen.

Um Gesundheitsgefährdungen durch Lärm zu vermeiden, sollten aus Sicht der Lärmwirkungsforschung Lärmindex-Werte von

- am Tag $L_{DEN} > 65 \text{ dB(A)}$,
- in der Nacht $L_{Night} > 55 \text{ dB(A)}$

nicht überschritten werden.

Umfragen des Umweltbundesamts (UBA) zufolge fühlt sich bundesweit weit mehr als die Hälfte der Bevölkerung durch Lärm in ihrer unmittelbaren Umwelt und Nachbarschaft belästigt. 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 hat 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 Gesamtlärmbetrachtung gibt.

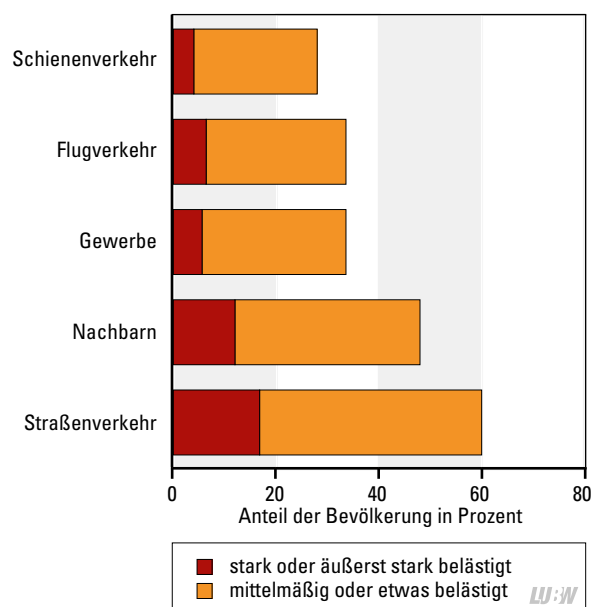


Abb. 7.1-2: Subjektive Belästigung der erwachsenen Bevölkerung durch verschiedene Lärmarten in Deutschland [UBA 2020].

7.2 Lärmkartierung in Baden-Württemberg: Grundlagen und Ergebnisse zu Straßen-, Schienen- und Fluglärm

Grundlagen

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, zum Beispiel bei parallel verlaufenden Straßen und Eisenbahnstrecken, erfolgt nicht. Es werden in den Lärmkarten zwei unterschiedliche Zeiträume betrachtet und für diese die Lärmindizes L_{DEN} und L_{Night} berechnet. Im Unterschied zu einfachen Schallpegelwerten wird bei den Lärmindizes die Lärmbelastung über definierte Zeiträume gemittelt.

Tab. 7.2-1: Lärmindizes L_{DEN} und L_{Night} nach der Umgebungslärmrichtlinie und der 34. Verordnung über die Lärmkartierung (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) |

LUBW

Grundlage der Lärmkartierung und der Lärmaktionsplanung ist die EU-Umgebungslärmrichtlinie (Richtlinie 2002/49/EG), die durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz (§§ 47a-f BImSchG) und die Verordnung über die Lärmkartierung (34. BImSchV) in nationales Recht überführt wurde.

Lärmkarten

Die Lärmkarten stellen die auftretenden Schallimmissionen flächenhaft als farbige Bänder gleicher Schallpegel dar. Die Belastung wird nicht vor Ort gemessen, sondern nach bundesweit einheitlichen Verfahren berechnet. Messungen vor Ort hätten den Nachteil, dass sie nur Momentaufnahmen an einzelnen Messorten ermöglichen und zudem von den jeweils vorherrschenden Randbedingungen wie zeitlichen Schwankungen der Verkehrsstärke und -zusammensetzung sowie Witterungseinflüssen und Hintergrundgeräuschen beeinflusst würden.

In die Berechnungen des Verkehrslärms 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. Zu den Lärmkarten werden auch statistische Angaben über die von Lärm betroffenen Menschen in den kartierten Gebieten ermittelt. Diese Zahlen werden für jede von der Kartierung betroffene Gemeinde einzeln ausgewiesen und veröffentlicht.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen >
Lärm und Erschütterungen >
Lärmkartierung, Lärmaktionsplanung >
Lärmkarten

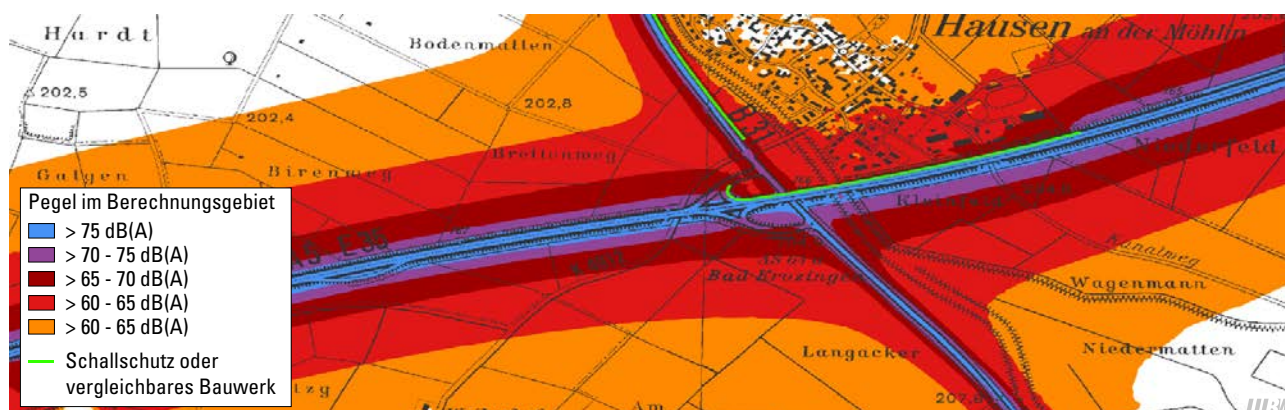


Abb. 7.2-1: Ausschnitt aus einer Lärmkarte: Durchschnittlicher Straßenlärm für einen 24-Stunden-Tag (Kartierung 2017). Quelle LUBW.

Welche Straßen werden von der Lärmkartierung erfasst?

Die Kartierung des Straßenverkehrslärms erfolgt in Ballungsräumen, das sind Städte mit mehr als 100 000 Einwohnerinnen und Einwohnern, sowie an Hauptverkehrsstraßen außerhalb der Ballungsräume. Zu den Hauptverkehrsstraßen zählen definitionsgemäß Autobahnen, Bundes- und Landesstraßen mit mehr als 3 Millionen Kraftfahrzeugen pro Jahr (8200 Kfz pro Tag). Andere Straßen wie Kreis- und Gemeindestraßen fallen nicht unter die Kartierungspflicht. In der Umgebungslärmkartierung 2017 wurden Hauptverkehrsstraßen mit einer Gesamtlänge von rund 5200 km erfasst und Lärmkarten für den Ganztages- und Nachtzeitraum erstellt. Die Ergebnisse sind auf der Internetseite der LUBW veröffentlicht:

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Lärm und Erschütterungen > Lärmkartierung, Lärmaktionsplanung > **Lärmkarten**

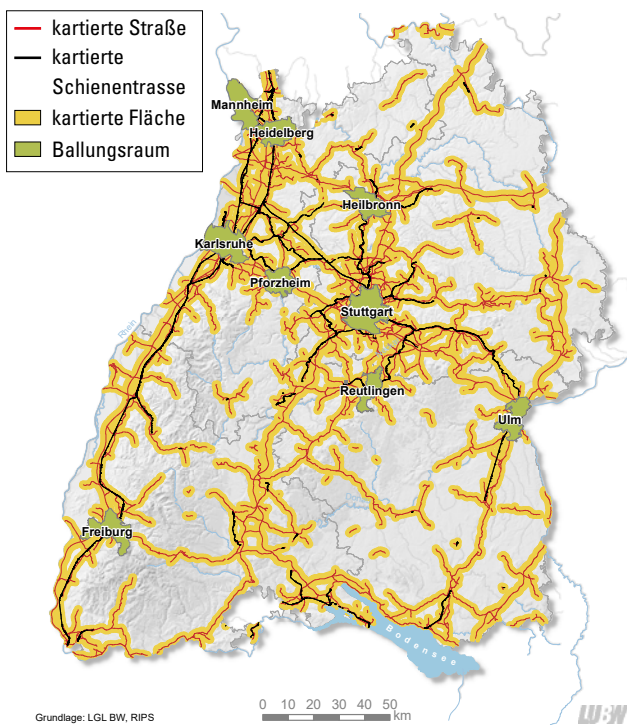


Abb. 7.2-2: Übersicht über die in der Lärmkartierung 2017 kartierten Hauptverkehrsstraßen, Eisenbahnlinien und Ballungsräume. Quelle LUBW, Stand Jan. 2021.

Lärmaktionsplanung

Die Ergebnisse der Lärmkartierung bilden die Grundlage für die Lärmaktionsplanung der Städte und Gemeinden. Für die Lärmaktionsplanung an Haupteisenbahnstrecken des Bundes ist das Eisenbahn-Bundesamt zuständig, für den Lärmaktionsplan des Flughafens Stuttgart das Regierungspräsidium.

Bei der Lärmaktionsplanung werden lärmmentlastende Maßnahmen erarbeitet und in einem Plan verbindlich festgeschrieben.

Das Kernelement eines Lärmaktionsplans ist der Maßnahmenkatalog, in den mögliche Lärminderungsmaßnahmen aufgenommen werden. Dabei ergeben sich zahlreiche Maßnahmenfelder und kommunale Strategien, beispielsweise 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 beziehungsweise fortzuschreiben.

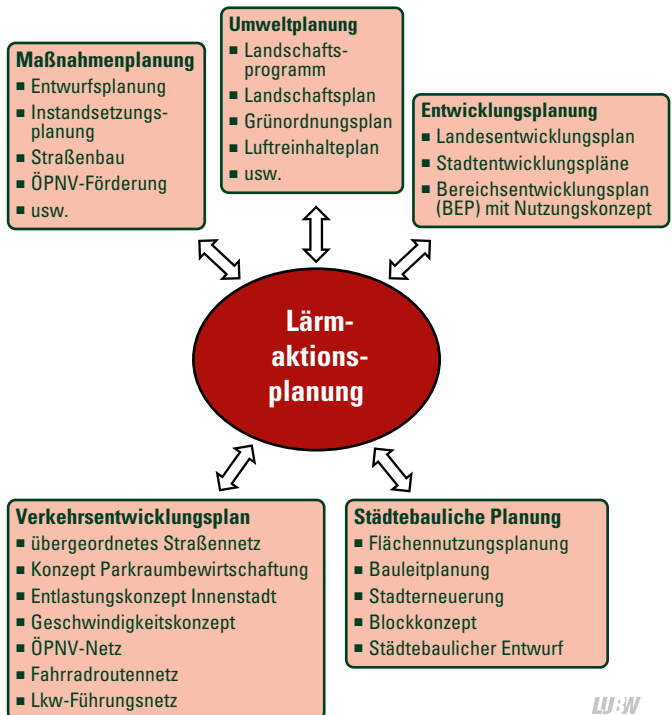


Abb. 7.2-3: Integration der Lärmaktionsplanung in andere raumbezogene Planungen. Quelle PGT Umwelt und Verkehr GmbH.



Ursachen des Straßenverkehrslärms

Die Lärmemissionen von Kraftfahrzeugen im praktischen Fahrbetrieb sind stark von der Fahrweise (niedrig- oder hochtourig) abhängig. Dabei können Unterschiede in der Lärmemission von bis zu 10 Dezibel (A) (dB(A)) auftreten. Das entspricht ungefähr einer Verdoppelung der subjektiv empfundenen Lautstärke. Ein einziger hochtourig gefahrener Pkw kann genauso viel Lärm wie acht normal gefahrene Pkw verursachen. Neben dem Antrieb wird der Schallpegel auch wesentlich vom Reifen-Fahrbahn-Geräusch verursacht. Was jeweils dominiert, hängt stark von der Geschwindigkeit, aber auch von der Fahrzeugart ab. Bei Mopeds und Motorrädern ist das Antriebsgeräusch unabhängig von der Geschwindigkeit stets die dominante Lärmquelle. Bei Pkw ist das Reifen-Fahrbahn-Geräusch bereits ab einer Geschwindigkeit von 30 Kilometer pro Stunde (km/h) und bei schweren Nutzfahrzeugen ab 50 km/h pegelbestimmend.

Reifenhersteller sind seit 2012 verpflichtet, ihre Produkte mit einem sogenannten Reifenlabel zu kennzeichnen. Das Etikett enthält Informationen zum Rollgeräusch und zu weiteren Eigenschaften des Reifens. Vergleiche zwischen verschiedenen Produkten und Herstellern werden dadurch wesentlich erleichtert. Endverbraucher erhalten somit objektive Kriterien für die Reifenwahl.

Lärmminderung durch die Umstellung auf Elektromobilität ist grundsätzlich möglich, jedoch nur in begrenztem Umfang. Bei Elektrofahrzeugen ist eine Minderung des Lärms vorrangig beim Antriebsgeräusch möglich, nicht aber beim Reifen-Fahrbahn-Geräusch.



Abb. 7.2-4: Ausschnitt aus dem seit 1. Mai 2021 geltenden EU-Reifenlabel. An den fettgedruckten Großbuchstaben A, B, oder C und am dB-Wert lässt sich ablesen, wie laut der Reifen ist. A steht für eher leisere, C für lautere Reifen. Foto: D. Kaiser.

Ergebnisse der Lärmkartierung für Straßenverkehrslärm

Eine erhebliche Anzahl von Menschen ist aufgrund des Straßenverkehrs Lärmpegeln über einem L_{DEN} von 65 Dezibel (A) (dB(A)) oder über einem L_{Night} von 55 dB(A) ausgesetzt. 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 aufgrund steigender Verkehrszahlen und höherer Fahrgeschwindigkeiten teilweise wieder aufgehoben.

Tab. 7.2-1: Anzahl der landesweit durch Straßenverkehrslärm belasteten Menschen, zusammengefasst für Hauptverkehrsstraßen und Ballungsräume (auf Hundert gerundet). Basis: Umgebungslärmkartierung 2017. Quelle LUBW, Stand 2019.

| Pegelbereich dB(A) | | belastete Menschen (Straßenlärm) | |
|--|-----|----------------------------------|----------------|
| über | bis | L_{DEN} | L_{Night} |
| 50 | 55 | — | 281 700 |
| 55 | 60 | 409 400 | 167 500 |
| 60 | 65 | 228 700 | 67 600 |
| 65 | 70 | 150 600 | 8 800 |
| 70 | 75 | 58 300 | 300 |
| 75 | | 5 100 | - |
| Summe über $L_{DEN} > 65$ / $L_{Night} > 55$ (Maßnahmenplanung empfohlen): | | 214 000 | 244 300 |
| Summe über $L_{DEN} > 70$ / $L_{Night} > 60$ (vordringlicher Handlungsbedarf): | | 63 400 | 76 800 |
| Summe | | 852 100 | 525 900 |

LUBW

Maßnahmen zur Minderung des Straßenverkehrslärms

Lärmschutzmaßnahmen werden prinzipiell in aktive und passive Maßnahmen unterschieden. Zu den aktiven Lärmschutzmaßnahmen zählen Maßnahmen an der Lärmquelle wie die Errichtung von Wällen, Wänden, Einschnitten und Troglagen, Teil- und Vollabdeckungen sowie Einhausungen und lärmindernde Fahrbahnbeläge. Passiver Lärmschutz reduziert den Lärm am Ort der Einwirkung. Dies lässt sich durch die bauliche Verbesserung von Fenstern, Türen, Rollladenkästen, Wänden, Dächern sowie Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen oder durch den Einbau von Lüftungseinrichtungen erreichen.

Im Rahmen des Programms „Lärmsanierung an Bundesfernstraßen“ können Abschnitte bestehender Straßen saniert werden, wenn der Lärm bestimmte Pegelwerte überschreitet. Seit August 2020 betragen diese sogenannten Auslösewerte in Baden-Württemberg für Bundes- und Landesstraßen zum Beispiel für Wohngebiete 64 Dezibel (A) (dB(A)) tags und/oder 54 dB(A) nachts.

Auf dieser Grundlage wurden in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2019 Lärmschutzwälle und -wände mit einer Gesamtlänge von über 281 Kilometer errichtet [BMVI 2021]. Lärmschutzwälle können die Belastung hinter der Lärmschutzwand im Vergleich zum Pegel vor der Wand um bis zu 15 dB(A) senken.

Die Straßenbauverwaltung des Landes prüft außerdem bei jeder Erhaltungsmaßnahme an Bundes- und Landesstraßen, ob die Voraussetzungen für einen lärmindernden Straßenbelag erfüllt sind. Durch den Einbau lärmindernder Fahrbahnbeläge auf Autobahnen, Bundes- und Landesstraßen konnten im Zeitraum 2016 bis 2020 an mehr als 85 Straßenkilometern Lärmschwerpunkte entschärft werden [VM 2020].

Neben den aktiven können auch passive Lärmschutzmaßnahmen sinnvoll sein, um die Lärmbelastung in Innenräumen zu senken. So kann Lärm von außen durch unzureichend schalldämmte Gebäudeöffnungen eindringen. Die lärmdurchlässigsten Bauteile sind dabei in aller Regel die Fenster. In vielen Fällen bestimmt die Qualität der Fenster die Schalldämmung, also die Differenz zwischen Außen- und Innenlärmpegel. Der Einbau von Lärmschutzfenstern kann in Lärmsanierungsprogrammen gefördert werden, wenn Auslösewerte überschritten werden und weitere (unter anderem technische) Voraussetzungen erfüllt sind.

In Baden-Württemberg wurden als passive Maßnahmen an Gebäuden mit hoher Lärmbelastung an Bundesfernstraßen bis 2019 über 161 400 Quadratmeter Lärmschutzfenster eingesetzt.

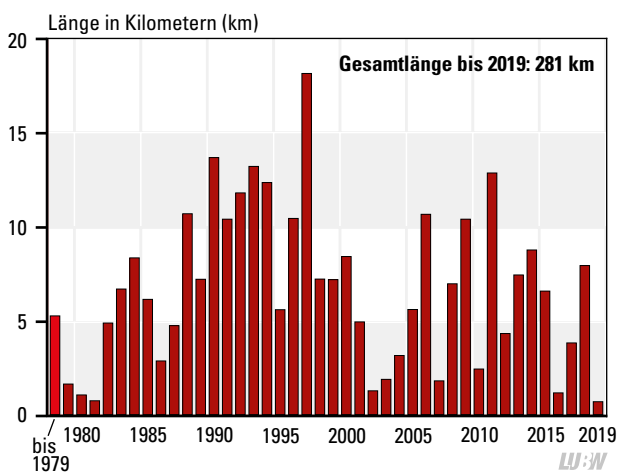


Abb. 7.2-5: Jährlich neu errichtete Lärmschutzwälle, Lärmschutzsteilwände und Lärmschutzwände an Bundesfernstraßen in Baden-Württemberg [BMVI 2021], Stand Jan. 2021.

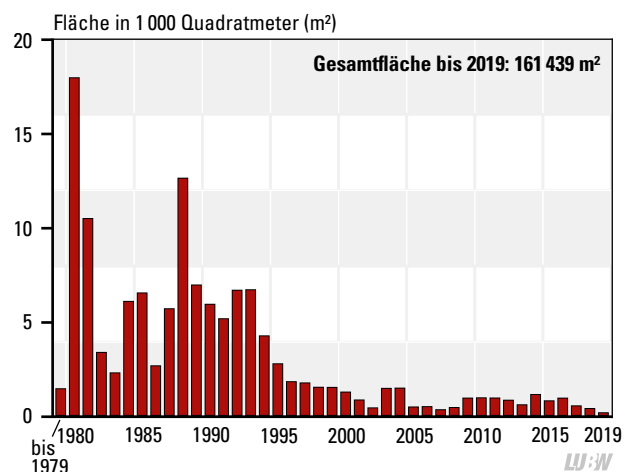


Abb. 7.2-6: Jährlich neu eingebaute Lärmschutzfenster an Bundesfernstraßen in Baden-Württemberg [BMVI 2021], Stand Jan. 2021.

Ursachen des Schienenverkehrslärms

Die Hauptursache von Schienenverkehrslärm ist 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, bei sehr hohen Geschwindigkeiten hingegen aerodynamische Geräusche. 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. Besonders belästigt der Schienenverkehrslärm in den Nachtzeiten und in Form des lautereren Güterverkehrs. Es bestehen noch erhebliche Minderungspotenziale durch Maßnahmen an der Quelle, unter anderem durch die Gleispflege und die technische Umrüstung von Güterwagen. Für die Neuplanung von Bahnstrecken wurde bis Ende 2014 ein „Schienenbonus“ von 5 dB(A) angesetzt, der mit einer geringeren Belästigungswirkung des Schienenverkehrs begründet wurde. Für Bahnstrecken entfiel dieser Bonus am 1. Januar 2015, für Stadt- und Straßenbahnen am 1. Januar 2019. Das Schienenlärmschutzgesetz verbietet seit Ende 2020 den Betrieb lauter Güterzüge auf dem deutschen Schienennetz. Dank der damit verbundenen Flottenerneuerung und Umrüstung von Güterwagen auf lärmärmere Bremstechniken konnten bereits deutliche Verbesserungen beim Lärmschutz zugunsten der Anwohnerinnen und Anwohner von Eisenbahnstrecken erzielt werden.



Abb. 7.2-7: Güterzug mit Lärmschutzwand.
Foto: Deutsche Bahn AG.

Ergebnisse der Lärmkartierung für Schienenverkehrslärm

Von der LUBW werden ausschließlich nicht-bundeseigene Eisenbahnstrecken kartiert. In der Lärmkartierung 2017 waren dies 107 Kilometer (km) teils zweigleisige Strecken. Diese tragen nur zu einem verhältnismäßig geringen Teil zum Schienenlärm 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 Betroffenenzahlen unter den Anwohnerinnen und Anwohnern. Für die in der Umgebungslärmkartierung ermittelte landesweite Lärmbetroffenheit werden die Daten der unterschiedlichen Lärmkartierungen zusammengeführt.

Tab. 7.2-2: Landesweite Lärmbetroffenheit durch Schienenverkehrslärm (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 (inklusive Straßenbahnen) sowie die bundeseigenen Schienenwege aus der Lärmkartierung des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA).

Fluglärm

Der Flugverkehr und der dadurch entstehende Fluglärm werden 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.

Im Einwirkungsbereich des **Flughafens Stuttgart** ist es in den vergangenen 30 Jahren gelungen, trotz höherer Flugzahlen, die Dauerschallpegel kontinuierlich abzusenken. Ein Grund für diesen Erfolg sind unter anderem 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 Abflugverfahren möglich, die Geräuschbelastung zu reduzieren. Im Jahr 2020 ist, bedingt durch die Corona-Pandemie, ein deutlicher Abfall der Anzahl der Flugbewegungen zu erkennen, nachdem diese in den Jahren zuvor leicht angestiegen waren.

Der schweizerische **Flughafen Zürich-Kloten** beeinträchtigt durch seine im südlichen Baden-Württemberg teilweise über deutschem Hoheitsgebiet verlaufenden An- und Abflüge auch die Lebensqualität von Teilen der dort wohnenden Bevölkerung durch Fluglärm. In der etwa 15 Kilometer vom Flughafen entfernten Gemeinde Hohentengen (Landkreis Waldshut) wird eine Fluglärmmessstation betrieben. Im Vergleich zu den Jahren vor 2000 sind die nächtlichen Immissionen deutlich zurückgegangen und bewegen sich seit 2010 zwischen 30 und 35 dB(A). Dieser Trend setzte sich in den vergangenen Jahren fort, sodass die Nachtpegel 2019 nur knapp über 30 dB(A) lagen. Die Tagwerte liegen seit etwa 2000 nahezu unverändert bei etwa 54 dB(A). Deutlich geringere Flugzahlen führten im Jahr 2020 zu entsprechend geringeren Geräuschpegeln.

Der Flugverkehr zählt zu den Lärmquellen, die die Anwohnerinnen und Anwohner stark beeinträchtigen. Insbesondere der nächtliche Fluglärm kann negative gesundheitliche Auswirkungen haben. Regelmäßig aktualisierten Umfragen zufolge fühlen sich bundesweit über 40 % der Bevölkerung durch Fluglärm belästigt, etwa 9 % davon stark oder äußerst stark (vgl. Abb. 7.1-2).

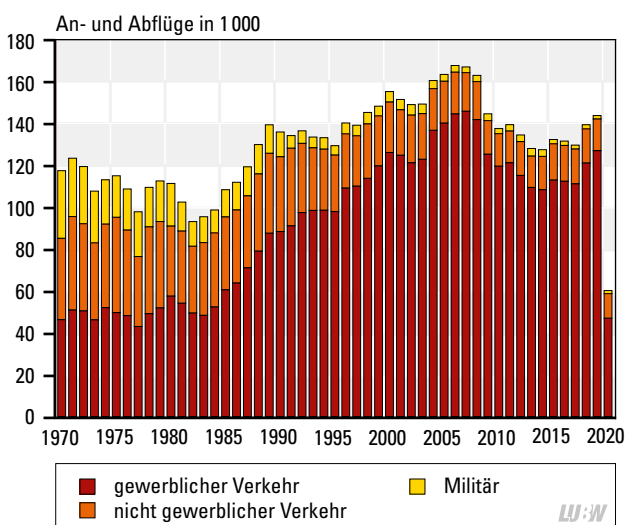


Abb. 7.2-8: Flugbewegungen (An- und Abflüge) am Flughafen Stuttgart. Quelle Statistischer Jahresbericht 2020, Flughafen Stuttgart, Stand Jan. 2021.

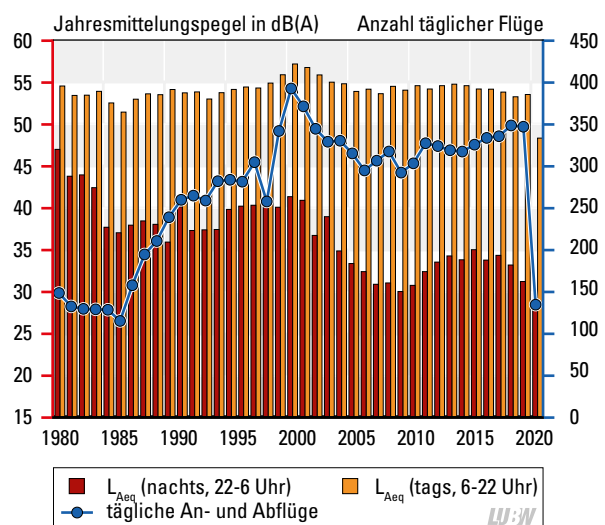


Abb. 7.2-9: Jahresmittelwert L_{Aeq} (energieäquivalenter Mittelwert aus dem zeitlichen Verlauf des Schalldruckpegels) und Mittelwert der täglichen Flugzahlen an der Fluglärmmessstation Hohentengen. Quellen Landkreis Waldshut, Flughafen Zürich, LUBW, Stand Jan. 2021.

Fluglärmgesetz

Auf Grundlage des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (FluLärmG) sind in Baden-Württemberg an den Flughäfen Stuttgart, Karlsruhe/Baden-Baden, Friedrichshafen und Mannheim über Verordnungen der Landesregierung Lärmschutzbereiche festgelegt. Der Lärmschutzbereich ist gegliedert in zwei Tag-Schutzzonen und eine Nacht-Schutzzone. Innerhalb des Lärmschutzbereichs gelten bauliche Nutzungsbeschränkungen und Vorgaben zum baulichen Schallschutz. Die Abbildung zeigt beispielhaft den Lärmschutzbereich am Flughafen Karlsruhe/Baden-Baden. Weitere ausführliche Daten, Diagramme und Informationen zu allen Flughäfen finden sich unter:

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Lärm und Erschütterungen > Lärmarten und Lärmschutz > **Fluglärm**

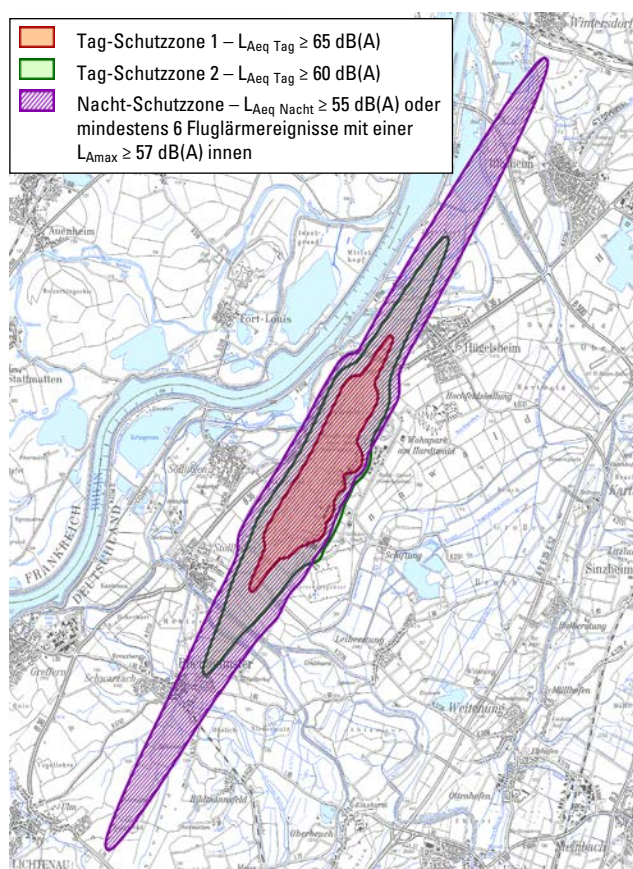


Abb. 7.2-10: Lärmschutzbereich am Flughafen Karlsruhe/Baden-Baden (Baden-Airpark). Quelle LUBW, Stand 2010.

Ergebnisse der Lärmkartierung für Fluglärm

Als einziger Großflughafen im Land erfüllt der Flughafen Stuttgart die für eine Kartierung vorgegebene Mindestzahl von 50000 Flugbewegungen pro Jahr und wurde in der Lärmkartierung 2017 neu kartiert. Im Ballungsraum Mannheim wurde der dortige Verkehrslandeplatz in die Lärmkartierung einbezogen.

Tab. 7.2-3: 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 | – | 1700 |
| 55 | 60 | 31100 | 0 |
| 60 | 65 | 4500 | 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 |

LU:W

7.3 Messungen der LUBW von Verkehrslärm

Straßenverkehr

Im Auftrag des Ministeriums für Verkehr Baden-Württemberg betreibt die LUBW zwei Messstationen für Straßenlärm. Die Messergebnisse werden neben den Jahresberichten online auf der Webseite der LUBW veröffentlicht.

In Karlsruhe werden seit November 2012 und in Reutlingen seit März 2013 kontinuierlich Gesamtgeräuschpegel, Verkehrsdaten und Witterungsbedingungen an jeweils einem Messpunkt aufgezeichnet. Die Messorte in Karlsruhe und Reutlingen liegen an innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen. Die gemessenen Lärmpegel stimmen gut mit den berechneten Werten überein.

In der Reinhold-Frank-Straße in Karlsruhe ist die Lärmbelastung von 2013 bis 2016 aufgrund von Baustellen in der Umgebung der Messstation leicht zurückgegangen. Im Jahr 2017 stiegen die Pegel wieder und blieben seitdem auf unverändertem Niveau. Das pandemiebedingt geringere Verkehrsaufkommen im Jahr 2020 ist an geringeren Mittelungspegeln im Nachtzeitraum erkennbar. Die Lärmpegel an der Station in der Lederstraße in Reutlingen stiegen seit Beginn der Messungen bis 2017 stetig an. Danach sind diese aufgrund von Änderungen in der Verkehrsführung deutlich gesunken. Diese Maßnahmen stehen im direkten Zusammenhang mit der Umsetzung des Luftreinhalteplanes der Stadt Reutlingen.

Im Jahr 2020 wurden weitere Maßnahmen umgesetzt, die gemeinsam mit einer pandemiebedingten Verringerung des Verkehrsaufkommens zu einer weiteren Reduzierung der Geräuschpegel führten.

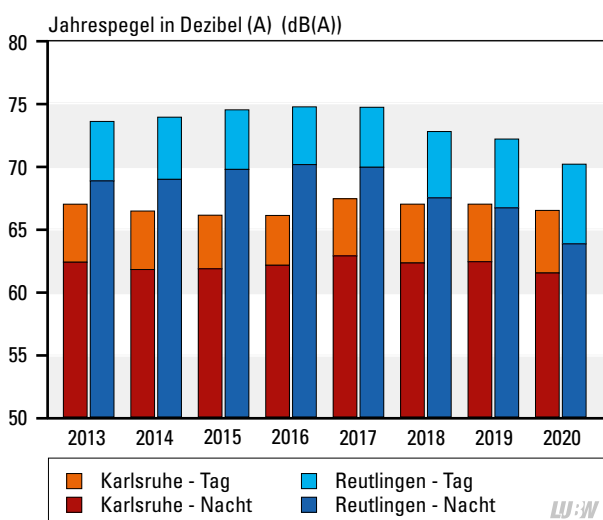


Abb. 7.3-1: Verkehrslärmessstationen Karlsruhe Reinhold-Frank-Straße und Reutlingen Lederstraße: A-Bewertete Jahresmittelungspegel für den Tag und für die Nacht. Quelle LUBW, Stand Jan. 2021.

Schienenverkehr

Die LUBW errichtete im Auftrag des Ministeriums für Verkehr Baden-Württemberg im April 2016 eine Messstation für Schienenlärm an der viergleisigen Rheintalbahn bei Achern-Önsbach. Die Messstation erfasst vollautomatisch und kontinuierlich die Schallemissionen vorbeifahrender Züge. Die Beobachtungen sind langfristig angelegt und ermöglichen es, die Wirkung von Lärmschutzmaßnahmen an den Fahrzeugen oder von Änderungen der Verkehrsmenge zu erkennen.

Seit Beginn der Messungen ist eine Verringerung der Pegel zu erkennen. Die Anzahl der registrierten Durchfahrten blieb dabei bis zum Jahr 2020 nahezu unverändert. Hier zeigt sich der steigende Anteil von Güterwaggons, die mit lärmarmen Bremssohlen ausgestattet sind. Pandemiebedingt war im Jahr 2020 ein verringertes Verkehrsaufkommen zu verzeichnen, das jedoch nur zu einem geringen Anteil zu den deutlich gesunkenen Pegeln beigetragen hat – die Umrüstung von Güterwaggons hatte auch hier maßgeblichen Einfluss. Die Messergebnisse werden online auf der Webseite der LUBW veröffentlicht.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Lärm und Erschütterungen > **Messungen**

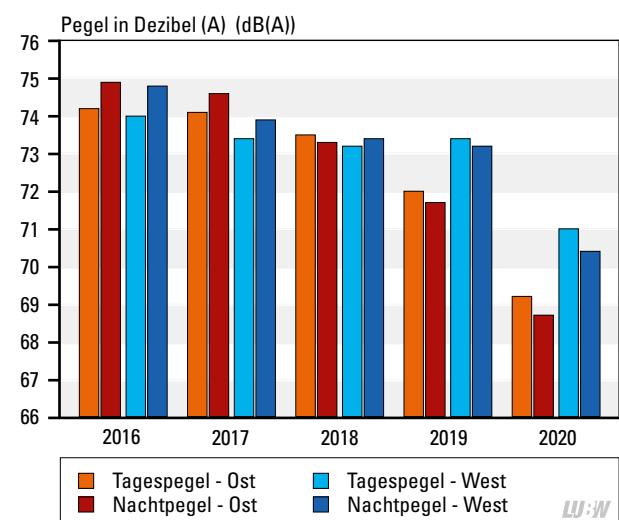


Abb. 7.3-2: Verkehrslärmessstation Achern-Önsbach: A-Bewertete Tag- und Nachtmittelungspegel des Gesamtgeräusches für die Ost- und Westseite der Gleisstrecke. Quelle LUBW, Stand Jan. 2021.



7.4 Weitere Lärmquellen

Anlagenlärm (Industrie, Gewerbe)

Laut einer bundesweiten Umfrage aus dem Jahr 2018 [UBA 2020] fühlen sich 7 % der Bevölkerung durch gewerbliche Lärmquellen „stark“ oder „äußerst stark“ belästigt. Zum Anlagenlärm zählt auch Baulärm, insbesondere wenn Baustellen im Rahmen von Großprojekten über Monate oder Jahre bestehen. Baulärm genießt im Vergleich zu herkömmlichem Gewerbelärm eine Sonderbeurteilung durch die „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm“ (AVV Baulärm) von 1970. Dies ist insbesondere bei kurzfristigen Baustellen sinnvoll, kann aber bei zum Teil mehrjährig betriebenen Bauprojekten aus Sicht des Immissionsschutzes problematisch sein.

Schon seit Jahren ist in Baden-Württemberg wie auch in Deutschland insgesamt in Bezug auf benachbarte Industrie- und Gewerbeanlagen, aber auch auf private Kleinanlagen wie Wärmepumpen eine Betroffenheit wegen tieffrequenter Geräusche zu verzeichnen. Als tieffrequent bezeichnet man Geräusche im Frequenzbereich unter 100 Hertz (Hz). Dabei gibt es einen fließenden Übergang vom Hören, also von den Sinneseindrücken „Lautstärke“ und „Tonhöhe“, hin zum Fühlen. Tieffrequente Geräusche unterhalb der Hörschwelle mit weniger als 20 Hz werden als Infraschall bezeichnet. Dieser ist ein alltäglicher Bestandteil unserer

Umwelt. Natürliche Quellen wie Wind oder Meeresbrandung erzeugen ihn ebenso wie technische Quellen, zum Beispiel Klimaanlagen, oder der Straßen- und Schienenverkehr.

Im Rahmen der Energiewende wird ein deutlicher Ausbau der Windkraftnutzung angestrebt. Von 2010 bis 2020 wurde die Anzahl der Windenergieanlagen in Baden-Württemberg auf über 730 erhöht und damit mehr als verdoppelt. In den Genehmigungsverfahren wird stets auf die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben geachtet. Dennoch werden immer wieder Befürchtungen geäußert, dass tieffrequente Geräusche entstehen, die für Menschen nachteilige Wirkungen haben. Windenergieanlagen emittieren durch die rotierenden Flügel Infraschall. Messungen der LUBW zeigen, dass der Infraschall selbst in der näheren Umgebung einer Windenergieanlage deutlich unterhalb der menschlichen Wahrnehmungsgrenze liegt [LUBW 2016]. Ursprünglich höhere Werte der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe wurden kürzlich korrigiert [BGR 2021]. Sie liegen nun in vergleichbarer Höhe wie die Messwerte der LUBW.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen >
Erneuerbare Energien > Windenergie >
FAQ

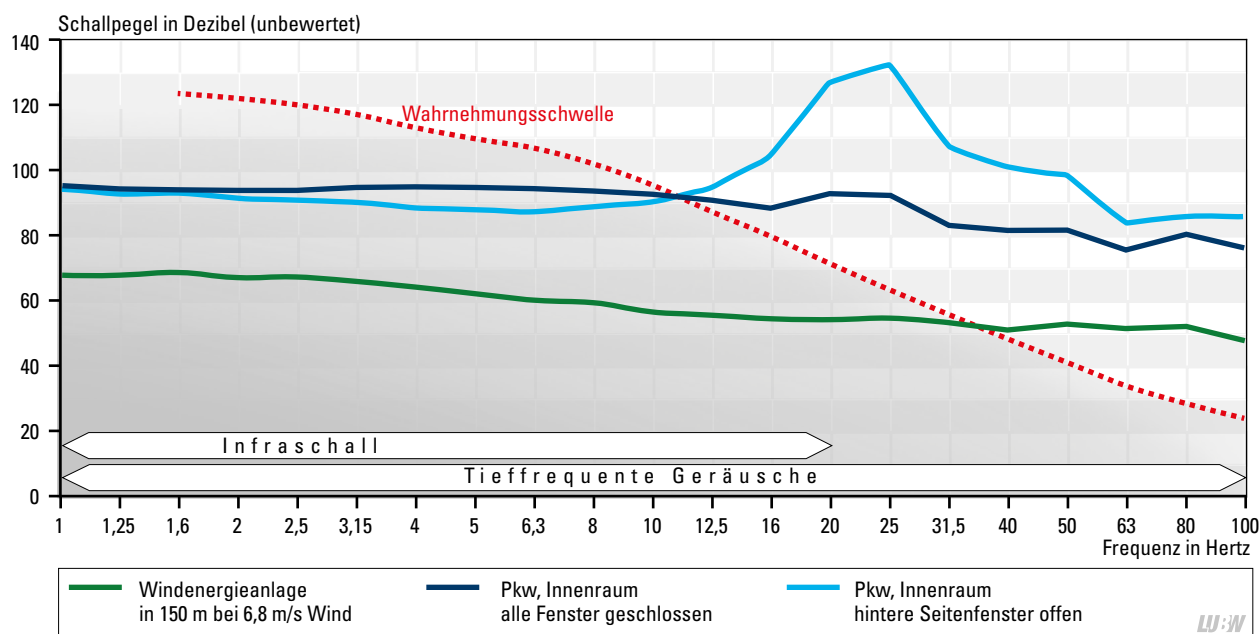


Abb. 7.4-1: Spektrale Verteilung des Schalls zwischen 1 und 100 Hertz (Hz) für verschiedene Situationen. Oben: im Inneren eines schnell fahrenden Pkw bei geöffneten hinteren Seitenfenstern (hellblau); darunter bei geschlossenen Fenstern (dunkelblau). Die grüne Linie zeigt die Einwirkungen einer Windkraftanlage der Leistungsklasse 2 MW in 150 m Abstand bei einer Windgeschwindigkeit von 6,8 m/s. Die rot gepunktete Linie markiert die Wahrnehmungsschwelle. Der Infraschall der Anlage liegt am Messort weit unterhalb dieser Schwelle. Quelle LUBW.

Lärm im Wohnumfeld

Lärmende Nachbarinnen und Nachbarn liegen laut Umfrage des UBA in der Skala der lästigen Lärmquellen auf Platz zwei (Abb. 7.1-2). Auch der Betrieb lärmintensiver Maschinen und Geräte, zum Beispiel 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 anderen technischen Aggregaten zu verzeichnen. Immer mehr Gebäude werden mit Luft-, Wasser- oder Erdwärmepumpen beheizt. Bei nicht fachgerechter Installation solcher Anlagen können tieftönige Geräusche auftreten, die zu Belästigungen führen. Hauptlärmquelle bei Luftwärmepumpen ist der Ventilator. An dessen Schaufeln entstehen Wirbel und Druckschwankungen, die als Luftschall abgestrahlt werden. Die Abstrahlung erfolgt bevorzugt in Richtung der Öffnung. Standort und Ausrichtung von Ventilatoren sollten daher sorgfältig gewählt werden. 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.



Abb. 7.4-2: Luftwärmepumpe vor einem Wohngebäude. Foto: LUBW.

Lärm in Kindergärten und Schulen

Die von Kindergärten und Schulen ausgehenden Geräusche können von Anwohnerinnen und 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, Schülerinnen und Schülern und dem pädagogischen Personal führen und auch die kognitiven Leistungen der Lernenden 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. Das ist 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].

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 auf den Internetseiten der LUBW.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen >
Lärm und Erschütterungen > Lärmarten und
Lärmschutz >
Für Schulen und Kindertagesstätten

Lärm am Arbeitsplatz

Lärm tritt häufig als Begleiterscheinung beruflicher Tätigkeiten auf. Die Auswirkungen auf die Betroffenen können vielfältig sein. Abhängig von der Höhe des Schallpegels kann Lärm am Arbeitsplatz lästig sein. Vor allem bei langjähriger Beanspruchung kann er das Gehör schädigen, die Konzentration und das Leistungsvermögen beeinträchtigen oder die Unfallgefahr erhöhen, wenn zum Beispiel Warnsignale wegen Lärm überhört werden.

Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) geht davon aus, dass in Deutschland etwa vier bis fünf Millionen Beschäftigte an ihrem Arbeitsplatz gesundheitsgefährdender Lärmbelastung ausgesetzt sind. So ist die Lärmschwerhörigkeit nach wie vor die häufigste anerkannte Berufskrankheit. 2019 wurden knapp 7 000 Lärmschwerhörigkeitsfälle von den Unfallversicherungsträgern anerkannt [DGUV 2019].

Allein für Lärmschwerhörigkeit müssen die Unfallversicherungsträger jedes Jahr etwa 170 Millionen Euro an Rentenzahlungen aufbringen. In den Betrieben kontrolliert die staatliche Gewerbeaufsicht zusammen mit den Unfallversicherungsträgern die Einhaltung der gesetzlichen Lärmvorgaben. Die LUBW unterstützt die Gewerbeaufsicht bei der Ermittlung der Lärmexposition von Beschäftigten. Dazu wird der Lärmpegel am Arbeitsplatz messtechnisch erfasst. Im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung wird anschließend der aus den Messgrößen

ermittelte Lärmexpositionspegel mit den Vorgaben aus dem Regelwerk verglichen. Das ist die Grundlage zur Entscheidung über Maßnahmen wie die Kapselung einer lauten Maschine, ein Lärmreduzierungsprogramm oder die Nutzung von Gehörschutz.



Abb. 7.4-3: Gehörschutz mindert die Belastung durch Lärm am Arbeitsplatz. Foto: Getty Images.



8

Kreislaufwirtschaft

Das Wichtigste in Kürze

In Baden-Württemberg ist das **kommunale Abfallaufkommen** zwischen 1990 und 2019 um 60 % 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. Im langjährigen Durchschnitt waren es 349 Kilogramm pro Einwohnerin und Einwohner und Jahr ($\text{kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$). Das Haus- und Sperrmüllaufkommen verringerte sich deutlich von 269 $\text{kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ im Jahr 1990 auf 140 $\text{kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ im Jahr 2019. Gleichzeitig stiegen aber bei den Wertstoffen aus Haushalten wie Papier, Glas, Metallen, Kunststoffen, Holz, Textilien und Verbundstoffen die Sammelmengen von 81 auf 164 $\text{kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ sowie bei den Abfällen aus der Biotonne von 2 auf 51 $\text{kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$. Zwar hat sich die Zusammensetzung des Abfalls verändert, das Ziel einer vermehrten Abfallvermeidung wurde jedoch hier nicht erreicht.

Die Entsorgungswege für die **kommunalen Abfälle** (ohne Baumassenabfälle, Asbest, Problemstoffe und Elektroaltgeräte) haben sich zwischen 1990 und 2019 deutlich verändert. Die abgelagerte kommunale Abfallmenge auf Deponien der Klasse II (ehemals Hausmülldeponien) ist von 5,8 Millionen auf rund 89 000 Tonnen um 98 % zurückgegangen. Seit dem Deponierungsverbot für organikreiche Abfälle im Jahr 2005 wird Restmüll aus Haushalten nahezu ausschließlich den Müllverbrennungsanlagen zugeführt. Die Menge der Wertstoffe, die stofflich verwertet wurden, stieg seit 1990 um 98 % auf nunmehr 1,7 Millionen Tonnen. Die Menge an biologisch behandelten kommunalen Abfällen verdreifachte sich von 419 000 Tonnen im Jahr 1990 auf rund 1,3 Millionen Tonnen im Jahr 2019.

Klärschlämme, die früher vor allem landwirtschaftlich verwertet wurden, wurden im Jahr 2019 bereits zu 99 % thermisch behandelt. Nur noch 0,5 % wurden in der Landwirtschaft verwertet und 0,2 % im Landschaftsbau eingesetzt.

Das Aufkommen an **gefährlichen Abfällen** hat sich in den vergangenen Jahren von 2,6 Millionen Tonnen im Jahr 2011 auf 2,8 Millionen Tonnen im Jahr 2019 erhöht.



Foto: gavran333/stock.adobe.com

| | |
|---|------------|
| 8.1 ABFALLAUFKOMMEN | 158 |
| Gesamtes Abfallaufkommen | 158 |
| Kommunales Abfallaufkommen | 158 |
| Wertstoffe und Restabfall | 159 |
| Gefährliche Abfälle | 159 |
| 8.2 ENTSORGUNG VON ABFÄLLEN | 160 |
| Grundlagen der Abfallentsorgung | 160 |
| Entsorgung kommunaler Abfälle | 160 |
| Entsorgung von Klärschlamm | 161 |
| Entsorgungsanlagen in Baden-Württemberg | 161 |

8.1 Abfallaufkommen

Gesamtes Abfallaufkommen

Das gesamte Abfallaufkommen in Baden-Württemberg betrug im Jahr 2019 rund 50,6 Millionen Tonnen (Mio. t) – bei steigender Bevölkerungsentwicklung. Das Abfallaufkommen liegt in etwa auf demselben Niveau wie im Jahr 2000.

Den größten Anteil haben die Baumassenabfälle (Bodenaushub, Bauschutt, Straßenaufbruch, andere Bau- und Abbruchabfälle) mit rund 40,3 Mio. t beziehungsweise 79,6 % 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. Rund 85 % 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, zum Beispiel in Steinbrüchen, verwertet.

Kommunales Abfallaufkommen

Das kommunale Abfallaufkommen ist in Baden-Württemberg seit 1990 um 60 % zurückgegangen und betrug im Jahr 2019 gut 12,2 Millionen Tonnen (Mio. t). Den größten Anteil haben auch hier die Baumassenabfälle, obwohl sie von über 22,8 Mio. t im Jahr 1990 auf 6,7 Mio. t im Jahr 2019 zurückgegangen sind.

Die kommunalen Baumassenabfälle fallen zum Beispiel bei kleineren Baumaßnahmen an und müssen, wenn eine Verwertung nicht möglich oder wirtschaftlich nicht zumutbar ist, als Abfall zur Beseitigung den kommunalen Entsorgungsträgern (Abfallwirtschaftsbetriebe) überlassen werden. Im Gegensatz dazu werden die bei größeren Baumaßnahmen gewerblich anfallenden, verwertbaren Baumassenabfälle in der Regel 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 Einwohnerin und Einwohner und Jahr (kg/(E·a)) anzugeben.

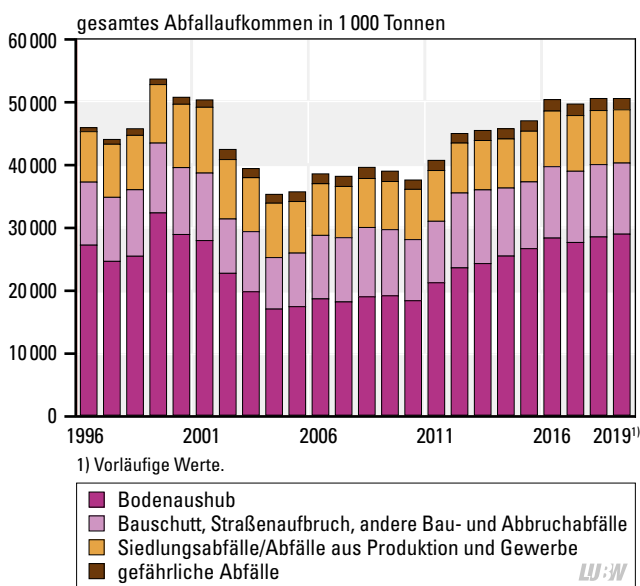


Abb. 8.1-1: Mengenentwicklung des gesamten Abfallaufkommens in Baden-Württemberg. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand Okt. 2020.

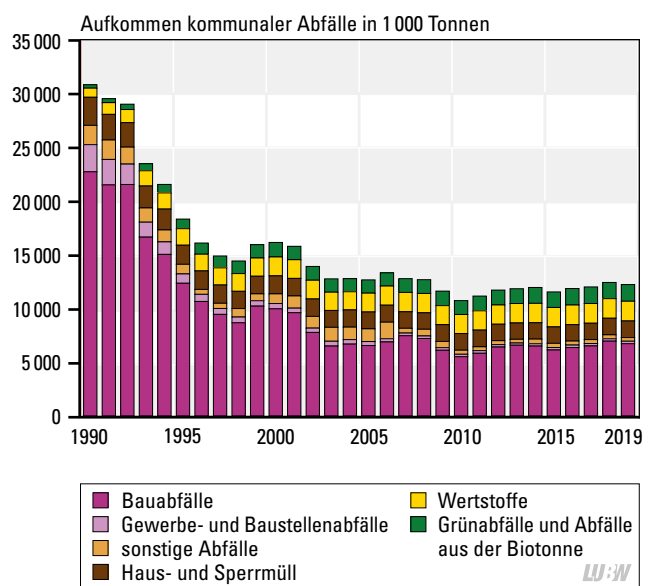


Abb. 8.1-2: Mengenentwicklung des kommunalen Abfallaufkommens in Baden-Württemberg. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand Okt. 2020.

Wertstoffe und Restabfall

In Baden-Württemberg ist das Haus- und Sperrmüllaufkommen (Restabfall) von 269 Kilogramm pro Einwohnerin und Einwohner und Jahr (kg/(E·a)) im Jahr 1990 auf 140 kg/(E·a) im Jahr 2019 zurückgegangen. Herangezogen wird dabei der Einwohnerstand jeweils zum 30. Juni des Jahres. Aufgrund der zunehmenden Getrenntsammlung ist dagegen bei Wertstoffen aus Haushalten und Abfällen aus der Biotonne eine Zunahme pro Person zu verzeichnen. Die gesamte Pro-Kopf-Menge an Haus- und Sperrmüll, Wertstoffen aus Haushalten und Abfällen aus der Biotonne blieb seit 1990 relativ konstant. Im langjährigen Durchschnitt waren es 349 kg/(E·a). Das bedeutet, dass das Ziel einer vermehrten Abfallvermeidung hier nicht erreicht wurde. Im Zeitraum von 1990 bis 2019 stiegen die Mengen bei den getrennt erfassten Wertstoffen aus Haushalten wie Papier, Glas, Metallen, Kunststoffen, Holz, Textilien und Verbundstoffen von 81 auf 164 kg/(E·a) sowie bei den Abfällen aus der Biotonne von 2 auf 51 kg/(E·a). Die Menge der Abfälle aus der Biotonne hat sich von 2015 bis 2019 um 18 % erhöht. Bioabfälle sollen im Sinne der Ressourcenwirtschaft zukünftig in noch größerem Umfang stofflich und energetisch verwertet werden.

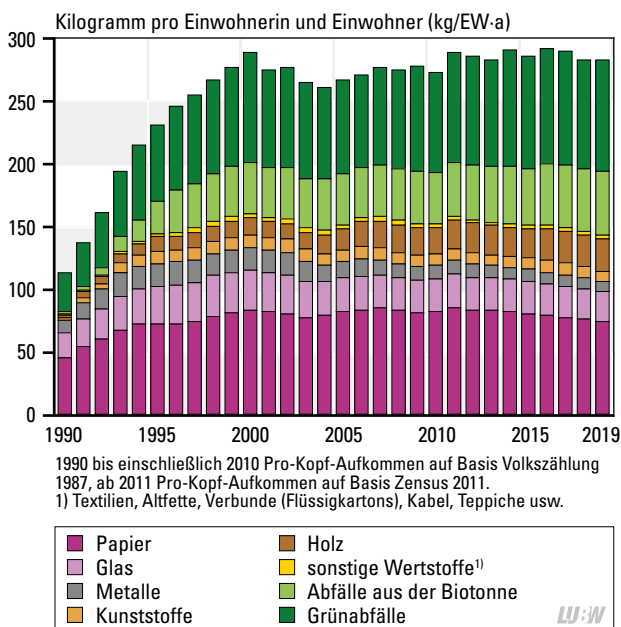


Abb. 8.1-3: Mengenentwicklung von Wertstoffen sowie Abfällen aus der Biotonne und Grünabfällen in Baden-Württemberg. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand Okt. 2020.

Gefährliche Abfälle

Gefährliche Abfälle wie asbesthaltige Abfälle weisen sogenannte Gefährlichkeitsmerkmale auf, die eine potenzielle Gefahr für die Gesundheit und die Umwelt darstellen. Umgangssprachlich werden die gefährlichen Abfälle, die vormals als besonders überwachungspflichtige Abfälle galten, auch als Sonderabfälle bezeichnet. Das gesamte Aufkommen an gefährlichen Abfällen zur Entsorgung (einschließlich der Importe) hat sich in Baden-Württemberg seit 1994 von 0,6 auf rund 2,8 Millionen Tonnen (Mio. t) im Jahr 2019 mehr als vervierfacht.

Die Mengenentwicklung der Sonderabfälle wird von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Sie ist unter anderem von der wirtschaftlichen Entwicklung sowie 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, stellen vermehrt auf externe Entsorgung dieser Abfälle um. Dies führte damals zu einem Anstieg der durch Begleitscheine erfassten Sonderabfallmengen. Dagegen gab es in den vergangenen 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 2019.

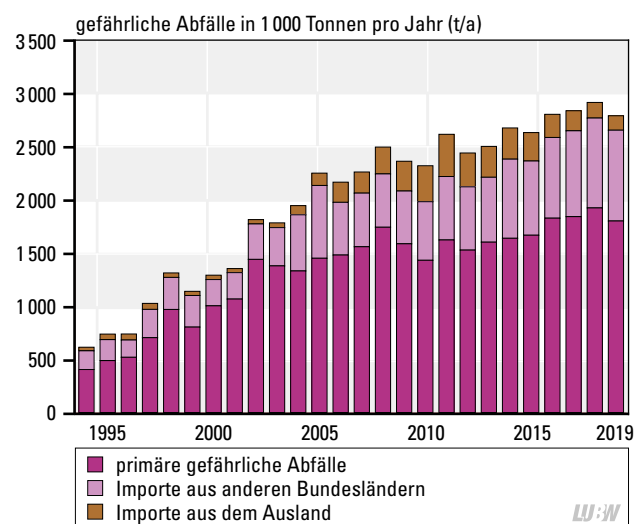


Abb. 8.1-4: Mengenentwicklung der gefährlichen Abfälle in Baden-Württemberg. Quelle SAA Sonderabfallagentur Baden-Württemberg GmbH, Stand Okt. 2020.

8.2 Entsorgung von Abfällen

Grundlagen der Abfallentsorgung

Um Abfälle verwerten zu können, müssen sie in der Regel aufbereitet beziehungsweise behandelt werden. Hierzu steht eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren zur Verfügung:

- mechanische Behandlung, zum Beispiel sortieren, zerlegen, sieben, sichten, zerkleinern,
- biologische Behandlung (kompostieren, vergären),
- chemische und/oder physikalische Behandlung, zum Beispiel Filtration, Destillation, Entwässerung, Fällung, Neutralisation, und
- thermische Behandlung (Abfallverbrennung, Pyrolyse, Vergasung, Mitverbrennung, zum Beispiel in Zementwerken).

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, 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 an das Basisabdichtungssystem gestellt werden. Die ehemaligen Hausmülldeponien wurden der Deponiekategorie II zugeordnet.

Entsorgung kommunaler Abfälle

Die Entsorgungswege für die kommunalen Abfälle (ohne Baumassenabfälle, Asbest, Problemstoffe und Elektroaltgeräte) haben sich zwischen 1990 und 2019 stark verändert. Ein deutlicher Wandel ist vor allem bei der Ablagerung von Abfällen auf Deponien der Deponiekategorie II festzustellen. Von 1990 bis 2019 ging die abgelagerte kommunale Abfallmenge von 5,8 Millionen Tonnen (Mio. t) auf rund 89000 t um 98 % zurück. Im gleichen Zeitraum stieg die Abfallmenge zur stofflichen Verwertung um 75 % und betrug im Jahr 2019 rund 1,8 Mio. t. Dies ist im Wesentlichen dem Inkrafttreten der Verpackungsverordnung im Jahr 1990 geschuldet, mit der die getrennte Sammlung von Verpackungen aus Haushalten verpflichtend wurde. 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 419000 t im Jahr 1990 auf rund 1,3 Mio. t im Jahr 2019 an und hat sich somit verdreifacht. Von den Abfällen aus der Biotonne wurden 48 % in einer Vergärungsanlage behandelt, um Energie in Form von Biogas zu gewinnen, Tendenz steigend. Die Menge der thermisch und mechanisch-biologisch behandelten Abfälle nahm deutlich von 824000 t im Jahr 1990 auf rund 2,2 Mio. t im Jahr 2019 zu. Dieser vor allem seit 2005 zu verzeichnende Anstieg ist auf das seit dem 01.06.2005 geltende Ablagerungsverbot für organikhaltige Abfälle zurückzuführen.

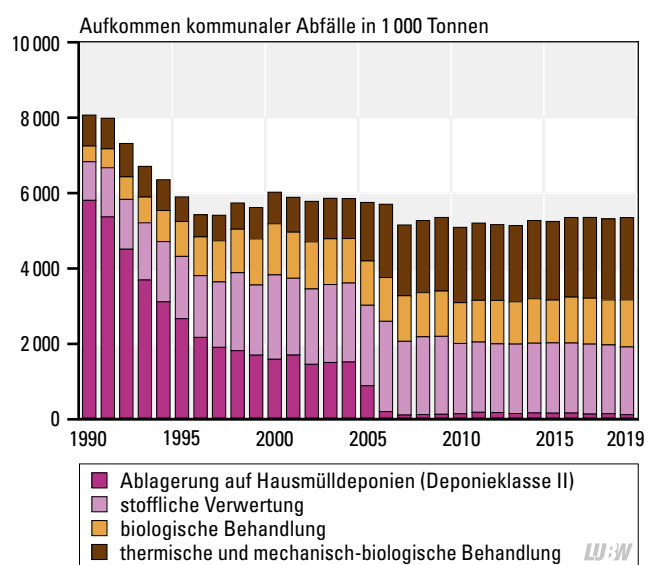


Abb. 8.2-1: Mengenentwicklung des kommunalen Abfallaufkommens (ohne Baumassenabfälle, Problemstoffe, E-Altgeräte/Lampen und seit 2002 ohne asbesthaltige Abfälle) nach Art der Entsorgung. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand Okt. 2020.

Entsorgung von Klärschlamm

Bei der Abwasserreinigung in den rund 900 kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg fielen im Jahr 2019 rund 228 000 Tonnen (t) Klärschlamm (Trockenmasse) an.

Davon wurden rund 226 000 t und damit 99,1 % thermisch behandelt und nur noch rund 2 000 t stofflich verwertet. Die Deponierung von Klärschlamm ist seit dem 01.06.2005 abfallrechtlich nicht mehr zulässig. Nur noch 0,5 % des Klärschlammes wurden im Jahr 2019 in der Landwirtschaft und 0,2 % im Landschaftsbau verwertet. Die restlichen 0,2 % des Klärschlammes wurden einer sonstigen Entsorgung, zum Beispiel Kompostierung, Substratherstellung oder Zwischenlagerung, zugeführt. Dieser Trend zur thermischen Behandlung von Klärschlamm wurde durch das Land schon Ende der 1990er-Jahre eingeleitet.

Entsorgungsanlagen in Baden-Württemberg

In Baden-Württemberg gibt es sechs thermische Restabfallverbrennungsanlagen (Müllverbrennungsanlagen). Die einzige mechanisch-biologische Anlage (MBA) zur Behandlung von Restabfällen wird am Standort der Deponie Kahlenberg im Ortenaukreis betrieben.

Die Zahl der in Betrieb befindlichen Deponien in Baden-Württemberg ist nach dem seit 01.06.2005 geltenden Ablagerungsverbot für organikhaltige Abfälle deutlich zurückgegangen. Von 48 ehemaligen Hausmülldeponien (heute als Deponien der Klasse II bezeichnet) im Jahr 2001 wurden im Jahr 2019 nur noch 22 als Deponien mit Deponieabschnitten der Deponieklasse II betrieben.

Zur Ablagerung von Abfällen gibt es außerdem drei Versatzbergwerke sowie für Sonderabfälle eine oberirdische Sonderabfalldeponie (Deponieklasse III) in Billigheim im Neckar-Odenwald-Kreis und eine Untertagedeponie (Deponieklasse IV) in Heilbronn.

Im interaktiven Internetportal UDO (Umwelt-Daten und -Karten Online) der LUBW sind alle Deponien mit Angabe der Deponieklasse, des Betriebszustands und der zuständigen Behörde flächenhaft dargestellt.

<https://udo.baden-wuerttemberg.de>

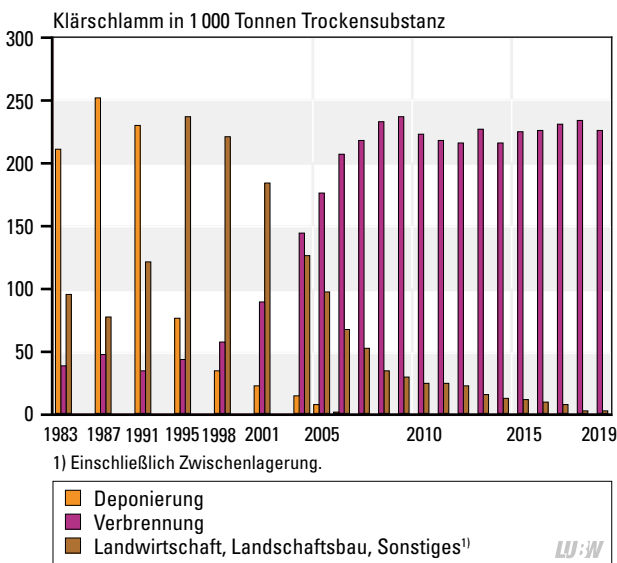


Abb. 8.2-2: Klärschlamm Entsorgung in Baden-Württemberg seit 1983. Quelle 1983 bis 2001 Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, ab 2004 LUBW, Stand Okt. 2020.

Tab. 8.2-1: Im Jahr 2019 in der Betriebsphase befindliche Deponien in Baden-Württemberg. Quelle Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stand Okt. 2020.

| Deponieklasse | Anzahl Deponien ¹⁾ |
|---------------|----------------------------------|
| 0 | 270 (davon 212 als DK „-0,5“) |
| I | 14 |
| II | 23 ²⁾ |

1) Mehrfachnennungen möglich: Deponien mit mehreren Deponieabschnitten erscheinen einmal je Deponieklasse.
2) Einschließlich einer betriebseigenen Deponie.

LUBW



9 Radioaktivität

Das Wichtigste in Kürze

Die auf **Kernkraftwerke bezogene Überwachung der Radioaktivität** in Baden-Württemberg umfasst Emissionsmessungen der Betriebe und Immissionsmessungen durch die LUBW.

In den Immissionsmessergebnissen spiegeln sich die langlebigen Nuklide der früheren oberirdischen Kernwaffenversuche in den 1960er-Jahren und des Reaktorunfalls von Tschernobyl im Jahr 1986 nur noch schwach wider. Die Havarie mehrerer Blöcke des japanischen Kernkraftwerks Fukushima Daiichi im Jahr 2011 führte in Deutschland zu keiner nachweisbaren Strahlenbelastung für die Bevölkerung. In Einzelfällen waren Spuren der zulässigen Ableitungen aus dem Betrieb der baden-württembergischen und grenznahen französischen und schweizerischen 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 Bevölkerung in Baden-Württemberg kann aufgrund der ermittelten Radioaktivitätsgehalte in den überwachten Medien eine unzulässige Strahlenbelastung durch den Betrieb der überwachten kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Für die **Strahlenbelastung der Menschen** spielt die Röntgendiagnostik eine weitaus größere Rolle als Emissionen von kerntechnischen Einrichtungen.



Foto: Henry Schmitt/stock.adobe.com

9.1 ANLAGENBEZOGENE IMMISSIONSÜBERWACHUNG 164

WAS IST RADIOAKTIVITÄT? 165

9.2 ANLAGENBEZOGENE EMISSIONSÜBERWACHUNG 166

| | |
|--|-----|
| Emissionen kerntechnischer Anlagen | 166 |
| Abgaben mit der Abluft: Edelgasisotope | 166 |
| Weitere Abgaben mit der Abluft | 167 |
| Abgaben mit dem Abwasser | 167 |

9.3 UMWELTBEZOGENE IMMISSIONSÜBERWACHUNG 168

| | |
|-----------------------------|-----|
| Wasser | 168 |
| Boden | 168 |
| Luft | 169 |
| Nahrungsmittel | 169 |
| Cäsium-137 in Lebensmitteln | 170 |

9.4 STRAHLENEXPOSITION DES MENSCHEN 171

| | |
|---------------------------------------|-----|
| Radioaktivität im menschlichen Körper | 171 |
| Strahlenexposition der Bevölkerung | 171 |
| Strahlenexposition durch Radon | 172 |
| Radonvorsorgegebiete | 172 |
| Berufliche Strahlenexposition | 173 |

9.1 Anlagenbezogene Immissionsüberwachung

Die Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen umfasst die Messung

- der Gamma-Ortsdosis,
- der Aerosole und
- des Niederschlags

in deren Umgebung. Außerdem werden alle relevanten Umweltmedien untersucht:

- Boden,
- Bewuchs,
- pflanzliche Nahrungsmittel,
- Milch und Milchprodukte,
- Oberflächenwasser,
- Sedimente,
- Fische und
- Trinkwasser.

Je nach Medium werden die Proben ganzjährig oder saisonabhängig genommen. Regionale Besonderheiten, beispielsweise der Weinbau, werden dabei berücksichtigt.

In den Messergebnissen spiegeln sich noch schwach die langlebigen Nuklide der früheren oberirdischen Kernwaffenversuche und des Reaktorunfalls von Tschernobyl im Jahr 1986 wider.

In Einzelfällen sind Spuren der zulässigen Ableitungen aus dem Betrieb der Anlagen im aquatischen Bereich nachweisbar. Höhere Werte als die zur Ableitung zulässige Aktivität werden 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“.

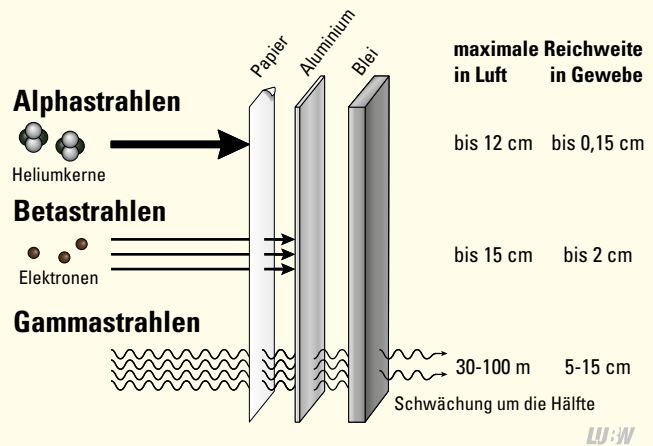
www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen >
Radioaktivität >
Anlagenüberwachung

Tab. 9.1-1: Kerntechnische Anlagen und Einrichtungen in Baden-Württemberg und im nahen Ausland.

| Standort | Block/Kürzel | Name | Reaktortyp/Einrichtung | In Betrieb seit | Betriebsende |
|--------------------------|--------------|---|---|-----------------|--------------|
| Neckarwestheim | GKN I | Kernkraftwerk | Druckwasserreaktor | 01.12.1976 | 06.08.2011 |
| Neckarwestheim | GKN II | Neckarwestheim I / II | Druckwasserreaktor | 15.04.1989 | 31.12.2022 |
| Philippsburg | KKP 1 | Kernkraftwerk | Siedewasserreaktor | 26.03.1980 | 06.08.2011 |
| Philippsburg | KKP 2 | Philippsburg 1 / 2 | Druckwasserreaktor | 18.04.1985 | 31.12.2019 |
| Obrigheim | KWO | Kernkraftwerk Obrigheim | Druckwasserreaktor | 31.03.1969 | 11.05.2005 |
| Eggenstein-Leopoldshafen | KIT-CN | Karlsruher Institut für Technologie – Campus Nord | Forschungseinrichtungen des KIT, Joint Research Center JRC, Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe KTE | 1956 | |
| Leibstadt | KKL | Kernkraftwerk Leibstadt | Siedewasserreaktor | 15.12.1984 | |
| Beznau | KKB 1 | Kernkraftwerk | Druckwasserreaktor | 09.12.1969 | |
| Beznau | KKB 2 | Beznau 1 / 2 | Druckwasserreaktor | 04.03.1972 | |
| Fessenheim | FSH 1 | Kernkraftwerk | Druckwasserreaktor | 01.01.1978 | 22.02.2020 |
| Fessenheim | FSH 2 | Fessenheim 1 / 2 | Druckwasserreaktor | 01.04.1978 | 30.06.2020 |

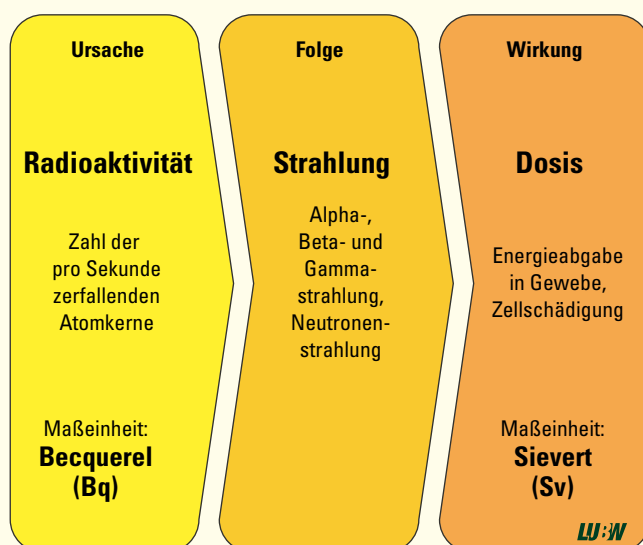
Was ist Radioaktivität?

Auf der Erde vorkommende chemische Elemente weisen zu einem kleinen Anteil instabile Atomkerne auf. Diese Radionuklide mit instabilem Atomkern zerfallen radioaktiv und senden hierbei energiereiche Strahlung (Alpha-, Beta- und Gammastrahlen) aus. Charakteristische Größen der Strahlung sind die **Strahlenart** und die **Halbwertszeit**, nach der die Hälfte der Radionuklide zerfallen sind. Die Einheit Becquerel (Bq) gibt die Anzahl an radioaktiven Zerfällen pro Sekunde an.



Einige **natürlich vorkommende Radionuklide**, zum Beispiel 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. Zudem werden durch Wechselwirkung von kosmischer Strahlung mit der uns umgebenden Luft Radionuklide wie Krypton-85, Beryllium-7 oder Tritium ständig neu erzeugt. Durch eine Aufnahme von natürlichen Radionukliden mit der Atemluft oder der Nahrung kommt es neben der äußeren auch zu einer inneren Strahlenexposition des Menschen.

Von den **künstlich erzeugten Radionukliden** haben nur wenige mit langen Halbwertszeiten oder hoher Radiotoxizität für die Belastung von Mensch und Umwelt praktische Bedeutung. Spalt-, Folge- und Aktivierungsprodukte werden beim Betrieb von Kernreaktoren gebildet. Spaltprodukte wie Cäsium-137 oder Strontium-90 bilden sich bei der Spaltung von Uran-235. Folgeprodukte entstehen durch weiteren Zerfall dieser Spaltprodukte. Aktivierungsprodukte wie Kobalt-60 bilden sich aus inaktiviertem Material durch Neutroneneinfang.



Entscheidend für den **Strahlenschutz** des Menschen ist die **biologische Wirkung**, die ionisierende Strahlung in einem Organismus hervorruft. Diese Wirkung ist gewebeabhängig und wird als Dosis bezeichnet. Um die verschiedenen Einwirkungsmöglichkeiten, zum Beispiel Ganz- oder nur Teilkörperbestrahlung, äußere oder innere Exposition oder die Wirkungsunterschiede zwischen den Strahlungsarten, vergleichbar zu machen, wird sie als „effektive Dosis“ gemessen und in Sievert (Sv), Millisievert (mSv) oder Mikrosievert (µSv) angegeben.

9.2 Anlagenbezogene Emissionsüberwachung

Emissionen kerntechnischer Anlagen

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.

Für die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen sind die Vorgaben des Strahlenschutzgesetzes und der Strahlenschutzverordnung einzuhalten. Demnach darf für eine Einzelperson der Bevölkerung die effektive Dosis aus dem Betrieb kerntechnischer Anlagen nicht größer als 1 Millisievert (mSv) im Kalenderjahr sein. Dieser Grenzwert gilt für die Summe der Strahlenexpositionen aus Direktstrahlung und der Strahlenexpositionen aus Ableitungen kerntechnischer Anlagen. Die Strahlenbelastung aus einer einzelnen Anlage über die Belastungspfade Abwasser und Abluft darf jeweils den Wert von 0,3 mSv pro Jahr nicht überschreiten. Bei der Bestimmung der zulässigen Ableitungswerte der verschiedenen Expositionspfade wird Sorge getragen, dass die Strahlenexposition einer Referenzperson auch unter ungünstigsten Umständen unterhalb dieser Grenzwerte bleibt.

Die tatsächlichen Ableitungen liegen weit unterhalb der zulässigen Werte. Die durch die Ableitungen bedingte Strahlenexposition der Bevölkerung liegt mit weniger als 0,01 mSv/a im Bereich weniger Promille der mittleren Strahlenexposition des Menschen von 2 bis 4 mSv/a.

Die abgeleiteten Aktivitätsmengen werden kontrolliert und nach Nuklidgruppen getrennt bilanziert. Die Anlagen und die Standorte werden auch nach Ende des Leistungsbetriebs weiter überwacht.

Aktuelle Daten der Ableitungen für die Kernkraftwerke Neckarwestheim und Philippsburg sind auf der Internetseite der LUBW unter dem Reiter „Diagramm“ zu finden.

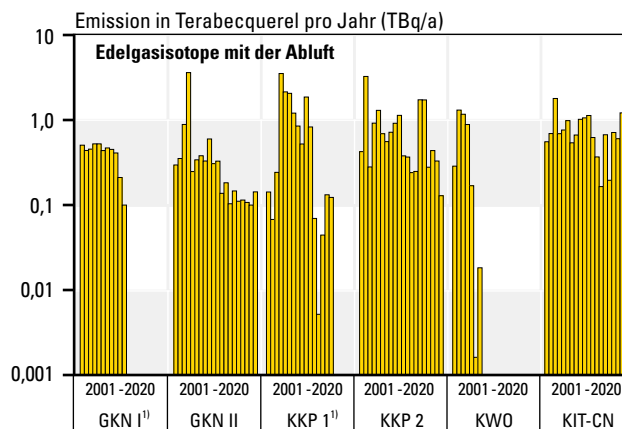
www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Radioaktivität > Messwerte und Ergebnisse > Anlagenstatus

Abgaben mit der Abluft: Edelgasisotope

Bei kerntechnischen Anlagen wird die gesamte fortzuleitende Abluft über den Kamin abgeleitet und überwacht.

Bei Kernkraftwerken setzen sich die Edelgasemissionen vorwiegend aus den kurzlebigen radioaktiven Isotopen der Edelgase Xenon und Krypton zusammen. Die Edelgasemissionen spiegeln sowohl die leistungsabhängige Bildung von Edelgasen als auch die Dichtheit der Brennelementhüllen beim Betrieb von Kernkraftwerken wider. Auch Anlagen, die stillgelegt wurden, können noch Edelgase abgeben, solange nicht alle Brennelemente entladen und abtransportiert sind oder sie noch nicht völlig frei von Kernbrennstoffen sind.

Die durch diese künstlich erzeugten radioaktiven Edelgase verursachte durchschnittliche effektive Strahlenbelastung ist sehr gering. Sie liegt selbst im nahen Umfeld eines Kernkraftwerkes um etwa drei Größenordnungen unter der Strahlenbelastung, die durch das natürliche radioaktive Edelgas Radon bedingt ist.



¹⁾ Mit Inkrafttreten der 13. Atomgesetznovelle am 06.08.2011 ist die Berechtigung zum Leistungsbetrieb erloschen.

GKN: Kernkraftwerk Neckarwestheim; KKP: Kraftwerk Philippsburg, Kraftwerk Obrigheim; KIT-CN: Karlsruher Institut für Technologie, Campus Nord.

Abb. 9.2-1: Emissionen radioaktiver Edelgasisotope mit der Abluft. Quelle IMIS, Betreiberdaten, Stand Apr. 2021.

Weitere Abgaben mit der Abluft

Emissionen von beta- und gammastrahlenden Aerosolen enthalten Spaltprodukte wie Cäsium-137 und Strontium-90 oder Aktivierungsprodukte wie Kobalt-60. Diese treten bei Kernkraftwerken im Leistungsbetrieb vorwiegend während der Revision (Instandhaltung und Wartung), bei Kernkraftwerken im Abbau bei der Zerlegung von Systemen in den Kontrollbereichen und bei der Abfallbehandlung auf. Beim KIT-CN (Forschungseinrichtung des KIT) entstehen sie beim Betrieb der Abfallbehandlungsanlagen, bei der Stilllegung von Kontrollbereichen und von Anlagen aus der Wiederaufarbeitung. Tritium, das schwerste Wasserstoffisotop, entsteht bei Kernreaktoren im Kühlwasser und in geringer Menge im Brennstoff. Es wird in Form von überschwerem Wasser mit dem Abwasser und gasförmig abgegeben. Siedewasserreaktoren wie das Kernkraftwerk Philippsburg 1 (KKP 1) geben typbedingt weniger Tritium ab als Druckwasserreaktoren.

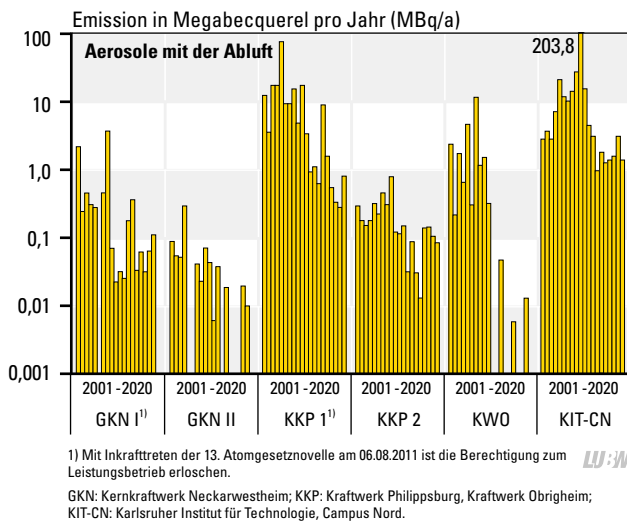


Abb. 9.2-2: Emissionen beta- und gammastrahlender Aerosole mit der Abluft. Quelle IMIS, Betreiberdaten, Stand Apr. 2021.

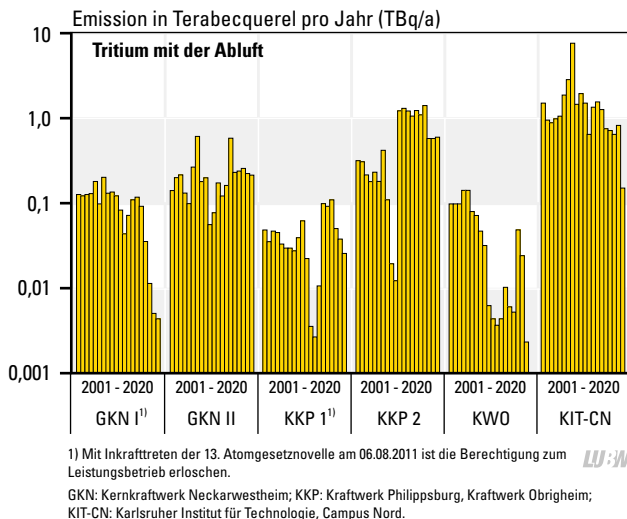


Abb. 9.2-3: Tritiumemissionen mit der Abluft. Quelle IMIS, Betreiberdaten, Stand Apr. 2021.

Abgaben mit dem Abwasser

Bei Spaltvorgängen im Kernbrennstoff und durch Aktivierung von Wand- und Strukturmaterialien entstehen beta- und gammastrahlende Radionuklide. Diese können bei defekten Brennstabhüllrohren und durch Materialabtrag in das Wasser des Primärkreislaufes und von dort in Spuren nach außen dringen. Das Auftreten künstlicher Radionuklide im Abwasser hängt von der Dichtheit der Umhüllung der Brennstäbe und der Leistungsfähigkeit der Wasserreinigungsanlagen ab.

Tritium entsteht in Druckwasserreaktoren vorwiegend aus dem zur Neutronenabsorption verwendeten Bor-10-Isotop, das dem Kühlwasser in Form von Borsäure zugesetzt wird. Tritium ist das im Abwasserpfad am häufigsten nachgewiesene künstliche Radionuklid.

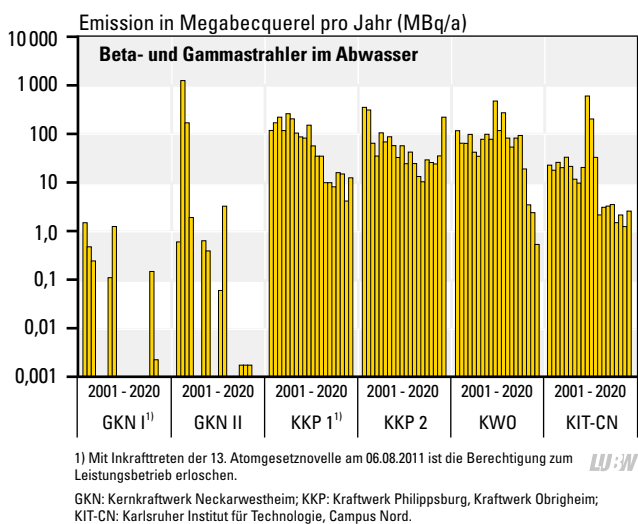


Abb. 9.2-4: Emissionen von Beta- und Gammastrahlern mit dem Abwasser. Quelle IMIS, Betreiberdaten, Stand Apr. 2021.

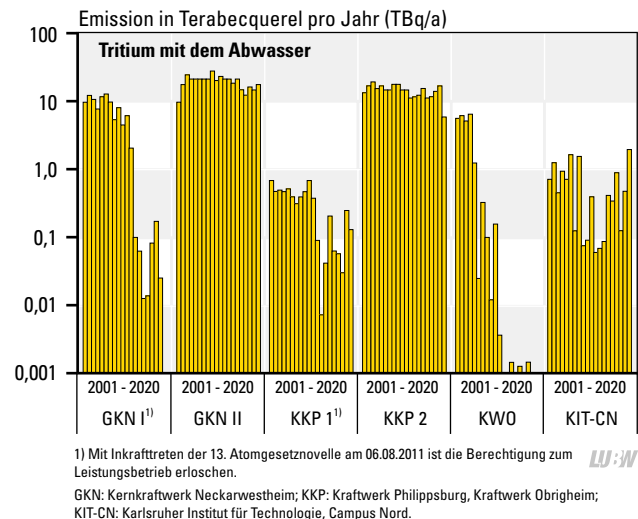


Abb. 9.2-5: Tritiumemissionen mit dem Abwasser. Quelle IMIS, Betreiberdaten, Stand Apr. 2021.

9.3 Umweltbezogene Immissionsüberwachung

Wasser

In allen Wasserproben sind stets Spuren von Tritium enthalten. Es entsteht auf natürlichem Weg durch die kosmische Höhenstrahlung und künstlich durch technische Prozesse. Ohne Einfluss des Menschen läge der Tritiumgehalt im Wasser bei unter 1 Becquerel pro Liter (Bq/l). Aufgrund der früheren Kernwaffentests liegt der Tritiumgehalt oberflächennaher Gewässer bei etwa 2 bis 4 Bq/l.

Bäche und Flüsse transportieren Schwebstoffe, an denen sich radioaktive Stoffe anlagern können und die als Sedimente abgelagert werden. In diesen kann Cäsium-137 aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl gefunden werden.

In den stromabwärts von kerntechnischen Anlagen gelegenen Flussabschnitten können ebenfalls künstliche Radionuklide in den Sedimenten nachgewiesen werden. Für den Untersuchungszeitraum 2018 bis 2020

- wurde für Cäsium-134 die Nachweisgrenze bei allen Proben unterschritten,
- konnte Kobalt-60 in den meisten Fällen nicht nachgewiesen werden,
- konnten im Trinkwasser keine künstlichen beta- oder gammastrahlenden radioaktiven Inhaltsstoffe oberhalb der Nachweisgrenze nachgewiesen werden,
- wird Jod-131 nur vereinzelt mit Werten zwischen 1 bis 124 Becquerel pro Kilogramm Trockenmasse (Bq/kg TM) nachgewiesen, teilweise bedingt durch die Nuklearmedizin. Im Vergleich dazu findet man das natürliche Kalium-40 regelmäßig in Konzentrationen von mehreren Hundert Bq/kg TM.

Die Strahlenbelastung durch natürliche Radionuklide wie Kalium-40, Radium-226 oder Tritium im Trinkwasser beträgt in Deutschland durchschnittlich 0,01 Millisievert pro Jahr (mSv/a), wobei die Trinkwasserverordnung die Einhaltung eines Dosisgrenzwertes von maximal 0,1 mSv/a infolge des Trinkwasserkonsums vorschreibt [UA-BW 2019, BfS 2020-1]. Der Gehalt an natürlich vorkommendem Uran im Trinkwasser ist auf 10 Mikrogramm pro Liter begrenzt. Er wird nicht als Aktivitätswert, sondern als Massenkonzentration angegeben, da die Radiotoxizität (Schädigung durch Strahlung) des Urans von untergeordneter Bedeutung gegenüber der chemischen Toxizität als Schwermetall ist. Eine aktuelle Studie zu „Radionuklidgehalte in Trinkwasser“ ist vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) mit einer Laufzeit bis August 2022 in Bearbeitung.

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) in den durch den radioaktiven Niederschlag betroffenen Regionen in Baden-Württemberg bis 2021 erst auf rund 45 % des Ausgangswertes von 1986 zurückgegangen. Insbesondere in Bayern und im südlichen und südöstlichen Baden-Württemberg wiesen die Böden auch 2020 noch regional höhere spezifische Cäsiumaktivitätswerte auf. Innerhalb von Baden-Württemberg streuen sie 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 immer für Waldpflanzen wie Farne, Brombeeren oder Pilze verfügbar.

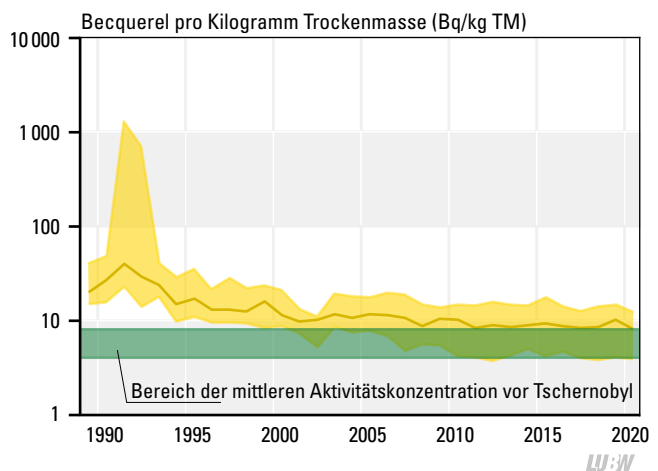


Abb. 9.3-1: Mittlere Aktivitätskonzentration an Cäsium-137 im Boden in Baden-Württemberg seit 1989 bis 2020. Gesamtzahl der Messungen: 1414. Quelle Bundesamt für Strahlenschutz, Stand Jan. 2021.

Luft

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. In den vergangenen 50 Jahren erhöhte sich das langfristig gemessene Jahresmittel der Krypton-85-Aktivität in unseren Breitengraden. 1973 betrug diese etwa noch 0,6 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m³) und stieg bis 2009 auf über 1,39 Bq/m³ an. Aktuell beträgt die in Deutschland gemessene Krypton-85-Aktivität etwa 1,45 Bq/m³ (Stand 2019) [BOLLHÖFER 2019]. Dies entspricht dem global beobachteten Trend und zeigt, dass die Freisetzungsrate für Krypton-85 weltweit größer ist als seine radioaktive Zerfallsrate und daher zu großen Teilen anthropogenen Ursprung hat.

Radiologisch sind Krypton-85 und Xenon-133 in den beobachteten Aktivitätskonzentrationen ohne Bedeutung. Luftgetragene, nicht gasförmige radioaktive Stoffe werden mit Niederschlägen in den Boden eingetragen und dort entweder eingelagert, von der Vegetation aufgenommen oder mit Grund- oder Oberflächenwasser abgeführt.

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 Becquerel (Bq) Cäsium-137 über Lebensmittel bei Erwachsenen einer Strahlenexposition von etwa 1 Millisievert (mSv) entspricht. Die Strahlenexposition durch den Verzehr von Nahrungsmitteln hängt aber 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.

Da Cäsium-137 als Folge früherer Kernwaffentests und des Reaktorunfalls in Tschernobyl noch in Waldböden vorhanden ist, zeigen Pilze und Wildfleisch höhere Cäsium-137-Gehalte als die übrigen landwirtschaftlichen Produkte.

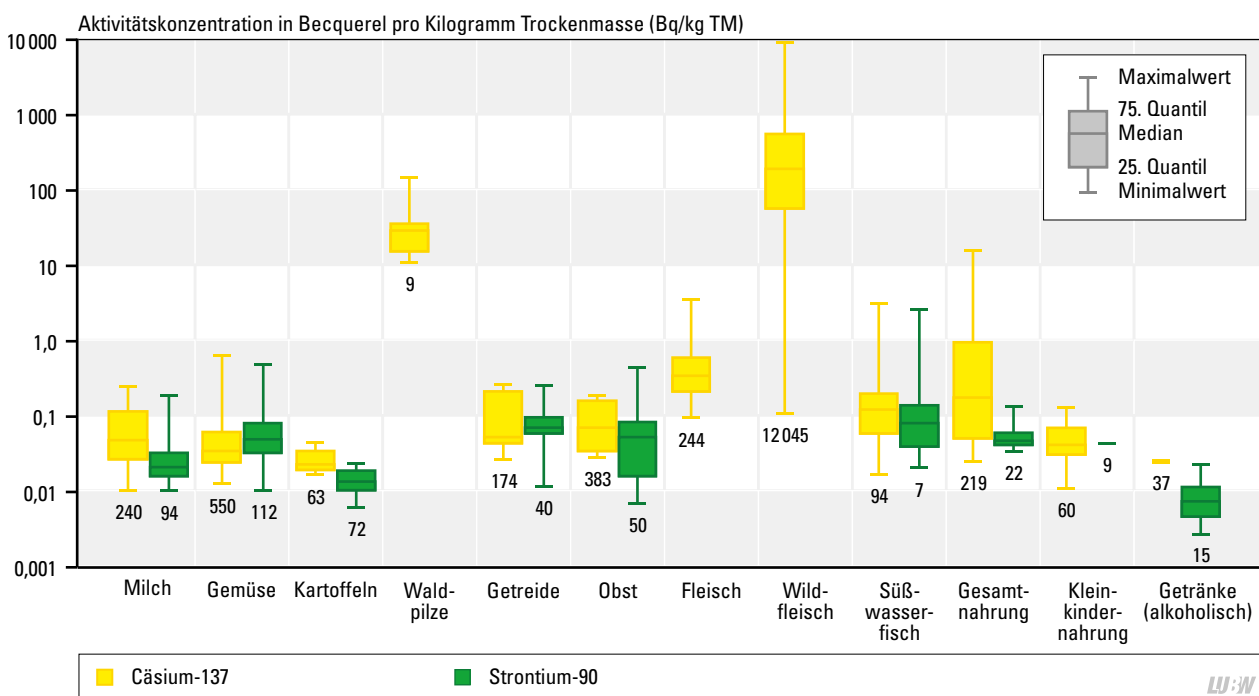


Abb. 9.3-2: Cäsium-137 (gelb) und Strontium-90 (grün) in Nahrungsmitteln in Baden-Württemberg für die Jahre 2018 bis 2020. Die medien-spezifische Zahl der Proben ist jeweils in Klammern vermerkt. Gesamtzahl der Messungen: 14 160. Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz, Stand Jan. 2021.

Cäsium-137 in Lebensmitteln

Am Beispiel essbarer Waldpilze lässt sich zeigen, 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 zehn Zentimeter dicken oberen Bodenschicht. Einige Pilzarten, beispielsweise Maronnröhrlinge, nehmen Cäsium besonders gut auf. Ähnlich verhalten sich Semmelstoppelpilze, Ockertäublinge, Perlpilze, graublättrige Schwefelköpfe oder Habichtspilze. Andere wie der Safranschirmling oder verschiedene Champignonarten enthalten dagegen trotz exponierter Böden nur wenig Cäsium-137. Neben diesen artspezifischen Eigenschaften hängt die Cäsiumbelastung auch stark von der Höhe der örtlichen Bodenkontamination und der Bodenart ab. Nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl war die Region Oberschwaben durch örtliche Niederschläge höher belastet als andere Regionen. Deshalb findet man dort auch heute noch relativ hohe Cäsiumbelastungen in Pilzen.

In Hirschtrüffeln, nicht essbaren Pilzen, die unterirdisch in der Humusschicht des Fichtenwaldbodens wachsen, reichert sich das Cäsium-137 besonders an.

Die Hirschtrüffel werden von Wildschweinen ausgegraben und gefressen. Deren Fleisch kann dann in Einzelfällen Aktivitätskonzentrationen durch Cäsium-137 von bis zu einigen 1000 Becquerel pro Kilogramm (Bq/kg) Fleisch aufweisen. Um sicherzustellen, dass kein Wildschweinfleisch mit mehr als 600 Bq/kg Cäsium-137 in den Handel gelangt, wurde in Baden-Württemberg ein verstärktes Überwachungsprogramm aufgelegt. Danach muss in Gemeinden, die als belastet ausgewiesen sind, jedes erlegte Wildschwein vor seiner Vermarktung auf 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 2017/18 betrug der gemessene Spitzenwert 9163 Bq/kg Cäsium-137, im Jagdjahr 2018/19 lag er bei 5130 Bq/kg, jeweils bei einem Wildschwein aus dem Kreis Ravensburg. Für das Jagdjahr 2019/20 wurde im Kreis Biberach bei zwei Wildschweinproben ein Wert von 10 000 Bq/kg gemessen. Bei Rehwild ist die Grenze für die Verzehrbarkeit von 600 Bq/kg inzwischen regelmäßig unterschritten. Die Aktivitätsgehalte werden völlig unbedeutend, sobald die Rehe und Wildschweine mit nicht kontaminierter Nahrung gefüttert wurden, zum Beispiel bei Haltung im Gehege. Nach Aussagen des Landesjagdverbandes Baden-Württemberg gilt Wildbret von Reh-, Rot- und Damwild sowie von Hase, Kaninchen, Ente und Fasan in Baden-Württemberg als nicht belastet und somit unbedenklich, was eine signifikant erhöhte Cäsium-137 Belastung betrifft [LJV 2020].

Radiologisch betrachtet, führt ein mäßiger Verzehr von belasteten Pilzen oder Wildfleisch zu keiner gesundheitlich relevanten Strahlenbelastung. Der Beitrag der Strahlenexposition durch den Tschernobyl-Unfall (im Mittel kleiner als 0,013 Millisievert) zur natürlichen Strahlenexposition einer Person in der Bundesrepublik Deutschland (im Mittel 2,1 Millisievert) kann heute als vernachlässigbar angesehen werden [UM 2020].

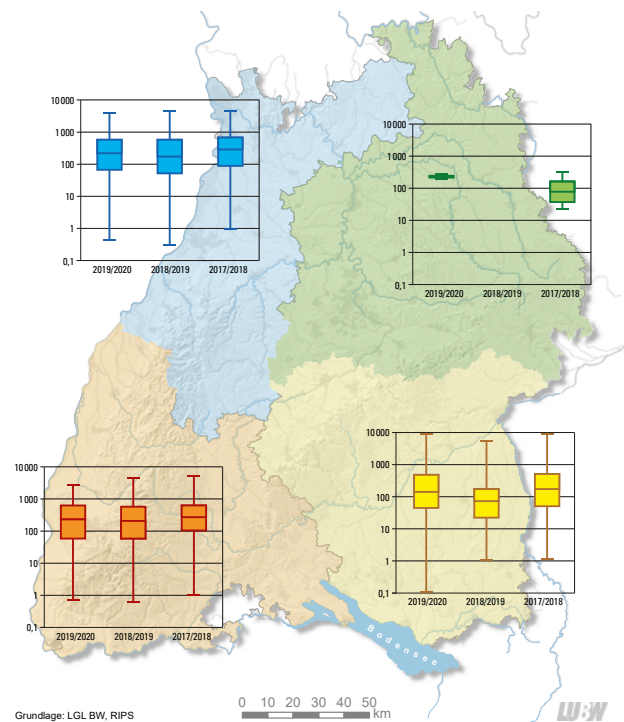


Abb. 9.3-3: Cäsium-137 in Wildschweinfleisch in den Regierungsbezirken Baden-Württembergs für die Jagdjahre 2017/18 bis 2019/20 in Bequerel pro Kilogramm Trockenmasse. Gesamtzahl der Messungen: 12045. Quelle CVUA Freiburg, Stand Jan. 2021.

9.4 Strahlenexposition des Menschen

Radioaktivität im menschlichen Körper

Die in der Atemluft, dem Trinkwasser und der Nahrung befindlichen Radionuklide bewirken, dass auch der menschliche Körper Radioaktivität aufweist. Die seit 1961 in Karlsruhe durchgeführten Messungen zeigen für Cäsium-137 einen Verlauf, der durch die beiden für die Strahlenbelastung bedeutsamen Ereignisse geprägt wurde, nämlich die oberirdischen Kernwaffentests in den 1960er-Jahren und den Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahr 1986. 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 Kernkraftwerksblöcke in Fukushima infolge der Tsunamikatastrophe im März 2011 verursachte dagegen in ganz Europa keine nachweisbare Strahlenexposition. Die Werte für Cäsium-137 im menschlichen Körper der Karlsruher Kontrollgruppe aus den vergangenen Jahren sind deutlich niedriger als 1 Becquerel pro Kilogramm (Bq/kg) Körpergewicht und waren der Anlass, dass die Messungen nach dem 2. Quartal 2019 eingestellt wurden. Die durch natürliches Kalium-40 bedingte Aktivität des menschlichen Körpers liegt im Vergleich dazu bei etwa 50 bis 70 Bq/kg Körpergewicht sehr viel höher.

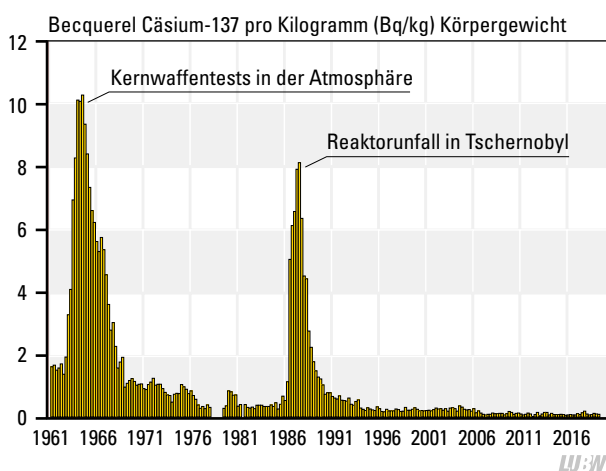


Abb. 9.4-1: Spezifische Aktivität von Cäsium-137 im menschlichen Körper im Raum Karlsruhe. Quelle KIT, Stand 2020.

Strahlenexposition der Bevölkerung

Die natürliche Strahlenexposition des Menschen setzt sich aus einer Einwirkung von außen durch die kosmische und terrestrische Strahlung und aus einer Einwirkung von innen durch inkorporierte radioaktive Stoffe zusammen. Die mittlere effektive Dosis durch natürliche Strahlenquellen beträgt in Deutschland 2,1 Millisievert pro Jahr (mSv/a).

Die mittlere effektive Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition liegt in Deutschland bei 1,7 mSv/a. Von allen Anwendungsgebieten ionisierender Strahlung liefert die Röntgendiagnostik mit etwa 1,6 mSv/a hierzu den größten Beitrag. Der Beitrag der verschiedenen nuklearmedizinischen Untersuchungen ist mit 0,1 mSv/a mittlerer effektiver Dosis vergleichsweise gering. Weitere Dosisbeiträge aus anderen zivilisatorischen Strahlenexpositionen sind demgegenüber zu vernachlässigen. Die gesamte mittlere effektive Dosis aus allen Strahlenquellen beträgt somit in Deutschland ungefähr 4 mSv/a pro Person.

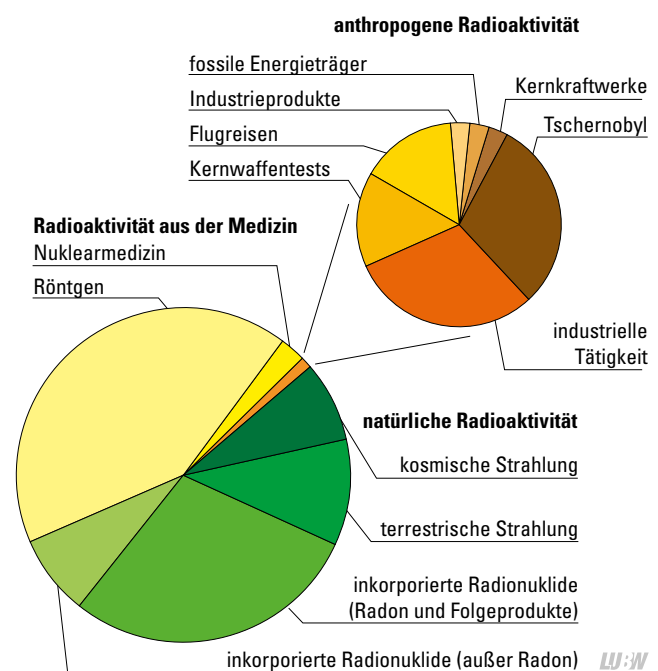


Abb. 9.4-2: Beiträge zur mittleren Strahlenexposition der Bevölkerung. Quellen LUBW, [BfS 2017], [KOELZER 2017].

Strahlenexposition durch Radon

Bei der natürlichen Strahlenexposition des Menschen lassen sich im Mittel 1,1 Millisievert pro Jahr (mSv/a) allein auf die Inhalation von Radon und seiner Zerfallsprodukte zurückführen.

Radon ist ein radioaktives Edelgas und überall in unserer Umwelt vorhanden. Man kann es weder sehen, riechen, fühlen noch schmecken. Es entsteht im Boden durch radioaktiven Zerfall ausgehend von Uran. Entsprechend dem Urangehalt des Untergrunds kann die Radonmenge im Boden kleinräumig stark schwanken.

Radon und seine Zerfallsprodukte sind krebserzeugend und gelten nach dem Rauchen als eine der wichtigsten Ursachen für Lungenkrebs in Deutschland. Abhängig von der Beschaffenheit von Gebäuden kann das Radongas durch Risse und Defektstellen der Bodenplatte und Kellerwände oder undichte Mediendurchführungen eindringen und sich in schlecht durchlüfteten Kellern und Wohnräumen ansammeln. Diese Anreicherung, verbunden mit einem langjährigen Einatmen des Radons und seiner Zerfallsprodukte, ist verantwortlich für ein gesteigertes Lungenkrebsrisiko. Verstärktes Lüften kann hier bereits eine deutliche Reduktion der Radonkonzentration in der Innenraumluft bewirken und zum Gesundheitsschutz beitragen. Weiterführende Informationen rund um das Thema Radon sind auf der Internetseite der Radonberatungsstelle der LUBW zu finden.

www.radon-lubw.de

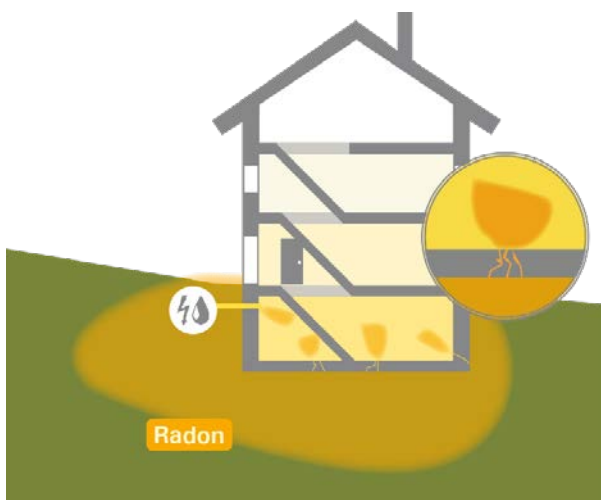


Abb. 9.4-3: Eindringpfade von Radon in Gebäude durch Risse und Defektstellen der Bodenplatte oder undichte Mediendurchführungen.
© IAF-Radioökologie GmbH / Ilke Schulz.

Radonvorsorgegebiete

Zum Schutz vor Radon wurden sogenannte Radonvorsorgegebiete ausgewiesen, in welchen die Wahrscheinlichkeit erhöht ist, dass der gesetzliche Referenzwert von 300 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m³) Radon in der Innenraumluft im Jahresmittel überschritten wird. Das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft hat im Jahr 2020 anhand einer Vorhersage des Bundesamtes für Strahlenschutz und der geochemischen Karte von Baden-Württemberg für Uran im Gestein solche Gebiete auch in Baden-Württemberg festgestellt. Detaillierte Informationen zu den Radonvorsorgegebieten sind auf der Homepage des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg eingestellt.

www.um.baden-wuerttemberg.de >
Umwelt & Natur > Kernenergie und Strahlenschutz >
Strahlenschutz >
Schutz vor Radon

Die LUBW hat das Umweltministerium bei der Durchführung von Messkampagnen zum Radongehalt in der Bodenluft sowie Innenraumluft von öffentlichen Gebäuden unterstützt. Somit konnten schließlich 423 Bodenluftmessungen aus Baden-Württemberg in die Vorhersage des Bundesamtes für Strahlenschutz einfließen. Der Datenbestand an Innenraumluftwerten konnte um rund 300 öffentliche Gebäude mit etwa 2000 Messergebnissen erweitert werden.

Berufliche Strahlenexposition

Personen, die in Bereichen mit erhöhter Strahlung arbeiten, unterliegen der Strahlenschutzüberwachung. Nach den aktuellsten Auswertungen des Bundesamtes für Strahlenschutz betraf dies in Deutschland im Jahr 2016 etwa 440 000 Personen [BfS 2017, BfS 2020-2]. Dabei wird der Großteil dieser strahlenexponierten Personen (etwa 366 000) während der Arbeitszeit mit amtlichen Dosimetern überwacht.

Bei den meisten der mit Personendosimetern überwachten Personen lag während des ganzen Überwachungszeitraums die Personendosis unter der Nachweisgrenze. Bei etwa 48 000 Personen (13 %) wurde eine durchschnittliche mittlere Jahrespersonendosis von 0,5 Millisievert (mSv) festgestellt. Von den beruflich strahlenexponierten Personen waren 43 000 als fliegendes Personal tätig, das aufgrund der Tätigkeit in sehr großen Höhen einer erhöhten kosmischen Strahlung ausgesetzt ist. Die Strahlendosiswerte dieser Berufsgruppe werden anhand der geflogenen Strecken berechnet. Für das Jahr 2016 betrug diese für 99 % des fliegenden Personals im Jahresmittel 2,0 mSv. Von den 374 überwachten Personen, die an Arbeitsplätzen mit natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen arbeiten, beispielsweise in Wasserwerken, Schauhöhlen oder im Bergbau, weisen 344 Personen (92 %) eine mittlere Jahresdosis von 3,5 mSv auf.

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 gelangt Radon in unterschiedlichen Mengen in die Wassergewinnungsanlagen und entweicht größtenteils innerhalb des Wasserwerkes in die Raumluft der Anlage. So sind in Hochbehältern Konzentrationen von einigen 10 000 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m³), bei fehlender Lüftung sogar bis zu 100 000 Bq/m³ möglich. Diese Personengruppe erhält somit die höchste Individualdosis. Das fliegende Personal stellt jedoch die insgesamt am höchsten strahlenexponierte Berufsgruppe in Deutschland dar.

Von den insgesamt überwachten Personen wurden zudem etwa 1 400 Personen wegen einer möglichen Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper (Inhalation über die Lunge oder Ingestion über den Magen-Darm-Trakt) speziellen Maßnahmen zur Inkorporationsüberwachung unterzogen, wobei bei 79 Personen (6 %) eine innere Körperdosis von 0,6 mSv festgestellt wurde. [BfS 2017, BfS 2020-2]. Weiterführende Informationen enthalten die Internetseiten der LUBW.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen >
Radioaktivität

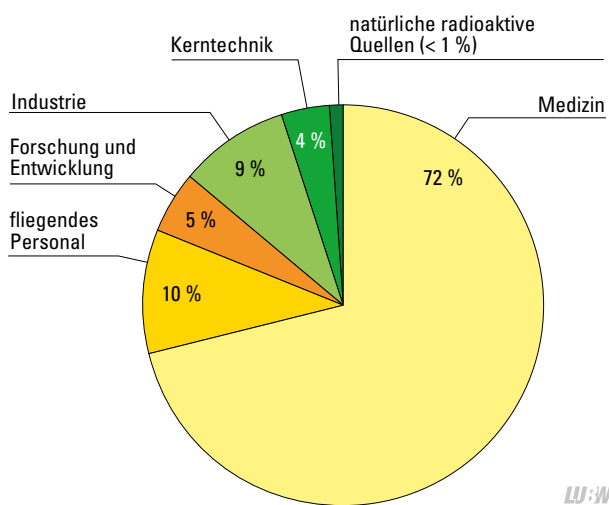


Abb. 9.4-4: Strahlenüberwachte Berufsgruppen. Anzahl der überwachten Personen in Deutschland im Jahr 2016: etwa 438 500. Quelle [BfS 2020-2].

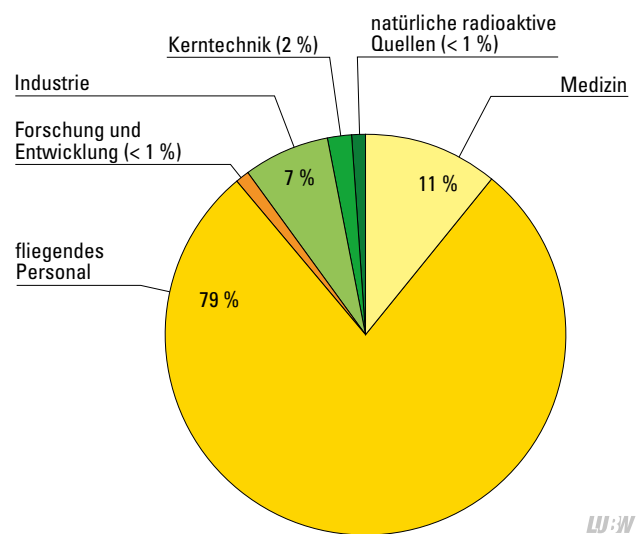


Abb. 9.4-5: Kollektivdosis der strahlenexponierten Personen in Deutschland im Jahr 2016: etwa 110 Personen-Sievert. Quelle [BfS 2020-2].



10 Überwachung und Warndienste

Das Wichtigste in Kürze

Mit der **Kernreaktor-Fernüberwachung (KFÜ)** wird die Umgebung aller kerntechnischen Anlagen in Baden-Württemberg und im angrenzenden Ausland im Hinblick auf radioaktive Immissionen überwacht. Zudem werden die wichtigsten Betriebsparameter der baden-württembergischen Kernkraftwerke – unabhängig von den Betrieben – erfasst, online überwacht und der Aufsichtsbehörde zur Auswertung bereitgestellt. Bei einem radiologischen Unfall unterstützt die KFÜ den staatlichen Notfallschutz mittels Darstellungen der aktuellen radiologischen Messwerte und Prognosen zur Ausbreitung radioaktiver Freisetzungen.

Bei der **Anlagensicherheit** sind in Baden-Württemberg 291 Betriebsbereiche nach der Störfall-Verordnung (StörfallV) bei den Regierungspräsidien angezeigt. In den Jahren 2000 bis 2020 wurden 85 Ereignisse in den Betriebsbereichen erfasst. Dabei gab es 20 „Schwere Unfälle“, davon vier Ereignisse mit einem Todesfall und sieben Ereignissen mit Sachschäden über 2 Millionen Euro. Ereignisse, das heißt Brände, Explosionen und die Freisetzung toxischer Stoffe, müssen gemeldet werden und werden zentral für das Land in der LUBW erfasst, ausgewertet und an die zuständigen Bundesbehörden weitergeleitet.

Im Rahmen des **Luftmessnetzes** werden an ausgewählten Messstationen kontinuierlich aktuelle Informationen zu den Luftschadstoffen Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Ozon gesammelt und die Bevölkerung bei Überschreitung von Schwellenwerten zeitnah informiert. Die Alarmschwellen für Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid wurden seit ihrer Einführung im Jahr 2002 (22. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz – 22. BImSchV) nicht überschritten. Die Anzahl der Stunden mit einer Überschreitung der Informations- und Alarmschwelle für Ozon nimmt seit 2003 stark ab.

Die **Hochwasservorhersagezentrale Baden-Württemberg (HVZ)** der LUBW bündelt – auch länderübergreifend – aktuelle Informationen wie hydrologische und meteorologische Messwerte an etwa 750 Messstationen und macht diese den zuständigen Verwaltungsstellen, der Bevölkerung sowie den Medien zugänglich. Für 110 Vorhersagepegel werden rund um die Uhr – mindestens alle drei Stunden – 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.



Foto: LUBW

| | |
|---|------------|
| 10.1 KERNREAKTOR-FERNÜBERWACHUNG | 176 |
| Überwachung kerntechnischer Anlagen durch die KFÜ | 176 |
| KFÜ im Notfallschutz | 177 |
| KFÜ als Aufsichtsinstrument | 177 |
| 10.2 ANLAGENSICHERHEIT | 178 |
| Betriebsbereiche in Baden-Württemberg | 178 |
| Meldepflichtige Ereignisse und Überwachung in Baden-Württemberg | 179 |
| 10.3 INFORMATIONSDIENST ZU LUFTSCHADSTOFFEN | 180 |
| 10.4 ÜBERWACHUNG VON RHEIN UND NECKAR | 181 |
| Warn- und Alarmplan Rhein | 181 |
| Sauerstoffreglement Neckar | 181 |
| 10.5 HOCHWASSERVORHERSAGEZENTRALE | 182 |
| Hochwasservorhersagen im Stundentakt | 182 |
| Datenbasis für die Vorhersagemodelle | 183 |
| Zusätzliche Angebote | 183 |

10.1 Kernreaktor-Fernüberwachung

Überwachung kerntechnischer Anlagen durch die KFÜ

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 selbstständig die Atomaufsicht. Auch die Umgebung von abgeschalteten Anlagen wird immissionsseitig weiterhin überwacht.

Das Hauptaugenmerk der KFÜ richtet sich auf die kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen im Land an den Standorten Philippsburg, Neckarwestheim, Obrigheim und Karlsruhe. Zudem werden die Immissionen in den an die grenznahen ausländischen Kernkraftwerke Fessenheim (Frankreich) sowie Leibstadt und Beznau (Schweiz) angrenzenden Regionen im Land überwacht.

Neben dieser anlagenbezogenen Radioaktivitätsüberwachung wird auch im übrigen Landesgebiet sowohl der Strahlenpegel gemessen als auch Proben verschiedener Umweltmedien und Nahrungsmittel regelmäßig auf 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 KFÜ einen sensiblen Warndienst, der bei geringsten Veränderungen gegenüber der natürlich vorhandenen Strahlung die zuständige Atomaufsicht alarmiert.

In einem 10-Kilometer-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 sowie Leibstadt und Beznau in der Schweiz befindet sich jeweils ein weiteres Dutzend solcher Sonden.

Um die Atomaufsicht frühzeitig vor einem luftgetragenen Eintrag radioaktiver Stoffe zu warnen, wird die Luft-Aktivitätskonzentration zudem an zwölf Messorten mit Radioaerosolmessstationen gemessen. In diesen Stationen wird die Umgebungsluft über Filterpatronen gesammelt und kontinuierlich gammaspektrometrisch ausgewertet: Ein Halbleiterdetektor misst noch während der Filterbestäubung die nuklidspezifische Gammastrahlung und bestimmt daraus die Aktivitätskonzentration der detektierten Radionuklide. Diese Messwerte werden im Stundentakt zur LUBW übermittelt und verarbeitet. Im Alarmfall werden sie sofort übertragen, von der LUBW ausgewertet und umgehend der Atomaufsicht zur Verfügung gestellt. Aktuelle Messdaten der Gamma-Ortsdosisleistung und der Luft-Aktivitätskonzentration finden sich im Internet.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Radioaktivität > Messwerte und Ergebnisse

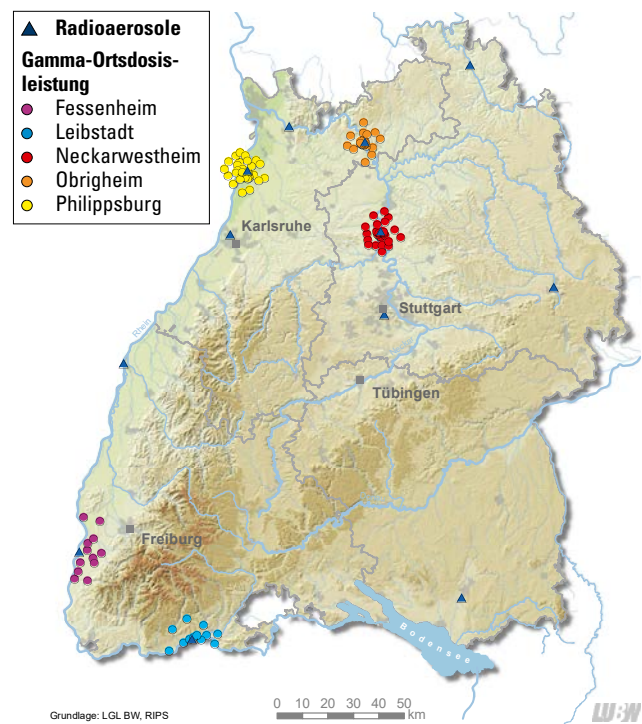


Abb. 10.1-1: Messorte für Radioaerosole und Gamma-Ortsdosisleistung zur KFÜ-Online-Überwachung. Quelle LUBW, Stand Nov. 2020.

KFÜ im Notfallschutz

Ein wichtiges Instrument des vorbeugenden Bevölkerungsschutzes bei einem radiologischen Notfall ist die Bestimmung von Gebieten, die potenziell betroffen sein können, sowie der dort durch Freisetzung radioaktiver Stoffe zu erwartenden radiologischen Belastung mithilfe einer Ausbreitungsrechnung. Die dazu notwendigen meteorologischen Daten werden von Messstationen der Kraftwerke, 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 bei einem Notfall den tatsächlichen Verlauf einer möglichen Freisetzung registrieren und eine sofortige Anpassung von Notfallschutzmaßnahmen erlauben. Nach der Freisetzung kämen Messtrupps der LUBW, der Betriebe, 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. Die Verarbeitung dieser Daten in der KFÜ und ihre Auswertung gemeinsam mit den stationären Online-Messungen ermöglichen einen raschen vollständigen Überblick über die radiologische Situation. Die KFÜ wird zudem für realitätsnahe Simulationen in Übungen genutzt, bei denen das Zusammenspiel der beteiligten Stellen und Systeme geprobt wird.

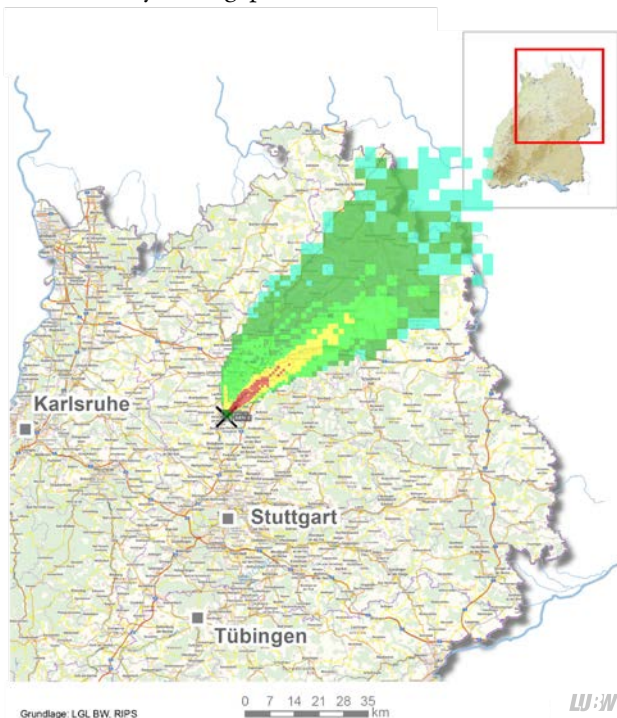


Abb. 10.1-2: Beispielhafte Ausbreitungsrechnung im Fall eines kerntechnischen Unfalls am Standort Neckarwestheim. Quelle KFÜ, Stand Dez. 2020.

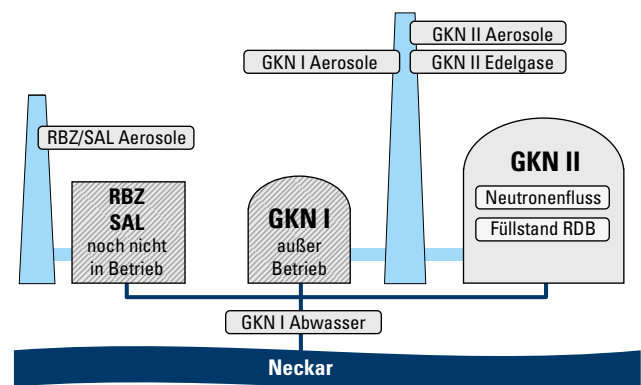
KFÜ als Aufsichtsinstrument

Die KFÜ erfasst kontinuierlich die wichtigsten Betriebsparameter der baden-württembergischen Kernkraftwerke wie Neutronenfluss, Druck, Temperatur und Füllstand im Primärkreislauf, Dosisleistung und Drücke in verschiedenen Raumbereichen sowie Radioaktivität in Abluft und Abwasser. Die Messwerte werden ohne Zutun der Betriebe aus den Messgeräten ausgekoppelt und online überwacht. 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 untersucht. Zudem erfolgt bei Erreichen von im System eingestellten Schwellenwerten eine automatische Alarmierung der Aufsichtsbehörde. Über das Internet können jederzeit aktuelle Informationen zum Anlagenstatus der aktiven baden-württembergischen Kernkraftwerke abgerufen werden:

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Radioaktivität > Messwerte und Ergebnisse > **Anlagenstatus**

Im Internetangebot der LUBW finden sich außerdem weiterführende Informationen zum Thema Radioaktivität.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > **Radioaktivität**



GKN: Kernkraftwerk Neckarwestheim
RBZ: Reststoffbearbeitungszentrum

SAL: Standortabfalllager
RDB: Reaktordruckbehälter

Abb. 10.1-3: Darstellung der Emissionswege für das Kernkraftwerk in Neckarwestheim. Quelle LUBW.

10.2 Anlagensicherheit

Betriebsbereiche in Baden-Württemberg

In Baden-Württemberg unterliegen 291 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 Chlor oder Wasserstoff sowie von Gefahrenkategorien wie Gesundheitsgefahren, physikalische 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.

Von den 291 Betriebsbereichen, die in Baden-Württemberg unter die StörfallV fallen, sind 174 der unteren Klasse und 117 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.

Die Standortinformationen dienen unter anderem dem Vollzug des UNECE-Abkommens über grenzüberschreitende Industrieunfälle [UNECE 1992], da hier die Entfer-

nung der Betriebe von der Staatsgrenze beziehungsweise 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.

Die Tätigkeiten der Betriebsbereiche lassen sich wirtschaftlichen Schwerpunkten zuordnen. Schwerpunkte im Anwendungsbereich der StörfallV bilden folgende Branchen:

- Chemikalienherstellung, Pharma, Farben- und Lackherstellung, Industriegase: 62 Betriebe,
- Großhandel (Flüssiggas-Versorgungsunternehmen, Chemikalien- und Pflanzenschutzmittelhandel) sowie die damit verbundenen Läger und Speditionen: 63 Betriebe,
- Biogasanlagen zur Gas- oder Elektrizitätsversorgung sowie als Teil eines landwirtschaftlichen Betriebs: 39 Betriebe,
- Galvaniken und Oberflächenbehandlung: 26 Betriebe.

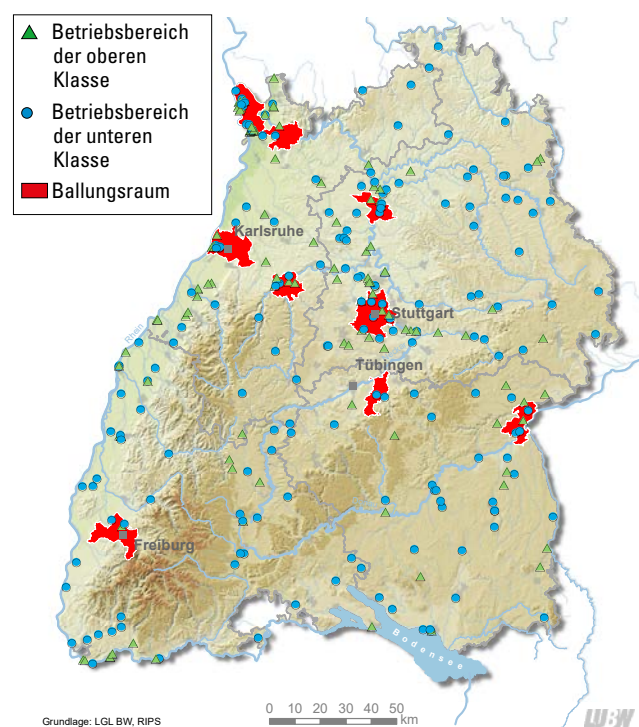


Abb. 10.2-1: Standorte der Betriebsbereiche in Baden-Württemberg, die unter die StörfallV fallen. Quelle LUBW, Stand 2020.

Meldepflichtige Ereignisse und Überwachung in Baden-Württemberg

In den Betriebsbereichen und ihren Anlagen können trotz der getroffenen sicherheitstechnischen und organisatorischen Vorkehrungen Störungen auftreten. Die Betriebe sind nach § 19 StörfallV verpflichtet, den zuständigen Regierungspräsidien Ereignisse, die bestimmte Kriterien erfüllen, zu melden. Die LUBW ist die zentrale Stelle des Landes, die diese Meldungen fachtechnisch auswertet und an das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) weiterleitet.

Die StörfallV unterscheidet, je nach Schwere der Ereignisse, drei Ereignistypen:

- **StörfallV Anhang VI, Teil 1, I**
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. Sie werden vom BMU an die EU-Kommission weitergeleitet, sofern die Meldekriterien eines Störfalls erfüllt sind. Solche Ereignisse werden als „Störfall“ bezeichnet.
- **StörfallV Anhang VI, Teil 1, II**
Aus sicherheitstechnischer Sicht besonders bedeutsame Ereignisse, aus denen Lehren zur künftigen Verhinderung oder Begrenzung von Auswirkungen solcher Ereignisse gezogen werden können. Auch sie werden vom BMU an die EU-Kommission weitergeleitet.
- **StörfallV Anhang VI, Teil 1, III**
Ereignisse, die nicht in die beiden ersten Kategorien fallen, bei denen jedoch ein Stoff freigesetzt wurde und Schäden entstanden sind oder eine Gefährdung für die Nachbarschaft oder Allgemeinheit nicht ausgeschlossen werden kann.

In den Jahren 2000 bis 2020 wurden 85 Ereignisse in Baden-Württemberg erfasst. Eine Auswertung der Ereignisse zeigt, dass in diesem Zeitraum 20 als „Schwere Unfälle“ eingestuft wurden. Darunter gab es vier Ereignisse mit jeweils einem Todesfall, sieben Ereignisse mit Sachschäden über 2 Millionen Euro und weitere fünf Fälle, bei denen Personen verletzt wurden. Bei vier Ereignissen erfolgte die Einstufung aufgrund der großen Menge freigesetzter gefährlicher Stoffe.

In den Jahren 2015 bis 2020 lag der Schwerpunkt der Ursachen überwiegend im Bereich des Sicherheitsmanagements und der Betriebsorganisation. 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

Die Überwachung der Betriebsbereiche erfolgt in Baden-Württemberg nach einem vom Umweltministerium erstellten Überwachungsplan. Für die Durchführung der Überwachung sind die vier Regierungspräsidien zuständig. Betriebsbereiche der oberen Klasse sind jährlich vor Ort zu überwachen, Betriebsbereiche der unteren Klasse mindestens alle drei Jahre. Die Überwachung umfasst die technischen, organisatorischen und managementspezifischen Aspekte des Betriebs.

Verzeichnisse der Betriebsbereiche, die von den jeweiligen Regierungspräsidien zu überwachen sind, werden von der LUBW veröffentlicht und jährlich aktualisiert.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Betrieblicher Umweltschutz > Störfallvorsorge > Störfall-Verordnung > **Überwachungssystem**

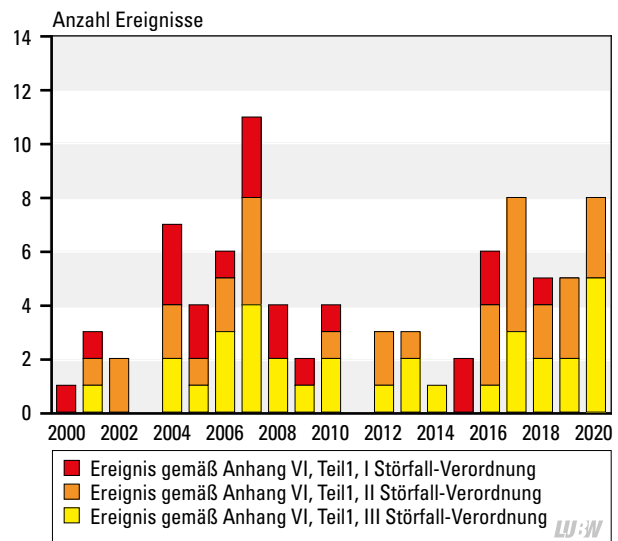


Abb. 10.2-2: Meldepflichtige Ereignisse in Baden-Württemberg nach § 19 StörfallV. Quelle LUBW, Stand Jan. 2021.

10.3 Informationsdienst zu Luftschadstoffen

Für die Luftverunreinigungen Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffdioxid (NO₂) und Ozon (O₃) sind vom Gesetzgeber EU-einheitliche Alarm- und Informationsschwellen festgelegt. Beim Überschreiten der Alarmschwellen besteht für die Gesamtbevölkerung ein Gesundheitsrisiko, sodass 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 in diesem Zeitraum die höchsten Ozonwerte auftreten. Beim Überschreiten der Alarmschwelle gilt diese Verhaltensempfehlung für die Gesamtbevölkerung.

Zur Überwachung der Alarm- und Informationsschwellen wurde im Luftmessnetz Baden-Württemberg im Jahr 2020 rund um die Uhr

- an 40 Messstationen Stickstoffdioxid,
- an 27 Messstationen Ozon und
- an 4 Messstationen Schwefeldioxid

gemessen, sodass beim Überschreiten der Schwellen die Bevölkerung zeitnah informiert werden konnte.

Die Alarmschwellen für Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid wurden seit ihrer Einführung im Jahr 2002 (22. BImSchV) nicht überschritten. Die Anzahl der Stunden mit einer Überschreitung der Informations- und Alarmschwelle für Ozon nimmt seit 2003 stark ab.

Die im Rahmen des Luftmessnetzes ermittelten Messdaten werden auf zahlreichen Informationswegen, zum Beispiel Internet, Videotext und Telefonansage, veröffentlicht.

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 3 aufeinanderfolgenden Stunden.

LUBW

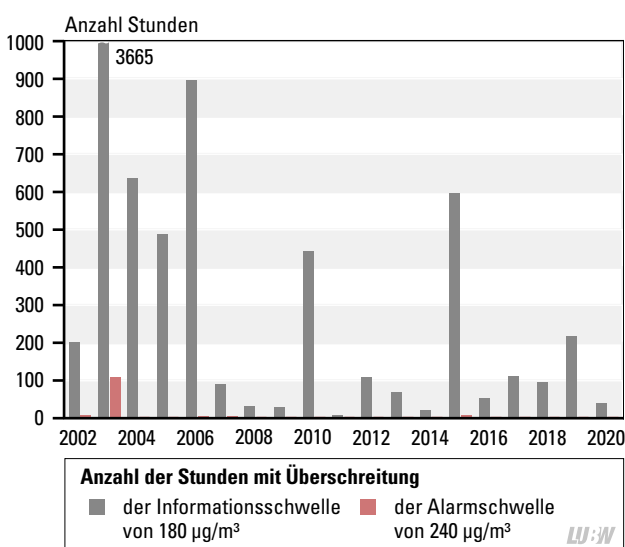


Abb. 10.3-1: Anzahl der Stunden mit Überschreitungen der Informations- und Alarmschwelle für Ozon im Luftmessnetz Baden-Württemberg. Quelle LUBW, Stand Jan. 2021.

Tab. 10.3-2: Informationsangebote zu Luftschadstoffen, Stand 2021.

| | |
|------------------|---|
| Internet | https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/luft/messwerte-immissionswerte#karte |
| Meine Umwelt-App | https://www.umwelt-bw.de/meine-umwelt |
| Videotext | SWR ab Tafel 174 |
| Telefonansage | 0721-5600-3520 |

LUBW

10.4 Überwachung von Rhein und Neckar

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 werden die Anliegerländer und -staaten jeweils zeitnah über vorhandene Gefährdungslagen informiert. Bei ersten Gewässerverschmutzungen ergeht eine Warnung, andernfalls erfolgt eine Information. Mit fachlicher Beratung unterstützt die LUBW rund um die Uhr die für den baden-württembergischen Rheinabschnitt zuständige und beim Polizeipräsidium Einsatz in Göppingen angesiedelte Internationale Hauptwarnzentrale R3. Die Informationsmeldungen nahmen in den vergangenen Jahren aufgrund verbesserter Meldewege und Analytik zu. Zudem betreibt die LUBW die Messstation Karlsruhe, gemeinsam mit der Schweiz die Messstation Weil am Rhein und gemeinsam mit den Bundesländern Rheinland-Pfalz und Hessen die Messstation Worms, an denen das Rheinwasser täglich auf eine hohe Anzahl von Stoffen untersucht wird, um Schadstoffeinträge in Hoch- und Oberrhein zeitnah zu erkennen.

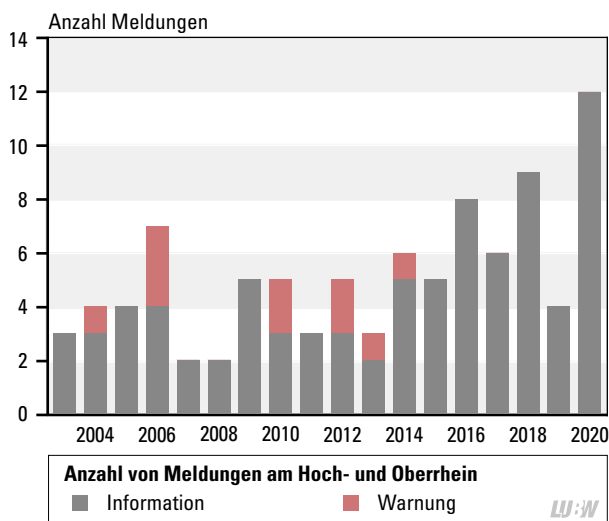


Abb. 10.4-1: Anzahl der erfolgten Meldungen durch die an Hoch- und Oberrhein tätigen Internationalen Hauptwarnzentralen der Schweiz, Frankreichs und Baden-Württembergs, basierend auf den Berichten der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheines (IKSR), Stand Jan. 2021.

Sauerstoffreglement Neckar

Der Sauerstoffhaushalt des schiffbaren Neckars ab Deizisau ist in der warmen Jahreszeit durch die beschleunigt ablaufenden Abbauprozesse, den im Verhältnis zum Abfluss hohen Abwasseranteil und die vielen Stauhaltungen streckenweise labil.

Mit dem zunehmenden Ausbau der Abwasserbehandlung hat sich die Situation deutlich verbessert. Trotzdem können die Sauerstoffgehalte in Extremsituationen mit gleichzeitigem Auftreten von Niedrigwasser und Hitzeperiode insbesondere im Zusammenhang mit Algenblüten so weit absinken, dass es lokal zu Fisch- oder Muschelsterben kommen kann.

Seit 1980 gibt es Vereinbarungen zur Stützung des Sauerstoffgehaltes. 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 Milligramm pro Liter (mg/l) Belüftungsmaßnahmen zu ergreifen.

Die LUBW betreibt 13 Messstationen entlang des Neckars, um die Sauerstoffverhältnisse zu beobachten. Erforderlichenfalls werden Belüftungsmaßnahmen, zum Beispiel mittels Wehrüberfall oder Turbinenbelüftung, empfohlen, um Fisch- oder Muschelsterben zu verhindern. Hierzu unterhält die LUBW in den Sommermonaten einen Bereitschaftsdienst, um diese Aufgabe rund um die Uhr erfüllen zu können. Dabei arbeitet sie eng mit der Wasserschutzpolizei und den Energieversorgungsunternehmen zusammen.

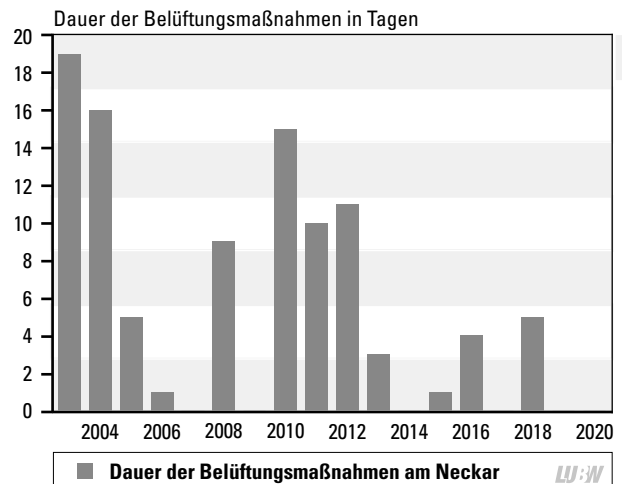


Abb. 10.4-2: Dauer der Belüftungsmaßnahmen am Neckar. Quelle LUBW, Stand Jan. 2021.

10.5 Hochwasservorhersagezentrale

Hochwasservorhersagen im Stundentakt

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 alle drei Stunden und bei Hochwasser stündlich neu berechnet und veröffentlicht. Die gemessenen Niederschläge an ungefähr 380 Stationen werden rund um die Uhr mindestens stündlich, die gemessenen Wasserstände an etwa 330 Stationen bis zu viertelstündlich aktualisiert. Die Daten werden grafisch aufbereitet und auf zahlreichen Informationswegen veröffentlicht.

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 stabilen Datenfluss von Mess- und Vorhersagedaten, der vor allem aufgrund des enormen Umfangs meteorologischer Vorhersagedaten mehr als zwei Milliarden Mess- und Modellwerte pro Tag umfasst. Dieser operationelle Modellbetrieb ist die Grundlage für Hoch-, Mittel- und Niedrigwasservorhersagen für 110 Pegel in Baden-Württemberg an Rhein, Neckar, Donau und deren jeweils wichtigsten Zuflüssen sowie an Main und Tauber.

Tab. 10.5-1: Informationsangebote der Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) Baden-Württemberg, Stand 2021.

| | |
|---|--|
| Internet | www.hvz.baden-wuerttemberg.de |
| App „Meine Pegel“ | App Stores von Android, iOS, Windows10 |
| HVZ-Telefon | 0721-9804-0 |
| Videotext | SWR Tafel 805-809 |
| Telefonansage | 0721-9804-61 |
| Länderübergreifendes Hochwasserportal (LHP) | www.hochwasserzentralen.info |

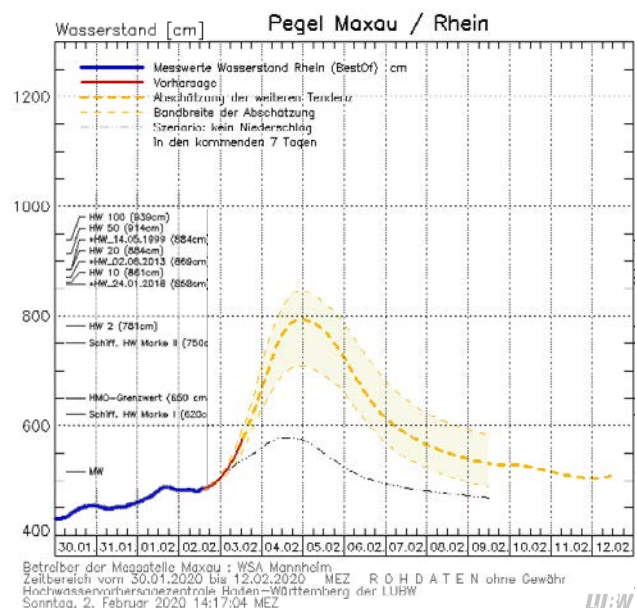


Abb. 10.5-1: Hochwasservorhersage vom 02.02.2020 14 Uhr für den Pegel Maxau/ Oberrhein. Am 04.02.2020 wurde um 23:45 Uhr ein Scheitelwasserstand von 7,51 m gemessen. Quelle LUBW, Stand 2020.

Datenbasis für die Vorhersagemodelle

Für den operationellen Modellbetrieb nutzt die HVZ neben den Pegelmessungen (vgl. Kapitel 5.6) weitere Daten:

- meteorologische Parameter aus dem LUBW-Messnetz (Globalstrahlung, Luftdruck, Lufttemperatur, Niederschlag, relative Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit),
- meteorologische Daten und Vorhersagen zahlreicher Wetterdienste (Deutscher Wetterdienst, Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage, MeteoSchweiz, MeteoFrance, MeteoGroup AG, Meteorlogix AG),
- Betriebsdaten für Rückhaltmaßnahmen (Segmentöffnungen, Betriebsart, Wasserstand, Einstauvolumen, Zufluss, Abfluss).

Bodensee:

Die länderübergreifende Vorhersage für den Bodensee erfolgt in Kooperation mit dem schweizerischen Bundesamt für Umwelt und dem Amt der Vorarlberger Landesregierung.

www.bodensee-hochwasser.info

Zusätzliche Angebote

Hochwasserfrühwarnsystem für kleine Einzugsgebiete:

Zusätzlich berechnet die HVZ ein Hochwasserfrühwarnsystem für kleine Einzugsgebiete unter 200 Quadratkilometer 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 beziehungsweise 25 bis 48 Stunden. Die Verlässlichkeit der Hochwasserfrühwarnung ist wesentlich von der Güte der Niederschlagsvorhersagen abhängig und nimmt mit zunehmendem Frühwarnzeitraum ab.

Niedrigwassersituationen:

Auch Niedrigwassersituationen haben für die Gewässer zum Teil 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.

Tab. 10.5-2: HVZ-Betriebstage im Berichtszeitraum 2018 bis 2020.

| Betriebszustand [Tage/Jahr] | 2018 | 2019 | 2020 | Mittelwert 2015-2020 |
|---|------|------|------|----------------------|
| HVZ Hochwasserbetrieb, davon | | | | |
| Vorstufe Hochwasserbetrieb | 5 | 8 | 3 | 11 |
| Hochwasserbetrieb (ohne HVZ-Eröffnung) | 10 | 2 | 0 | 8 |
| HVZ-Einsatz (überregionales Hochwasser mit personeller Besetzung der Einsatzzentrale) | 9 | 4 | 2 | 7 |
| Nachstufe Hochwasserbetrieb | 8 | 11 | 2 | 8 |
| Summe der Tage | | | | |
| mit HVZ-Hochwasserbetrieb | 32 | 25 | 7 | 36 |
| mit Niedrigwasserbetrieb | 128 | 25 | 78 | 77 |

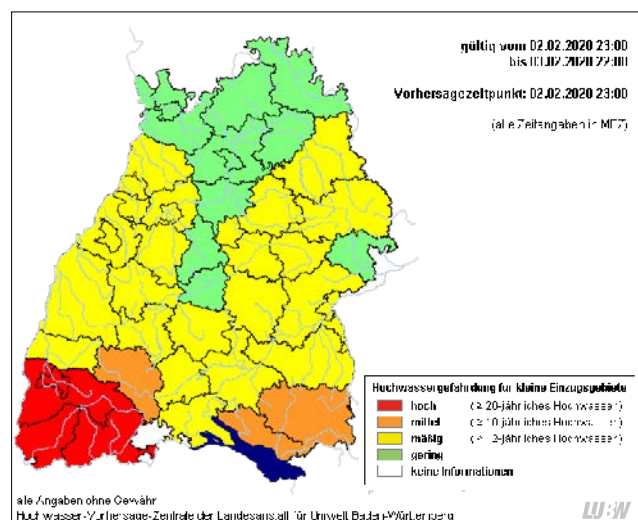


Abb. 10.5-2: Frühwarnkarte der HVZ für kleine Einzugsgebiete vom 02.02.2020. Quelle LUBW.

Literatur

Kapitel 1 Nachhaltiges Baden-Württemberg

BMEL (2021): <https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/biomarkt/oekoflaeche-und-oekobetriebe-in-deutschland>.

Stand Mai 2021. Abgerufen im September 2021.

ForstBW (2020): Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA): Waldzustandsbericht 2020. Oktober 2020.

IEKK (2014): Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg (IEKK). Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Stand Juli 2014.

KEA (2021): https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Kommunaler_Klimaschutz/Netzwerk/karte_ksm.pdf. Stand April 2021. Abgerufen im September 2021.

LEL (2021): Landesanstalt für Landwirtschaft, Ernährung und Ländlichen Raum Schwäbisch Gmünd. https://www.lel-web.de/app/ds/lel/a3/Online_Kartendienst_extern/Karten/51148/index.html. Stand Mai 2021.

LGRB (2019): Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau im Regierungspräsidium Freiburg: Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2019, Gewinnung und Sicherung von mineralischen Rohstoffen, Vierter Landesrohstoffbericht. Freiburg i. Br. 2020.

MLR (2014): Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg: Naturschutzstrategie Baden-Württemberg – Biologische Vielfalt und naturverträgliches Wirtschaften – für die Zukunft unseres Landes. 2. Auflage. Stand Februar 2014.

MLR (2020): Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg: Nachhaltigkeitsbericht 2019.

TransFair e.V. (2021): Verein zur Förderung des Fairen Handels in der Einen Welt. <https://www.fairtrade-towns.de/kampagne/staedtekarte-und-staedteverzeichnis>. Stand April 2021.

UBA (2020): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme#warmeverbrauch-und-erzeugung-nach-sektoren>. Abgerufen im Juli 2021.

UM (2015): Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Abfallwirtschaftsplan Baden-Württemberg, Teilplan Siedlungsabfälle. September 2015.

UM (2020): Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Abfallbilanz 2019 – Ressourcen aus unserer kommunalen Kreislaufwirtschaft. Juli 2020.

UM (2020b): 3. Klimaschutzpakt 2020/2021 des Landes Baden-Württemberg mit den kommunalen Landesverbänden. Stuttgart 2020.

UM (2021): Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2020 – Erste Abschätzung. Stand April 2021.

UM (2021b): <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/kommunaler-klimaschutz/klimaschutzpakt/>. Abgerufen im Mai 2021.

VM (2020): Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg: Nachhaltigkeitsbericht 2019.

WM (2010): Biomasse-Aktionsplan Baden-Württemberg. Erste Fortschreibung. Januar 2010.

Kapitel 2 Klima

Kleidon 2020: Kleidon, Axel. Sonne oder Treibhauseffekt? Globale Erwärmung einfach und physikalisch nachgerechnet. Physik in unserer Zeit, 2020, 51. Jg., Nr. 2, S. 79-85.

LUBW (2020): LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg: Wie kommt der Klimawandel bei Kommunen an? Ergebnisse einer Umfrage. Januar 2020. <https://pd.lubw.de/10025>. Abgerufen im September 2021.

LUBW (2021): LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg: Klimazukunft Baden-Württemberg – Was uns ohne effektiven Klimaschutz erwartet! März 2021. <https://pd.lubw.de/10200>. Abgerufen im September 2021.

StaLa (2020): Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Pressemitteilung 161/2020. Stuttgart, 1. Juli 2020.

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. <https://unfccc.int/resource/docs/2013/sbsta/eng/l29a01.pdf>. Stand November 2013. Abgerufen im September 2021.

Kapitel 3 Luft

INFRAS (2017): INFRAS; Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.3 (HBEFA). Bern, 2017. <http://www.hbefa.net/d/index.html>. Abgerufen im September 2021.

LUBW (2020): LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg: Luftreinhaltepläne für Baden-Württemberg-Grundlagenband 2018. Mai 2020. <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10123>. Abgerufen im September 2021.

TA Luft (2002): Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. Letzte Neufassung vom 24. Juli 2002 (GMBL S. 511).

Kapitel 4 Boden

LABO (2017): Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. 4. überarbeitete und ergänzte Auflage, 2017. Anhang: Tabellen der Hintergrundwerte für Böden. https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO_HGW_Anhang_02_2017.pdf. Abgerufen im September 2021.

LUBW (2008): LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg: 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Baden-

Württemberg – von klassischen Bodenuntersuchungen zu medienübergreifenden Umweltbilanzen. Dezember 2008. <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/37031>. Abgerufen im September 2021.

LUBW (2019): LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg: Inventurzeitreihen an Bodendauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg – Ergebnisse aus drei Dekaden und methodische Schlussfolgerungen. Juli 2019. <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/86694>. Abgerufen im September 2021.

LUBW (2019b): LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg: Bestimmung von per- und polyfluorierten Verbindungen (PFAS) in Feststoffen. September 2019. <https://pd.lubw.de/42387>. Abgerufen im September 2021.

LUBW (2021): LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg: Bestimmung von PFAS in wässrigen Boden-Eluaten. Januar 2021. <https://pd.lubw.de/10185>. Abgerufen im September 2021.

Kapitel 5 Wasser

IGKB (2010): Jahresbericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB): Limnologischer Zustand des Bodensees Nr. 37.

IGKB (2016): Tiefenschärfe – Hochauflösende Vermessung Bodensee – Bericht Nr. 61. Hrsg.: Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB), Blaue Reihe, Bericht Nr. 61. 2016.

LUBW (2015): LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg: ISF Arbeitsbericht 2013. Januar 2015. <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/54166>. Abgerufen im September 2021.

StaLa (2021): Statistisches Landesamt 2021: Öffentliche Abwasserentsorgung. <https://www.statistik-bw.de/Umwelt/Wasser/22025046.tab?R=LA>. Abgerufen im April 2021.

UM (2021): Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Kommunales Abwasser. Lagebericht 2021. Stuttgart.

Kapitel 6 Natur und Landschaft

BMEL (2012): Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur.

Firbas (1949): Firbas, F.: Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen. Gustav Fischer Verlag, Jena.

Hermann et al. (2020): Hermann A.; Wiegmann, K.; Wirz, A. (2020): Abschlussbericht – Instrumente und Maßnahmen zur Reduktion der Stickstoffüberschüsse. <https://pd.lubw.de/10179>. Abgerufen im März 2021.

Kamp et al. (2020): Kamp, J.; Frank, C.; Trautmann, S.; Busch, M.; Dröschmeister, R.; Kunz, F.; Gerlach, B.; Karthäuser, J.; Katzenberger, J.; Sudfeldt, C.: Population trends of common breeding birds in Germany 1990–2018. *Journal of Ornithology* (2020), 10.1007/s10336-020-01830-4.

PAN (2018): Evaluation der Ökokonto-Verordnung Baden-Württemberg. PAN Planungsbüro für angewandten Naturschutz GmbH im Auftrag der LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg. November 2018.

Südbeck et al. (2005): Südbeck, P.; Andretzke, H.; Fischer, S.; Gedeon, K.; Schikore, T.; Schröder, K. et al. (2005): Methodenstandards zur Erfassung der Brutvögel Deutschlands. Radolfzell. Vgl. Südbeck et al. 2005.

UM (2019): Ermittlung der Critical Levels und Critical Loads für Stickstoff. Methodik für die Neufassung der Belastungsgrenzen für in Deutschland vorkommende Vegetationseinheiten (CL-Bericht 2019). Herausgeber: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Stand Mai 2019.

Kapitel 7 Lärm

BAUA (2010): Lärm in Bildungsstätten. Geschäftsstelle Initiative Neue Qualität der Arbeit bei der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Stand 2010.

BGR (2021): Pressemitteilung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe vom 27.04.2021. Unter

https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Oeffentlichkeitsarbeit/Pressemitteilungen/pressemitteilung_node.html. Abgerufen im April 2021.

BMVI (2021): Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 2017 – 2018 – 2019. Stand 2019.

DGUV (2019): DGUV-Statistiken für die Praxis 2019. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin.

Fleischer (2000): Fleischer, G.: Gut hören – Heute und Morgen. Median Verlag, Heidelberg.

LUBW (2016): LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen. Bericht über Ergebnisse des Messprojekts 2013-2015. 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.

UBA (2020): Gesundheitliche Belastungen durch Umweltverschmutzung und Lärm – Ergebnisse der Umweltbewusstseinsstudien. Umweltbundesamt. Stand Januar 2020.

UK NRW (2014): Schriftenreihe Prävention in NRW, Gesundheit am Arbeitsplatz Kita, Nr. 55, S. 20. Unfallkasse Nordrhein-Westfalen. Stand Februar 2014.

VM (2020): Datenabfrage aus der Lärmschutzdatenbank, Ministerium für Verkehr, Stand Dezember 2020.

Kapitel 9 Radioaktivität

BfS (2017): Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2017. Bericht des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit an den Bundestag. Stand 2017.

BfS (2020-1): https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/lebensmittel/trinkwasser/trinkwasser_node.html. Abgerufen im Januar 2020.

BfS (2020-2): <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/beruf/strahlenschutzregister/strahlenschutzregisterauswertungen.html>. Abgerufen im Juni 2021.

Bollhöfer (2019): Bollhöfer, A.; Schlosser, C. et al. *Journal of Environmental Radioactivity* (2019) 7-16, p. 205-206.

Koelzer (2017): Koelzer, W.: *Lexikon zur Kernenergie*. Online: <http://dx.doi.org/10.5445/KSP/1000065387>. Stand Januar 2017. Abgerufen im September 2021.

LJV (2020): <https://www.landesjagdverband.de/jagdpraxis/wildbrethygiene-und-wildkrankheiten/detail/artikel/caesium-137-belastung-beim-schwarzwild/a/show/>. Abgerufen im November 2020.

UA-BW (2019): https://www.ua-bw.de/pub/beitrag.asp?subid=0&Thema_ID=15&ID=3210&Pdf=No&lang=DE. Abgerufen im Januar 2020.

UM (2020): <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/kernenergie-und-strahlenschutz/strahlenschutz/ueberwachung-der-radioaktivitaet/kuenstliche-radioaktivitaet/routineueberwachung-der-umwelt/ueberwachung-der-folgen-des-tschernobyl-unfalls/>. Abgerufen im Januar 2020.

Kapitel 10 Überwachungs- und Warndienste

UNECE (1992): United Nations Economic Commission for Europe. UNECE-Übereinkommen über die grenzüberschreitenden Auswirkungen von Industrieunfällen (Industrieunfall-Konvention). Helsinki am 17. Mai 1992. ABl. I. 326/5.

