

# Resiliente Mobilität in Baden-Württemberg

Herausforderungen für und  
Anforderungen an ein elektrifiziertes  
Mobilitätssystem der Zukunft

# Resiliente Mobilität in Baden-Württemberg

Herausforderungen für und  
Anforderungen an ein elektrifiziertes  
Mobilitätssystem der Zukunft

Herausgeber

**e-mobil** <sup>BW</sup>   
Landesagentur für neue Mobilitätslösungen  
und Automotive Baden-Württemberg

Autoren

**izt**  Institut für  
Zukunftsstudien und  
Technologiebewertung



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Baden-Württemberg als Wegbereiter für eine nachhaltige und resiliente Mobilität der Zukunft</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Problemaufriss zur Resilienz und Vulnerabilität des integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems</b> .....	<b>12</b>
2.1 Resilienz als Hebel für Transformation .....	12
2.2 Das integrierte Systembild Verkehr und Mobilität .....	14
2.3 Mobilitätsspezifische Vulnerabilitäten .....	16
2.4 Resilienzkriterien und Auswirkungen auf das integrierte Verkehrs- und Mobilitätssystem .....	19
<b>3 Das integrierte Verkehrs- und Mobilitätssystem in Baden-Württemberg unter dem Leitbild der transformativen Resilienz</b> .....	<b>24</b>
3.1 Status quo auftretender Stressereignisse in Baden-Württemberg .....	24
3.2 Status quo Verkehrs- und Mobilitätssystem .....	33
3.3 Status quo Energiesystem .....	47
3.4 Status quo IKT-System .....	55
3.5 Einschätzung zur Resilienz des Verkehrs- und Mobilitätssystems .....	59
<b>4 Szenarien eines resilienten integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems für Baden-Württemberg</b> .....	<b>62</b>
4.1 Beschreibung der Handlungsfelder und Schlüsselfaktoren .....	63
4.2 Resilienz-Szenarien .....	68
<b>5 Resiliente Gestaltung der Transformation eines integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems in Baden-Württemberg</b> .....	<b>78</b>
5.1 Handlungsoptionen .....	79
5.2 Gestaltungsansätze .....	90
5.3 Fazit und Ausblick .....	94
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>96</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>113</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>113</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>114</b>

# Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

Wir stehen mitten im Beginn einer neuen Ära der Mobilität, die durch rasante technologische Fortschritte, sich wandelnde gesellschaftliche Bedürfnisse und vor allem durch die Notwendigkeit einer nachhaltigen und zukunftsfähigen Entwicklung gekennzeichnet ist. Vor dem Hintergrund der stetigen Entwicklungen und Herausforderungen unserer Zeit stellt sich die Frage nach der Resilienz unserer Systeme mit zunehmender Dringlichkeit. Resilienz, allgemein verstanden als die Fähigkeit eines Systems, Störungen zu widerstehen und sich von ihnen zu erholen, ist im Kontext der Mobilität von zentraler Bedeutung. Sie ist der Schlüssel, um den Herausforderungen des 21. Jahrhunderts wie Klimawandel, Digitalisierung und sozioökonomischen Veränderungen erfolgreich zu begegnen.

Die vorliegende Studie konzentriert sich auf das elektrifizierte Verkehrs- und Mobilitätssystem in Baden-Württemberg. Mit dem Konzept der "Transformativen Resilienz" als Leitidee beleuchten wir die komplexen Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen den Systemen Verkehr und Mobilität, Energie sowie Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT). Dabei wird bewusst auf eine große Bandbreite von Aspekten Wert gelegt, und es versteht sich von selbst, dass dadurch nicht jeder relevante Punkt umfassend und in der Tiefe behandelt werden kann. Die Studie versteht sich als eine wichtige Ressource für Entscheidungsträger, Fachleute und Interessierte, um die Komplexität und Vielschichtigkeit des Themas Resilienz zu verstehen und daraus weitere Schritte wie notwendige Tiefensonden und Einzelanalysen abzuleiten.

In einer Zeit, in der extreme Wetterereignisse, die digitale Vernetzung und der Wandel hin zu einer nachhaltigeren Gesellschaft zunehmend Einfluss auf die aktuelle Ausprägung und zukünftige Gestaltung Mobilität nehmen, ist es entscheidend, unsere Systeme resilienter zu machen. Dies erfordert ein Umdenken in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Wir müssen alle erdenklichen Vorkehrungen treffen, um uns zu schützen, aber auch akzeptieren, dass Vulnerabilität ein Teil unserer modernen Welt ist und lernen, mit unvorhersehbaren Störereignissen souverän umzugehen. Die Studie betont daher die Bedeutung eines integrierten Ansatzes, der die Wechselwirkungen zwischen Verkehr und Mobilität, Energie sowie Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) berücksichtigt.

Die Studie zeigt, dass in Baden-Württemberg entlang der fünf Handlungsfelder Elektromobilität, Mobilitätsdienstleistungen, Verkehrsinfrastruktur, Energieversorgung und Akteurskonstellationen bereits gute Grundlagen vorhanden sind, aber dennoch erhebliche Potenziale zur Steigerung der Resilienz bestehen. Daraus leitet sich ein Handlungsbedarf ab, um diese Potenziale zu erschließen und geeignete Maßnahmen für eine nachhaltige und resiliente Zukunft des Landes zu ergreifen.

Die Studie ist daher ein Appell an alle Akteure - von Politik, Wirtschaft und Wissenschaft bis hin zur Zivilgesellschaft - sich mit dem Thema Resilienz weiter intensiv auseinanderzusetzen und aktiv an der Gestaltung eines resilienten Gesamtsystems sowie der Subsysteme Mobilität und Verkehr, Energie und IKT mitzuwirken. Sie zeigt auf, wie mit dem Leitbild der transformativen Resilienz nachhaltige und weniger krisenanfällige Ge-

sellschaftssysteme entstehen können und fordert dazu auf, bestehende Abhängigkeiten und Verwundbarkeiten zu reduzieren.

Abschließend sei betont, dass Resilienz in der Mobilität nicht nur eine Herausforderung, sondern auch eine Chance ist, um zukünftigen Generationen eine lebenswerte und nachhaltige Welt zu hinterlassen. Es geht darum, relevante Technologien und Lösungen im Sinne eines „resilience by design“ zu entwickeln, anzuwenden und auch zu exportieren. Diese Studie soll Inspiration und Leitfaden sein, um diesen Weg gemeinsam zu beschreiten.

Abschließend möchten wir dem Team des IZT für ihren Beitrag zu dieser Studie danken. Durch ihre fachliche Expertise und analytische Arbeit haben sie maßgeblich dazu beigetragen, die Themen Resilienz und Mobilität in Baden-Württemberg zu beleuchten. Ihr Einsatz hat es ermöglicht, die komplexen Wechselwirkungen zwischen den Bereichen Verkehr, Energie und IKT deutlicher zu erfassen. Die Ergebnisse dieser Studie bilden einen wichtigen Schritt hin zu einer resilienteren und nachhaltigeren Zukunft und liefern wichtige Impulse für zukünftige Entscheidungen und Entwicklungen in diesem Bereich.



© e-mobil BW/KD Busch

Franz Loogen  
Geschäftsführer e-mobil BW  
GmbH – Landesagentur für  
neue Mobilitätslösungen und  
Automotive Baden-Württemberg



© e-mobil BW/KD Busch

Dr. Wolfgang Fischer  
Prokurist und Leiter Bereich  
Projekt- und Clusteraktivitäten  
der e-mobil BW GmbH

# 01

**Baden-Württemberg als  
Wegbereiter für eine nachhaltige und  
resiliente Mobilität der Zukunft**





# 01

## Baden-Württemberg als Wegbereiter für eine nachhaltige und resiliente Mobilität der Zukunft

„Baden-Württemberg hat sich das Ziel gesetzt, zum Wegbereiter für eine moderne und nachhaltige Mobilität der Zukunft zu werden. Dieser Anspruch verpflichtet insbesondere auch in Hinblick auf den gewaltigen Transformationsprozess, in dem sich die Mobilitätswirtschaft befindet. (...) Zur Zielerreichung brauchen wir in naher Zukunft emissionsfreie Antriebe und ein klimaneutrales Mobilitätssystem. Weitere Voraussetzung ist die Energiewende, denn ohne erneuerbare Energien gelingt die Verkehrswende nicht“, so Winfried Hermann, MdL, Minister für Verkehr Baden-Württemberg (VM BW, 2017, S. 4). In der Tat steht die Mobilitätspolitik im 21. Jahrhundert nicht nur vor der enormen Herausforderung der sozialökologischen Transformation des fossilen Verkehrssystems. Vielmehr ist sie zeitgleich gefordert, dessen funktionale Resilienz zu erhöhen, um auf zukünftige und durchaus unterschiedliche Stressereignisse vorbereitet zu sein (Rammler et al., 2021). Vor allem das immer häufigere Auftreten von extremen Wetterereignissen wie z.B. Starkregen, Stürmen mit schweren bis orkanartigen Böen sowie den damit verbundenen Folgen wie Überschwemmungen und abrutschende Hänge haben in den vergangenen Jahren auch in Baden-Württemberg die Funktionsfähigkeit des Verkehrs- und Mobilitätssystems mit seinen hochkomplexen und sensiblen Infrastrukturen stark beeinträchtigt. Darüber hinaus steigt mit der zunehmenden digitalen Durchdringung und Vernetzung der beiden Infrastruktursysteme Verkehr und Mobilität sowie Energie unter Anwendung der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) auch der Grad der Komplexität – das kann zu neuen Vulnerabilitäten führen.

Gerade diese Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit des Verkehrssektors kann potenziell weitreichende Auswirkungen auf andere gesellschaftliche und wirtschaftliche Funktionen haben (Voß et al. 2021). Ein resilientes Verkehrssystem hingegen, dessen Verkehrsinfrastruktur und Mobilitätsdienstleistungen weniger anfällig gegenüber Störereignissen sind, trägt zur Risikominimierung im Fall auftretender Notlagen bei und kann

Folgeschäden in anderen Sektoren begrenzen (BMI, 2022). Mit Blick auf den exponentiell steigenden Strombedarf unserer elektrifizierten und stark vernetzten modernen Gesellschaft bei gleichzeitiger Dezentralisierung des zunehmend auf erneuerbare Energien ausgerichteten Energiesystems wird die Frage nach einer stabilen und ausreichenden Stromversorgung nicht nur im Kontext der Funktionalität des Verkehrs- und Mobilitätssystems immer dringlicher. An Relevanz gewinnen auch kritische Fragestellungen, wie beispielsweise Abhängigkeiten von Exportländern fossiler Brennstoffe oder die Abhängigkeiten von Ressourcen wie seltenen Erden zur Herstellung von Batterien. Gleichzeitig werden in allen Bereichen der Energieversorgung immer mehr digitale Technologien eingesetzt, sodass hier nicht nur Chancen für die resiliente Gestaltung des Energiesystems, sondern auch neue Risiken (z. B. neue Angriffsflächen für Cyberattacken) entstehen (acatech et al., 2021).

Vor diesem Hintergrund ist für die gelingende sozialökologische Gestaltung einer zukunftsfähigen (elektrifizierten) Gesellschaft ein nachhaltiger Politikansatz unumgänglich: Es gilt, nicht nur die Fähigkeiten (weiter-)zuentwickeln und sich auf mögliche Krisen oder Stressereignisse vorzubereiten, sondern auch die Abhängigkeiten von wenig beeinflussbaren oder unvorhersehbaren externen Risiken sowie externe wie interne systemimmanente und dadurch beeinflussbare Vulnerabilitäten zu reduzieren. Dies aber setzt zunächst die Akzeptanz von Vulnerabilitäten und mithin einen souveränen Umgang mit unvorhergesehenen Störereignissen voraus. So können aus dem sozioökologischen Umbau in Zukunft nachhaltige und weniger krisenanfällige Gesellschaftssysteme hervorgehen. Demzufolge stellt sich für die Politik die Frage, wie das Leitbild der Nachhaltigkeit gezielt durch die politische Denkfigur der Resilienz unterstützt und im Sinne einer transformativen Resilienz zusammengeführt werden kann. Mit der Bewusstwerdung der Verletzlichkeit unserer modernen Gesellschaften, die lernen

müssen, mit neuartigen Krisen und deren kaum vorhersehbaren Auswirkungen und Folgeeffekten umzugehen, ist Resilienz als strategisches Mindset geradezu unabdingbar (Großklaus, 2022). So findet es sich in Rahmenwerken der Europäischen Union, der Vereinten Nationen, der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung sowie der G7 (Europäische Kommission, 2022; G7, 2022; OECD, 2021; United Nations, 2020) wieder. Und auch die Bundesregierung hat im Juli 2022 eine Resilienzstrategie vorgelegt (BMI, 2022).

Die Zielsetzung dieser Studie ist es, die Beziehungen und Wechselwirkungen der unterschiedlichen Komponenten eines elektrifizierten Verkehrs- und Mobilitätssystems in Baden-Württemberg mit dem Fokus auf den Verkehrsträger Straße unter dem Leitbild der transformativen Resilienz anhand ausgewählter systemischer Risiken und Stressereignisse exemplarisch auszuleuchten.

Dabei gilt es, die wesentlichen Eingriffs- und Steuerungspotenziale des Systemumfelds sowie das Zusammenspiel der drei Systeme Verkehr und Mobilität, Energie sowie Informations- und Kommunikationssystem im Sinne eines integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems zu betrachten.

Hieraus resultieren die folgenden drei Leitfragen:

1. Inwiefern eignet sich das Konzept der transformativen Resilienz als strategischer Ansatz für ein Verkehrs- und Mobilitätssystem der Zukunft?
2. Wie definiert sich ein „integriertes Verkehrs- und Mobilitätssystem“ und nach welchen Kriterien lässt es sich unter dem Leitbild der transformativen Resilienz bewerten?
3. Welche Herausforderungen und Chancen bringt das integrierte Verkehrs- und Mobilitätssystem in Baden-Württemberg mit sich und welche Handlungsoptionen und Gestaltungsansätze lassen sich hiervon ableiten?

Um sich dem Thema anzunähern, wurde auf einschlägige Studien zurückgegriffen (acatech et al., 2020; Gordon & Cole, 2021; Roth et al., 2021; Hafner et al., 2019; Kagermann et al., 2021; Rammner et al., 2021).

Nach Problemaufriss und Zielsetzung der Studie wird in Kapitel 2 das Konzept der transformativen Resilienz mit Blick auf ein integriertes Verkehrs- und Mobilitätssystem adaptiert. In einem

weiteren Schritt wird das Systembild für ein elektrifiziertes Verkehrs- und Mobilitätssystem (Kernsystem) skizziert und mit den Systemen Energie und Informations- und Kommunikationstechnologie verschnitten (Gesamtsystem). Hierauf aufbauend wird der Frage nachgegangen, mit welchen potenziellen neuen Vulnerabilitäten im Zuge der Verschneidung der Systeme Verkehr und Mobilität, Energie und IKT zukünftig zu rechnen ist. Hierfür werden die potenziellen systemischen Risiken und Stressereignisse für das Verkehrs- und Mobilitätssystem identifiziert. Dabei liegt der Fokus auf den folgenden Stressereignissen, die für den Verkehrsträger Straße als besonders risikoreich eingeschätzt werden:

1. Cyberattacken
2. Extremwetterereignisse
  - Sturmereignisse
  - Hochwasserereignisse
  - Hangrutschungen

Kapitel 3 widmet sich der Ermittlung des Status quo der drei Infrastruktursysteme Verkehr und Mobilität, Energie sowie IKT in Baden-Württemberg (Sekundäranalyse). Es werden die bestehenden Schwachstellen identifiziert und es wird exemplarisch aufgezeigt, wie ausgewählte künftige Entwicklungen und potenzielle Ereignisse mit hohem Krisenpotenzial sich jeweils auf das integrierte Gesamtsystem auswirken könnten.

Auf dieser Grundlage werden in Kapitel 4 unter dem Gestaltungsleitbild der transformativen Resilienz plausible Zukunftsszenarien eines integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems für die Jahre 2030 und 2040 in Baden-Württemberg entwickelt. Der Kontext liegt auf den bereits bestehenden Strategien und Konzepten des Bundeslandes zur Umsetzung beispielsweise des Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetzes (KlimaG BW).

Kapitel 5 zeigt schließlich Handlungsoptionen und Gestaltungsansätze für ein integriertes Verkehrs- und Mobilitätssystem im Sinne des Leitkonzepts der transformativen Resilienz. Abgerundet wird die Studie mit einem Fazit und einem Ausblick über weitere Forschungsbedarfe.

# 02

## **Problemaufriss zur Resilienz und Vulnerabilität des integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems**



# 02

## Problemaufriss zur Resilienz und Vulnerabilität des integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems

### 2.1 Resilienz als Hebel für Transformation

Der insbesondere durch die Humanökologie geprägte Begriff der Resilienz kam bereits im Laufe der 1990er-Jahre international in Mode.<sup>1</sup> In dieser Zeit wurde er zunächst ganz allgemein für Phänomene der Widerstandsfähigkeit von sozialen Systemen gegenüber Naturrisiken verwendet. Schnell hat sich der Resilienzbegriff zu einem Schlüsselbegriff des 21. Jahrhunderts entwickelt: Menschen sollen resilient sein, Gesellschaften und Staaten ebenso (Brinkmann et al., 2017; Bröckling, 2012). In einem reaktiven, statischen Verständnis beschreibt Resilienz die Fähigkeit komplexer Systeme, beispielsweise einer Gesellschaft, einer Region, einer digitalen Infrastruktur oder auch des Energie- oder Verkehrssystems, mit Störungen und Stressereignissen umzugehen, dabei die Grundstrukturen und wesentlichen Funktionen zu erhalten und wiederherzustellen bzw. in einen stabilen Ausgangszustand zurückzufedern („bounce back“). Im Kern geht es bei den jeweiligen Resilienzstrategien darum, einen Kollaps des Systems zu verhindern. Resilienz zielt auf die Selbsterhaltung eines Systems im Hinblick auf die identitätsbedeutsamen Funktionen und Kerneigenschaften ab (Plöger & Lang, 2013; Olsson et al., 2015; Hafner et al., 2019; Rammler et al., 2021; Rudloff, 2022). Vor diesem Hintergrund ist unter Resilienz eine langfristige systemische „Kapazität“ zu verstehen, die eng mit einem institutionellen Milieu verbunden ist, das die stetige Weiterentwicklung des Systems ermöglicht. Dies beinhaltet auch die Fähigkeit, das Verharren in negativen Entwicklungspfaden durch „Lock-ins“ vorausschauend zu verhindern, und ist Bestandteil einer Kultur, die beständig wesentliche Eigenschaften des Systems verbessert und institutionelles Lernen ermöglicht. Elemente einer solchen institutionellen Umgebung würden Experimentier- und Risikobereitschaft sowie Innovationen

als Reaktion auf erwartete oder erlebte externe Herausforderungen und Bedrohungen begünstigen.

Krisen und die Vorbereitung auf solche Möglichkeitsräume können demzufolge grundlegende Veränderung und Verbesserung schaffen („bounce forward“; Hafner et al., 2019; Rammler et al., 2021). Hieraus lässt sich das in der Resilienz verankerte transformative Potenzial ableiten; es birgt die Möglichkeiten und Chancen, die Veränderungsfähigkeit eines Systems zu nutzen – und zwar unabhängig davon, ob mögliche Stressereignisse und/oder Krisen wirklich eintreten (Großklaus, 2022). Damit dies gelingen kann, muss ein System seine Lern- und Wandlungsfähigkeit zielgerichtet weiterentwickeln (vgl. Rammler et al., 2021). Um Resilienz als transformativen Hebel für eine nachhaltigere Politik nutzen zu können, genügt es also nicht, nur einen strategischen Fokus auf Bewahrendes und auf Systemerhalt zu setzen. Vielmehr sind in dem Konzept der transformativen Resilienz auch Handlungsspielräume für einen tiefgreifenden Wandel angelegt: Es gilt, Systeme zukunftsfähig zu gestalten und dadurch nachhaltige Entwicklungen zu ermöglichen. Demnach ist unter transformativer Resilienz die Fähigkeit gegenwärtiger wie zukünftiger Gesellschaften zu verstehen, neben der Verwirklichung einer nachhaltigen Transformation mit den zu erwartenden Krisen der Zukunft angemessen und klug umzugehen. Der Mehrwert dieser neuen Perspektive besteht darin, Nachhaltigkeit, Resilienz und Transformation produktiv für gesellschaftliche Entscheidungsfindungsprozesse miteinander zu verbinden (Rammler et al., 2021). So können die Ziele der Nachhaltigkeit „einen Wertekompass zur Entwicklung einer resilienten Gesellschaft, die nicht nur widerstands- und anpassungsfähig, sondern auch zivilisatorisch wünschenswert ist“, liefern (Beer & Rammler, 2021, S. 20). Wenngleich diese Gestaltungsziele in der Praxis

<sup>1</sup> | Zur Vielfältigkeit der Verwendung des Resilienzbegriffs und seiner Bedeutung siehe auch Norf, C. (2020).

in Konkurrenz stehen können und immer wieder neu verhandelt werden müssen, kann das Konzept der transformativen Resilienz einen idealtypischen Hebel für eine Politikgestaltung, die auf Nachhaltigkeitstransformation abzielt, darstellen (Großklaus, 2022).

Um den abstrakten Resilienzbezug für eine vorausschauende Resilienzpolitik handhabbar zu machen, wird in Anlehnung an die begrifflichen Vorarbeiten und Differenzierungen von Edwards, 2009, Behrendt, 2022, Hafner et al., 2019, und Rammler et al., 2021, zwischen drei anwendungsorientierten Dimensionen der Resilienz unterschieden, die im Folgenden näher betrachtet werden. Diese Dimensionen variieren jeweils in ihrer strategischen Zielstellung, ihren Wirkungen, der Entwicklung konkreter Fähigkeiten eines Systems sowie in der Komplexität ihrer Umsetzung. Dabei gilt, je weiter rechts in der Skala, desto größer ist die Zukunftsorientierung und mithin das Potenzial zur (sozialökologischen) Transformation (siehe Abb. 1).

Die erste Dimension beschreibt die strategische Ausrichtung an einem statischen Leitbild: Der Erhalt eines bestehenden Systems und seiner Funktionsweisen bleibt hier der einzige Fokus. Die Maßnahmen zielen auf Gefahrenabwehr und Risikominimierung (Benedikter & Fathi, 2013; Hafner et al., 2019; Rammler et al., 2021) ab. Bereits in der zweiten Dimension von

Resilienz verschiebt sich der Fokus hin zur aktiven, dauerhaften und zielgerichteten Strategie mit Blick auf Veränderung. Der Schwerpunkt liegt auf der Fähigkeit von Systemen, im Einklang mit einem sich schnell wandelnden Umfeld zu koexistieren (siehe Behrendt, 2022; Benedikter & Fathi, 2013; Hafner et al., 2019, S. 11; Rammler et al., 2021). Die ersten beiden Dimensionen sind auf Selbsterhaltung gerichtet, ohne beispielsweise die strukturellen Ursachen für die Verwundbarkeit entsprechend zu verändern. Bei der dritten Dimension hingegen steht die Veränderung im Fokus. Diese beschreibt die Fähigkeit, den disruptiven Moment von Krisen als Potenzial zu nutzen, um tragfähigere Strukturen zu schaffen, sowie die Fähigkeit, durch entsprechende Strategien („Resilienzdenken“) solche weniger vulnerablen Strukturen bereits vor einem eventuellen Eintritt einer Krise oder eines Störeeignisses zu entwickeln. Resilienzpolitik, die auf systemische Transformationsfähigkeit abzielt, geht über strategische Anpassungsfähigkeit insofern hinaus, als sie Veränderung zum zentralen Ziel macht. Transformativ Resilienz bezeichnet hier die Fähigkeit, „unter unsicheren und wechselnden Bedingungen erfolgreich die nachhaltige Entwicklung der Gesellschaft voranzutreiben“ (Beer & Rammler, 2021, S. 21, vgl. auch Großklaus, 2022).

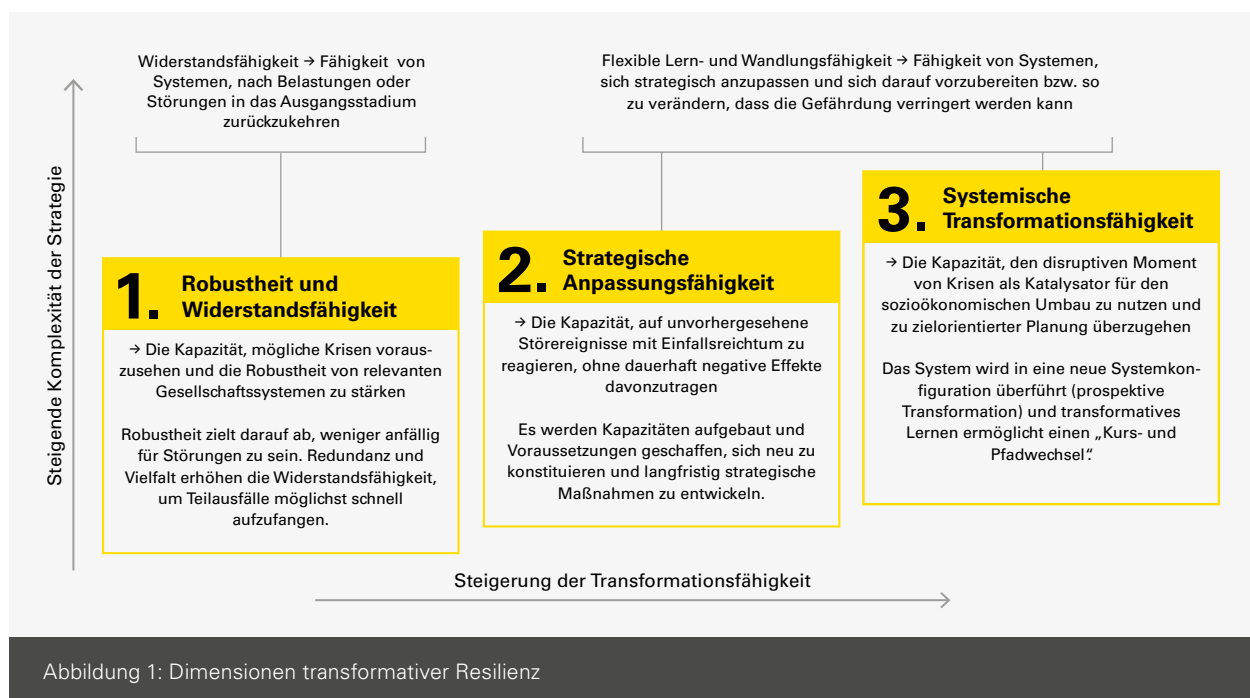


Abbildung 1: Dimensionen transformativer Resilienz

## 2.2 Das integrierte Systembild Verkehr und Mobilität

Der Ansatz eines integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems ist charakterisiert durch die Verschneidung der Infrastruktursysteme Verkehr und Mobilität, Energie sowie IKT. In Bezug auf die Entwicklung unserer Gesellschaft hin zu einer vollumfänglich elektrifizierten und vernetzten Gesellschaft stellt sich vor allem im Kontext der kritischen Infrastrukturen (siehe Kap. 2.3) die grundlegende Frage, ob die Stromversorgung – angesichts des steigenden Energiebedarfs bzw. der steigenden Stromnachfrage, neuer Anforderungen insbesondere an die Verteil- und Übertragungsnetze sowie des volatilen Charakters erneuerbarer Energieträger – für Bevölkerung und Wirtschaft stabil und sicher genug ist.

Aktuell wird diese Debatte meist im Kontext der Ladeinfrastruktur und des Hochlaufs der Elektromobilität geführt: Inwieweit kann ein harmonisierter Ausbau der Netze erfolgen und das vor dem Hintergrund der ambitionierten Zielstellung von 15 Millionen batterieelektrischen Fahrzeugen bis 2030 (Bundesregierung, 2022)? Reichen die Netzkapazitäten auch dann noch aus, wenn Millionen Wärmepumpen zeitgleich in Betrieb sind und darüber hinaus Strom aus erneuerbaren Energien für die lokale Herstellung von Wasserstoff für den Industriesektor benötigt wird? Darf das Konzept der Resilienz über dem Leitbild der Nachhaltigkeit stehen? Denn gerade durch die Durchdringung der Systeme der kritischen Infrastrukturen entstehen neue Vulnerabilitäten, die die Infrastrukturen und die Gesellschaft vor neue Herausforderungen stellen. Ohne Zweifel sind sowohl Verkehrsinfrastruktur als auch Mobilitätsdienstleistungen für die Funktionsfähigkeit der Gesellschaft unabdingbar. In der Regel sind beide Elemente bei auftretenden Schadensereignissen direkt oder indirekt von Schäden betroffen. Dies macht deutlich, dass die resiliente Gestaltung des Verkehrs- und Mobilitätssystems und damit die vorausschauende Planung der gebauten und unterhaltenden Verkehrsinfrastruktur notwendig ist, um auf mögliche Schadensereignisse auch vorbereitet zu sein (BMI, 2022).

Mobilität stellt eine Basisfunktion moderner arbeitsteiliger Gesellschaften dar und lässt sich nicht allein mit verkehrstechnischen Parametern wie Verkehrsinfrastrukturen, Verkehrsmitteln und Nutzungsmustern beschreiben (Rammler & Schwedes, 2018; Rammler et al., 2021). Vielmehr kann Mobili-

tät als „Bewegung in möglichen Räumen“ und Verkehr als „Bewegung in konkreten Räumen“ definiert werden (Canzler & Knie, 1998; Schwedes et al., 2018). Ohne Mobilität sind „Daseinsgrundfunktionen“ unserer Gesellschaft wie zum Beispiel die Versorgung mit Grundnahrungsmitteln und Gütern sowie das Wohnen und Arbeiten nicht in dieser Form möglich. Folglich ist Mobilität sowohl für die soziale Teilhabe als auch für die persönliche Entfaltung und die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit einer Gesellschaft notwendige Voraussetzung (Bertram & Bongard, 2014). Andersherum sind genau diese verkehrstechnischen und verkehrswissenschaftlichen Parameter notwendig, um das Mobilitätsverhalten und -ausprägungen der Bevölkerung zu beschreiben, zu vergleichen und zu analysieren. Folglich werden in dieser Studie die Systeme Verkehr und Mobilität zusammen betrachtet.<sup>2</sup>

Das Kernsystem umfasst die klassischen Verkehrs- und Mobilitätskomponenten wie Verkehrsinfrastruktur, Verkehrsarten, -mittel und -träger sowie das Mobilitätsverhalten der Menschen.

Unter Berücksichtigung aktueller Entwicklungen im Verkehrs- und Mobilitätssystem zählen neben der klassischen Verkehrsinfrastruktur wie beispielsweise Straßen, Straßenbauwerke, Parkplätze oder Lichtsignalanlagen auch Ladeinfrastruktur bzw. Wasserstofftankstellen für Elektrofahrzeuge zum Kernsystem. Ebenso wird im Kernsystem der öffentliche Verkehr bzw. öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) bereits als „geteilte Mobilität“ verstanden und damit um „neue Mobilitätslösungen“ wie diverse Sharing-Modelle (Pkw und Fahrrad) erweitert. Die Wechselbeziehungen der einzelnen Komponenten untereinander sind für das Verständnis des Gesamtsystems Verkehr und Mobilität gleichermaßen relevant wie die wechselseitigen Dynamiken mit den sogenannten Mobilitätsumfeldern (siehe Abb. 2). In den Mobilitätsumfeldern selbst spiegeln sich die auf das Verkehrs- und Mobilitätssystem wirkenden gesellschaftlichen Entwicklungen und Einflüsse wider, die in der Folge zu Weiterentwicklungen bzw. Veränderungen des Systems führen.

Für eine systemische und ganzheitliche Resilienz Betrachtung sowie aus heuristischen Gründen muss das Kernsystembild daher um Komponenten aus den Energie- und IKT-Systemen entsprechend erweitert werden (siehe Abb. 3). Energieseitig sind das vor allem die Komponenten erneuerbarer Energien,

<sup>2</sup> | Der Begriff Mobilität bezieht sich auf die subjektiven Möglichkeitsräume der Ortsveränderung, während der Begriff Verkehr die konkrete (physische) Bewegung im Raum meint (Schwedes et al., 2018)

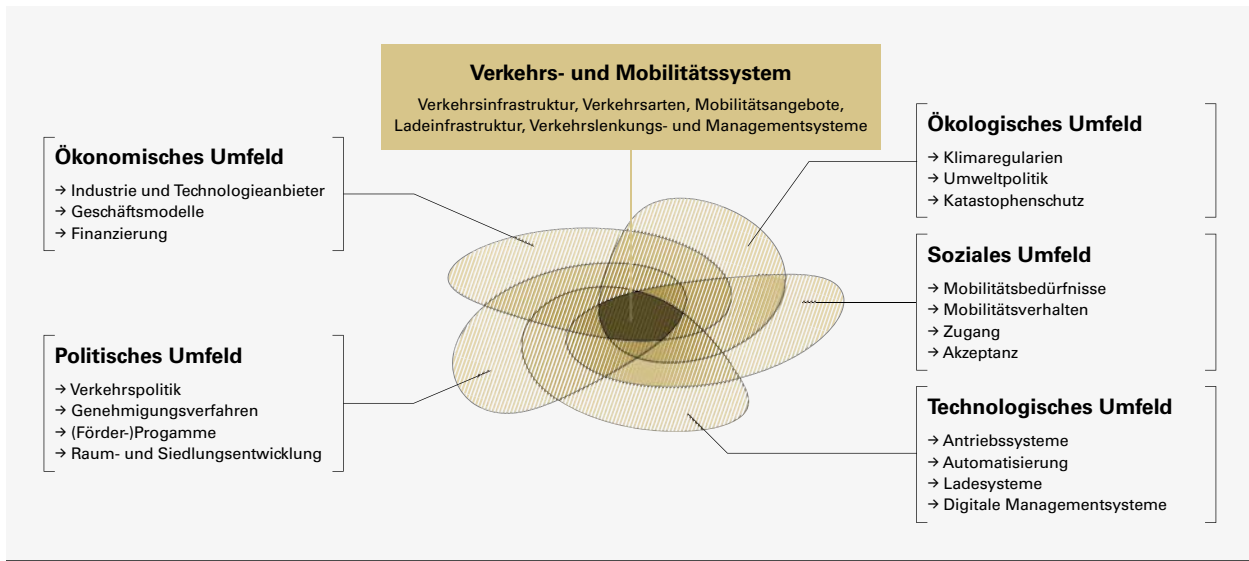


Abbildung 2: Kernsystem Verkehr und Mobilität und Mobilitätsumfelder

**Infobox 1**

**Überblick über die Systemkomponenten Verkehr und Mobilität**

Komponenten	Erläuterung
<b>Verkehrsinfrastruktur</b> (erweitert um Elektromobilität)	Verkehrsträger (z. B. Straßen, Schienen, Schiffsfahrwege), Verkehrsanlagen und -objekte (z. B.: Straßenbauwerke wie Tunnel, Brücken), Parkplätze, Park-and-Ride-Anlagen, Verkehrslenkungssystem (z. B. Ampelanlagen, Verkehrsschilder), Ladeinfrastruktur (öffentlich und privat) und H <sub>2</sub> -Tankstellennetz
<b>Verkehrsmittel</b>	Kfz-Flottenzusammensetzung und -entwicklung (Bestandsflotte, Neuzulassungen von z. B. Pkw, BEV, PHEV, FCEV, SNF, LNF), Umweltverbund (ÖV wie z. B. Bus und Bahn im ÖPNV und SPNV und Fahrrad- und Fußverkehr); Inter- und Multimodalitätsangebote (z. B. Mobility-Hubs oder Mobilitätsäulen)
<b>Geteilte Mobilität</b> (inklusive digitale App-basierte Mobilitätsdienstleistungen)	Fahrangebote und Dienstleistungen des klassischen ÖV (Beförderungsangebote Bus/Bahn im ländlichen und städtischen Raum), Fahrgastzahlen, Flottenentwicklungen, Personal- und Betriebsführung kommunale Verkehrsbetriebe, Tarif- und Bezahlssysteme, neue Mobilitätsdienstleistungen (z. B. Car-/Bikesharing, MaaS), Mobilitätsbudget und -garantie, ÖPNV-Abonnements
<b>Mobilität/Mobilitätsverhalten</b>	Mobilitätsquote, Wegezwecke, -länge und -dauer, Modal Split, Verkehrsleistung, Präferenzen (Vorlieben und soziodemografischer Hintergrund)
<b>Verkehrsinformations-/Verkehrsmanagementsystem</b> (erweitert um intelligente Verkehrslösungen)	Verkehrsüberwachungs-/Navigationssysteme, Verkehrsdaten/-plattformen (z. B. Staumeldungen, Parkleitsysteme oder ÖPNV-Auskünfte)
<b>Verkehrsrechtlicher und institutioneller Rahmen</b> (auf EU-, Bundes-, Landes- und Kommunalebene)	Straßenverkehrsordnung, Standardisierung (z. B. hinsichtlich Zugangs- und Bezahlssystemen, Roaming-Plattformen, mobiler Speicher und gesteuerten Ladens), CO <sub>2</sub> -Flottengrenzwerte



Stromerzeugung und -verbrauch, Stromnetze und Speichertechnologien. IKT-seitig ergänzen die Komponenten digitale Infrastrukturen (Mobilfunk und Breitband), Datengovernance, Plattformen und Cybersicherheit das Systembild Verkehr und Mobilität. Dabei sind vor allem die Schnittstellen zwischen den drei Systemen für die weitere Resilienzanalyse von besonderer Relevanz. Hier nimmt die Entwicklung der Elektromobilität, intelligenter Netze und Speicherlösungen einen zentralen Stellenwert ein.

Mit Blick auf die gesellschaftlichen Entwicklungen führen gerade die Elektrifizierung und die Digitalisierung unserer Gesellschaft immer weiter zu einer Verschneidung der drei Systeme Verkehr und Mobilität, Energie sowie IKT. In Anbetracht der technologischen Entwicklungen wie zum Beispiel autonom-vernetztes Fahren, bidirektionales Laden oder intelligente Netze, die im weiteren Verlauf der Studie noch näher beleuchtet werden, entwickelt sich das Verkehrs- und Mobilitätssystem perspektivisch zu einem hochkomplexen Gesamtsystem.

### 2.3 Mobilitätsspezifische Vulnerabilitäten

Der Verkehrssektor ist einer der Sektoren, die im besonderen Maße von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sind.

Beschädigungen der Verkehrsinfrastruktur können infolge von Extremwetterereignissen zu Unterbrechungen der Verkehrsabläufe führen, welche die Verkehrssicherheit gefährden können, sowie hohe Instandhaltungskosten nach sich ziehen. Dabei kann die Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit des Verkehrssektors durch Klimarisiken potenziell weitreichende Auswirkungen auf andere gesellschaftliche und wirtschaftliche Funktionen haben (Voß et al., 2021). Das frühzeitige Erkennen von Krisen und damit verbundenen Vulnerabilitäten ist eine Voraussetzung für Prävention und Krisenbewältigung und somit ein wesentlicher Bestandteil einer Strategie zur Steigerung der Resilienz von Gesellschaft, Wirtschaft und Politik (Rammler et al., 2021).

Die Vulnerabilität, das heißt die Verwundbarkeit eines Systems<sup>3</sup>, nimmt mit dem Grad der Komplexität des jeweiligen Systems sowie mit steigender gesellschaftlicher Bedeutung, insbesondere hinsichtlich der Versorgungssicherheit, zu. Demzufolge lassen sich vor allem Systeme der kritischen Infrastrukturen als hoch vulnerabel einordnen (BBK, 2009). Obwohl das Verkehrs- und Mobilitätssystem ebenfalls den kritischen Infrastrukturen zuzuordnen ist, haben die Konzepte „Resilienz“ und „Vulnerabilität“ bislang wenig Beachtung in der verkehrswissenschaftlichen Forschung gefunden (Schelewsky & Canzler, 2017).

<sup>3</sup> | In diesem Kontext wird von Systemen wie dem Verkehrs- und Mobilitätssystem oder dem Energiesystem gesprochen. System wird explizit nicht als Gesellschaft verstanden. Im Kontext von Vulnerabilität und Gesellschaften wie z. B. Ländern und Regionen muss der Vulnerabilitätsbegriff anders konnotiert werden. Die Verwundbarkeit von Gesellschaften ergibt sich einerseits von innen (Zusammensetzung gesellschaftlicher Parameter wie Demographie oder soziale und wirtschaftliche Entwicklung), andererseits von außen, insbesondere aufgrund klimatischer und umweltbezogener Einflüsse (Risikoregionen für Extremwetter und Naturkatastrophen), aber auch politischer (konfliktthafter) Entwicklungen.

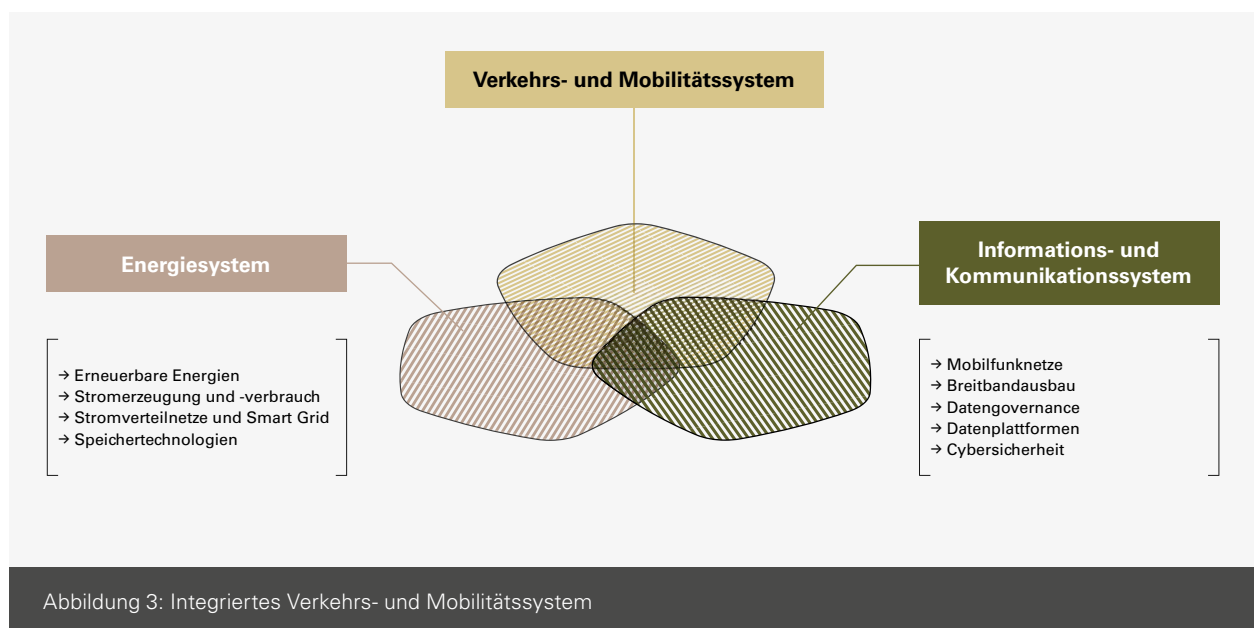


Abbildung 3: Integriertes Verkehrs- und Mobilitätssystem

Das Konzept der Vulnerabilität kann in Analogie zum Konzept der transformativen Resilienz als direkte Vulnerabilität betrachtet werden; also die Verwundbarkeit eines Systems aus dem technisch-funktionalen Zusammenhang seiner Komponenten sowie Schnittstellen zu anderen Systemen heraus. Die indirekte Vulnerabilität hingegen adressiert beispielsweise die Folgen einer eingeschränkten Funktionalität des Systems für andere Systeme und folglich bei Systemen der kritischen Infrastrukturen für die gesamte Gesellschaft (Rammler et al., 2021). Für die Resilienzanalyse im Rahmen dieser Studie bietet sich beides an. Im Zuge der Elektrifizierung und Digitalisierung wird das integrierte Verkehrs- und Mobilitätssystem zu einem hoch vernetzten Wirkungsgefüge. Gleiches gilt für digitale Infrastrukturen wie Breitband- und Mobilfunknetze. Intelligente Verkehrsleit- und -informationssysteme oder IKT-Anwendungen, die beispielsweise das Laden von Elektrofahrzeugen und den Stromverbrauch von Verbraucher:innen datenbasiert in Echtzeit abgleichen und steuern können, basieren auf einer stabilen und schnellen Datenübertragung. Damit sichern Strom- sowie Gigabit-Versorgung auch mit Blick auf das Verkehrs- und Mobilitätssystem die soziale Teilhabe und Versorgungssicherheit und darüber hinaus die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit einer Gesellschaft.

Gerade dieses Zusammenspiel der systemischen Komponenten (siehe Abb. 1 und 2) führt zu neuen Vulnerabilitäten in Form von systemischen Risiken, die nicht nur neue Anforderungen an die Systeme stellen, sondern auch durch ihre Wirkungsgefüge einen erheblichen Einfluss auf deren Funktionsfähigkeit haben. Dies ist beispielsweise dann gegeben, wenn Mobilität als Daseinsvorsorge und soziale Teilhabe oder auch die Versorgungssicherheit kritischer Güter nicht mehr gewährleistet werden kann bzw. nur noch eingeschränkt möglich ist. So kann die Instabilität von Lieferketten die Versorgungssicherheit gefährden und damit weitreichende Folgen für den Wirtschaftsstandort Deutschland haben.

Insofern gelten das Verkehrs- und Mobilitätssystem, ebenso wie die Systeme Energie und IKT als kritische Infrastrukturen (KRITIS), die definiert sind als „Organisationen oder Einrichtungen mit wichtiger Bedeutung für das staatliche Gemeinwesen, bei deren Ausfall oder Beeinträchtigung nachhaltig wirkende Versorgungsengpässe, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere dramatische Folgen eintreten würden“ (BBK, 2023; 2023a). Neben den Vulnerabilitäten, die sich durch diese Abhängigkeiten ergeben, entstehen mit der Integration der Systeme konkrete Gefährdungen. Diese adressieren die Funktionalität des Systems und werden damit

im Kontext der indirekten Vulnerabilität diskutiert. Diese Gefährdungen lassen sich als systemische Risiken beschreiben, die sich ihrerseits durch hohe Komplexitäten und Abhängigkeiten auszeichnen und über die eigenen Systemgrenzen hinausgehen (Schweizer & Renn, 2019). Übergeordnet steht die Gefährdung durch den Klimawandel (UM BW, 2023). Auch wenn die Gefährdung nicht unmittelbar aus der Integration der Systeme heraus entsteht, können dennoch die lokalen und globalen Folgen des Klimawandels eine Gesellschaft massiv beeinträchtigen und unter finanziellen und sozialen Druck setzen (z. B. Kosten für das Gesundheitssystem). Die auf den Klimawandel zurückzuführenden Rahmenbedingungen stellen die Systeme vor neue Herausforderungen und stoßen demzufolge tiefgreifende Transformationsprozesse an. Unterstützende Maßnahmen zur Minderung und Anpassung an die Folgen des Klimawandels tragen zur weiteren Integration der Systeme Verkehr und Mobilität, Energie sowie IKT bei. So können beispielsweise intelligente Messsysteme und gesteuertes Laden von Elektrofahrzeugen zur Netzstabilität und Integration der erneuerbaren Energien führen. Demgegenüber stehen die (physischen) Infrastrukturen des Verkehrs- und Mobilitätssystems, die exponentiell anfällig für die Folgen des Klimawandels, insbesondere von Extremwetterereignissen, sind. In Folge von Stürmen und Starkregen oder Naturkatastrophen wie Hurrikans sind in erster Linie Schäden an Straßen und Brücken möglich, aber auch an den Infrastrukturen der Systeme Energie und IKT, z. B. an Verteil- und Übertragungsnetzen, Umspannwerken oder Funk- und Sendemasten. Insgesamt haben solche Schäden das Potenzial, sich zu einer versorgungsbedrohlichen Situation für die Bevölkerung zu entwickeln.

Aus der Integration der drei hier betrachteten kritischen Infrastruktursysteme ergeben sich zudem weitere systemische Risiken. Diese umfassen in erster Linie Bedrohungen aus dem „Cyberraum“. So wächst mit der Digitalisierung der Verwaltung und Steuerung kritischer Infrastrukturen, insbesondere in allen Bereichen der Energieversorgung, auch das Risiko beispielsweise von Cyberangriffen und -attacken (Haug et al., 2021). Neben dem Ziel, mögliche Opfer (z. B. Netzbetreiber) zu erpressen – Wiederfreigabe von Daten und Computersystemen gegen Geld –, sind auch politisch motivierte Cyberangriffe, die es auf die Funktionsfähigkeit des Systems und die Stabilität von Gesellschaften abgesehen haben, längst nicht mehr auszuschließen.

Für eine Operationalisierung der systemischen Risiken mit Blick auf das weitere Vorgehen wird in dieser Studie von

Stressereignisse	Kurzbeschreibung
<b>Extremwetterereignisse</b>	Die Zunahme von immer extremer auftretenden Wetteranomalien in Folge des Klimawandels. Extremwetterereignisse sind z. B. steigende Temperaturen, insbesondere Hitzeperioden, veränderte Niederschlagsmuster wie Starkniederschläge und Trockenheit. Dabei können diese wiederum weitere Stressereignisse wie Hangrutschungen, Hoch- und Niedrigwasser auslösen. Alle Auswirkungen extremer Wetterereignisse können zu Schäden an der (physischen) Infrastruktur führen, die Sicherheit der Bevölkerung sowie die Versorgung und die soziale Teilhabe gefährden. Gleichzeitig verursachen sie gesellschaftliche Kosten, z. B. für den Wiederaufbau von Straßen (Voß et al., 2021).
<b>Naturkatastrophen</b>	Naturkatastrophen stellen eine Sonderform von extremen Wetterereignissen dar. Sie treten plötzlich und in einer hohen Intensität auf (Wirkungsgrad und Folgen). Beispiele für Naturkatastrophen sind Vulkanausbrüche, Erdbeben oder Tsunamis. Schäden richten sich ebenfalls auf die (physischen) Infrastrukturen, wobei im Fall von Naturkatastrophen die Versorgungssicherheit der Menschen besonders stark betroffen ist und es zu langwierigen Beeinträchtigungen kommen kann.
<b>Epidemien/Pandemien</b>	Lokal begrenzte oder länderübergreifende Epidemien bzw. globale Pandemien entstehen durch Infektionskrankheiten, die durch Viren oder Bakterien verursacht werden und sich vielfach durch Tier-Mensch-Übertragungen ausbreiten. Die COVID-19-Pandemie hat gezeigt, wie verletzlich unser Verkehrs- und Mobilitätssystem ist. Zahlreiche empirische Studien belegen die unter Pandemiebedingungen erfolgte Destabilisierung des Kollektivverkehrs bei einer gleichzeitigen Restabilisierung des Individualverkehrs.
<b>Soziale Krisen</b>	Unter dem Begriff „soziale Krisen“ oder auch „soziale Katastrophen“ werden jene Ereignisse zusammengefasst, die aus gesellschaftlichen, ethnischen, kulturell-religiösen Konfliktlinien und Asymmetrien resultieren. Sie können durch Megatrends wie Klimawandel, Urbanisierung oder Digitalisierung verschärft werden.
<b>Technisch-industrielle Katastrophen</b>	Diese Art von Katastrophe bezieht sich auf Vorgänge bzw. Unfälle in (Groß-)Industrieanlagen. Diese können auf nicht regel-/systemkonformes Verhalten oder auf menschliches Versagen zurückgeführt werden. Mit dem Einsatz von IKT und der Digitalisierung von Abläufen und Prozessen sind gezielte Manipulationen eine weitere mögliche Ursache. Umfang und Wirkungs-dauer der Schäden richten sich nach Art der Großanlage und können massive langanhaltende Beeinträchtigungen auslösen.
<b>Cyberattacken</b>	Cyberattacken beschreiben Angriffe aus dem digitalen Raum und umfassen meist den unbefugten Zugriff auf (Computer-)Systeme und den damit verbundenen Zugriff auf sensible Daten. Durch die digitale Vernetzung verschiedener Verkehrsmittel, -träger und Infrastrukturen auf technischer sowie unternehmerischer Seite steigt das Risiko für Cyberattacken, insbesondere an der Schnittstelle zu den Nutzer:innen (Rammler et al. 2021; Schelewsky & Canzler, 2017). Mögliche Folgen sind z.B. temporäre Betriebsstörungen, Unterbrechungen sowie Störungen von Infrastrukturen und Verkehrsabläufen, aber auch betriebswirtschaftliche Probleme der Betreiberfirmen wie gesteigerte Kosten oder Imageschäden (bei Datensicherheitsproblemen).

Quelle: eigene Darstellung IZT

Tabelle 1: Potenzielle Stressereignisse für das integrierte Verkehrs- und Mobilitätssystem

Stressereignissen gesprochen. Damit wird begrifflich darauf Bezug genommen, dass das integrierte System sowohl von außen als auch von innen einem nicht zu unterschätzenden Stress ausgesetzt ist, was den Druck auf die resiliente Gestaltung des Systems weiter erhöht. Im Kontext eines integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems und der damit einhergehenden gesteigerten Vulnerabilität sind darüber hinaus drei Gestaltungsparadoxe zu berücksichtigen.

Das Interdependenzparadox besagt, dass mit zunehmender Komplexität des Verkehrs- und Mobilitätssystems das Risiko der Fortsetzung möglicher Stressereignisse und der Akkumulation der damit einhergehenden Schäden im gesamten System steigt. Das Adaptionparadox beschreibt, dass Maßnahmen zur Anpassung an ein bestimmtes Stressereignis durchaus zur Vulnerabilitätssteigerung in Bezug auf ein anderes Stressereignis beitragen können. Das Digitalisierungsparadox bedeutet, dass durch die zunehmende Anwendung von digitalen Technologien und ihrer systemischen Einbettung nicht nur die Resilienz der Systeme gesteigert wird, sondern gleichzeitig ihre Vulnerabilität erhöht wird (Rammler et al., 2021).

#### **2.4 Resilienz Kriterien und Auswirkungen auf das integrierte Verkehrs- und Mobilitätssystem**

Die Entwicklung und die Operationalisierung der Resilienz Kriterien basieren auf dem vorgestellten Resilienzkonzept (siehe Kap. 2.1) sowie dem zugrunde liegenden Ordnungsmodell (in Anlehnung an Rammler et al., 2021), das die technisch-organisatorischen Aspekte sowie gesellschaftliche und kulturelle Faktoren differenziert.

Die Resilienz Kriterien sind von entscheidender Bedeutung, wenn es um Ansatzpunkte für gezielte Maßnahmen geht, die auf die Widerstands- und Anpassungsfähigkeit der Systeme abzielen. Die technisch-organisatorische Ebene (1. Ordnungsebene) adressiert die grundlegenden Elemente der jeweiligen Infrastruktur mit dem Ziel, die Funktionsfähigkeit des Systems zu stabilisieren oder wiederherzustellen. Die gesellschaftliche Ebene (2. Ordnungsebene) schließt Effekte, Kosten und Wechselwirkungen mit anderen Systemen (ökonomisches, soziales oder politisches System) in die Resilienzmaßnahmen ein. Die kulturelle Ebene (3. Ordnungsebene) bezieht sich auf langfristige transformative Prozesse, die auf eine relevante Systemveränderung zielen und Einstellungsmuster, Werte und Verhaltensweisen der Menschen betreffen.

Der Fokus der Studie liegt auf den funktionstechnischen Aspekten und somit auf der ersten Ordnungsebene. Die zweite und dritte Ordnungsebene werden nur am Rande behandelt bzw. sind nicht explizit Gegenstand dieser Studie.

Ordnungsebene	Transformative mobilitätsbezogene Resilienz
<b>Technisch-organisatorisch</b>	<p><b>Bezeichnung für Resilienz des Verkehrssystems als technisch-organisatorischer Zusammenhang in seinen einzelnen Komponenten und Schnittstellen gegenüber Stressereignissen.</b></p> <p>So kann die reaktive Anpassungsfähigkeit (Robustheit) und Widerstandsfähigkeit des Verkehrs- und Mobilitätssystems durch Erhaltungsinvestitionen in die Verkehrsinfrastruktur gegenüber Störereignissen gesteigert werden. Darüber hinaus können redundante Systemarchitekturen aufgebaut werden, damit im Fall eines eintretenden Störereignisses ausgefallene Komponenten durch funktionsidentische Ersatzkomponenten substituiert werden können.</p>
<b>Gesellschaftlich</b>	<p><b>Bezeichnung für die Resilienz der Gesellschaft gegenüber einer durch das Eintreten von Stressereignissen eingeschränkten Funktionalität ihres Subsystems Verkehr</b></p> <p>Die Wechselwirkungen und Effekte im Zusammenhang mit anderen gesellschaftlichen Systemen stehen hier im Vordergrund. Gesellschaftliche Resilienz hat zum Ziel, Mobilität zu erhalten und für alle zugänglich zu machen – auch und gerade in Krisensituationen. Aber auch die Stärkung der brancheninternen Vielfalt in den großen automobilwirtschaftlichen Wertschöpfungsregionen in Baden-Württemberg können Gegenstand sein.</p>
<b>Kulturell</b>	<p><b>Bezeichnung für die Resilienz als einflussreicher Faktor in der Pfadstabilisierung moderner Gesellschaften.</b></p> <p>Sowohl das Verkehrs- und Mobilitätssystem als auch das Gesellschaftssystem sind in einen erweiterten kulturellen Kontext wie zum Beispiel Einstellungen, Handlungsroutinen, Leitbilder und Werte eingebettet, die sich über die Zeit herausgebildet haben. Ihre Veränderung oder Widerstandsfähigkeit beeinflussen die Akzeptanz und die Erfolgsaussichten von Transformationen insgesamt.</p>
<p>Tabelle 2: Ordnungsebenen transformativer Resilienz</p>	

Quelle: eigene Darstellung IZT

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die beschriebenen Vulnerabilitäten und Stressereignisse das Potenzial haben, auch die Funktionalität von Verkehrssystemen im Ganzen und in ihren Teilen mehr oder minder empfindlich zu beeinträchtigen. Aber nicht allein der Systemerhalt oder die Wiederherstellung der Funktionalität des elektrifizierten Verkehrs- und Mobilitätssystems ist Gegenstand des Ansatzes der transformativen Resilienz. Zu ihrer Erreichung müssen verschiedene Anforderungen erfüllt werden. Aus diesem Grund werden die Resilienz Kriterien in Kernanforderungen und erweiterte Anforderungen unterschieden. Dafür bildet das Ordnungsmodell die theoretische Grundlage. Die Kernanforderungen beziehen sich auf die Aufrechterhaltung der Systemfunktionen und die Widerstandskraft des Systems, auf Störereignisse so zu reagieren, dass es nicht zusammenbricht. Die erweiterten Anforderungen adressieren eine Veränderung des Systems in Folge des realen oder simulierten Umgangs mit Störereignis-

sen, das zur Veränderung des Systems bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung seiner Stabilität führt. Dabei können diese Kriterien nicht strikt voneinander getrennt betrachtet werden. So setzen die erweiterten Anforderungen die Erfüllung der Kernanforderungen voraus. Die Maßnahmen zur Erfüllung der Kernanforderungen hingegen sind variabel. So lässt sich die Redundanz des Verkehrs- und Mobilitätssystems aufgrund der unterschiedlichen Organisationsformen, technologischen Systeme oder Steuerungsoptionen einer dezentralen Energieversorgung vielfältig steigern.

Im Folgenden werden die Resilienz Kriterien theoretisch definiert, entsprechend ihrem Anforderungsniveau differenziert sowie in ihrer spezifischen Bedeutung im Kontext von integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystemen dargestellt.

	Resilienz Kriterien	Definition	Wirkung auf ein integriertes Verkehrs- und Mobilitätssystem
Kernanforderungen	<b>Robustheit und Widerstandsfähigkeit</b>	Adressiert Systemstabilität und die Fähigkeit eines Systems, Belastungen standzuhalten und auszutarieren, bei gleichzeitiger Fähigkeit zur Rückkehr zum Ausgangszustand des Systems	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Robustheit als Fähigkeit des Verkehrssystems, seine Funktionen auch bei Schwankung der Umgebungsbedingungen, die zu zeitlich befristeten und räumlich begrenzten Störungen des „Normalbetriebs“ führen, unter Minimierung der Kosten aufrechtzuerhalten (BBSR, 2013, S. 6)</li> <li>– Systemstabilität im Sinne belastbarer Infrastrukturen (z. B. Straßen, Brücken, Verkehrsanlagen, Ladeinfrastruktur, Systemarchitekturen) zur Aufrechterhaltung der Grundversorgung von Mobilität</li> <li>– Technische Widerstandsfähigkeit zur Garantie der Versorgungssicherheit (Mobilität, Energie, digitale Kommunikation)</li> </ul>
	<b>Redundanz</b>	Adressiert die Sicherstellung der Verfügbarkeit technischer Einrichtungen i. S. d. Existenz alternativer Möglichkeiten zur Erfüllung lebenswichtiger Aufgaben eines Systems (BSI, 2023)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Substitution von Komponenten des Mobilitätssystems (Verkehrsträger, Verkehrsmittel, Antriebe, Energieversorgung) zur Aufrechterhaltung der Grundmobilität</li> <li>– Vorhalten von Ersatzverbindungen/-knoten, Energiespeicherung, alternativen und diversifizierten Kommunikationswegen oder -netzen sowie Lade- bzw. Betankungsmöglichkeiten mit Wasserstoff</li> <li>– Flexibilität im Wechsel von Verkehrsmitteln und -wegen</li> </ul>
	<b>Agilität</b>	Schnelle, flexible und zeitnahe Reaktions- und Regenerationsfähigkeit eines Systems	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zeitnahe Reaktion auf Störungen durch technische Sensorik (Fehler-/Störungsidentifikation) und der institutionell-technische Auslösung von Hilfs- und Unterstützungsmaßnahmen auf der Basis von Notfallplänen und Notfallszenarien</li> </ul>
	<b>Vielfalt</b>	Vielfältigkeit des Systems als Quelle alternativer Handlungsmöglichkeiten (siehe Redundanz)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sicherung der Vielfalt/Vielfältigkeit des Mobilitätssystems durch einen hohen Grad an Multimodalität</li> <li>– Transportsystem auf möglichst viele Verkehrsmodi verteilen</li> <li>– Dezentrale Energieversorgung und IKT-Ressourcen (heterogene Netzzugangstechnologien)</li> <li>– Governanceansätze auf der Basis positiver Koordination/Kollaboration</li> </ul>
Erweiterte Anforderungen	<b>Anpassungsfähigkeit</b>	Fähigkeit des Systems, auf unvorhergesehene Störereignisse zu reagieren und sich auf neue Bedingungen einzustellen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fähigkeit, über kurzfristige Maßnahmen hinaus strukturelle Veränderungen zur Stabilisierung und Zukunftsfähigkeit des Mobilitätssystems zu etablieren</li> </ul>
	<b>Entwicklungs- und Lernfähigkeit</b>	Fähigkeiten und Kompetenzen zur eigenständigen Systemveränderung auf Basis von Erfahrungen durch Interventionen und Störereignisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Langfristig angelegter Auf- und Ausbau von Fähigkeiten und Kompetenzen zur eigenständigen Systemveränderung</li> <li>– Institutionelle Zusammenarbeitsformate mit systemübergreifender Perspektive</li> <li>– Governance und Regulierung</li> </ul>
	<b>Dezentralität</b>	Verteilung von funktionalen Systemkomponenten auf verschiedenen Ebenen und an verschiedenen Stellen ohne zentrales Steuerungszentrum	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vermeidung zentraler Konzentrationen in Siedlungsräumen und Infrastrukturen zur Reduktion der Verkehrsleistung</li> <li>– Dezentrale und modulare System- und Steuerungsarchitekturen</li> </ul>
	<b>Einfallsreichtum</b>	Fähigkeit eines Systems zur intelligenten und kreativen Reaktion auf ein Störereignis und zur Transformation des Systems im Sinne von Geistesgegenwärtigkeit (Baecker, 2007)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Situativ generierte und lokal unterstützte Maßnahmen, Initiativen und Lösungen zur Aufrechterhaltung der notwendigen Mobilität und der langfristigen Umgestaltung des Verkehrs- und Mobilitätssystems</li> </ul>
	<b>Vernetzung</b>	Sich gegenseitig stärkende Elemente und/oder Akteure in einem System, das durch Verknüpfung vieler und verschiedener Beziehungen Komplexität und Widerstandsfähigkeit stärkt	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Interfacegestaltung zwischen Infrastrukturen der verschiedenen Systeme und Verkehrsmittel</li> <li>– Neue Arten und Erweiterung der Akteurskollaboration in Form von systemübergreifenden Netzwerken</li> </ul>

Quelle: eigene Darstellung IZT

Tabelle 3: Resilienz Kriterien und Wirkungen auf das integrierte Verkehrs- und Mobilitätssystem

# 03

**Das integrierte Verkehrs- und Mobilitätssystem in Baden-Württemberg unter dem Leitbild der transformativen Resilienz**





# 03

## Das integrierte Verkehrs- und Mobilitätssystem in Baden-Württemberg unter dem Leitbild der transformativen Resilienz

Mit dem Konzept der transformativen Resilienz und der Eingrenzung des Untersuchungsgegenstands eines integrierten Systembildes Verkehr und Mobilität in Kapitel 2.1 sowie der Festlegung der zu untersuchenden Stressereignisse wurde das Raster für die nachfolgende Status-quo-Analyse für Baden-Württemberg aufgestellt. Sie hat zum Ziel, die Anforderungen bzw. Lücken angesichts der neuen Herausforderungen durch die Integration der Systeme und neu entstehende Vulnerabilitäten in Baden-Württemberg zu identifizieren. Hierfür werden zunächst die ausgewählten Stressereignisse sowie die Einzelsysteme Verkehr und Mobilität, Energie und IKT in Baden-Württemberg beleuchtet. Anschließend werden die Erkenntnisse (hinsichtlich der neuen Anforderungen) mit dem Resilienzkonzept zusammengeführt. Im Ergebnis steht ein Überblick des Ist-Zustands des Bundeslandes Baden-Württemberg, der die Grundlage für die spätere Szenariokonstruktion (siehe Kap. 4.2) bildet.

### 3.1 Status quo auftretender Stressereignisse in Baden-Württemberg

Cyberattacken als eine mögliche neue Herausforderung werden bisher zwar vor allem im Kontext von Strom- und Energieversorgung diskutiert, doch durch die Sonderrolle des Energiesystems in einer elektrifizierten und vernetzten Gesellschaft wird das Thema der Cybersicherheit auch für das integrierte

Verkehrs- und Mobilitätssystem zunehmend relevanter (acatech et al., 2021).<sup>4</sup> Unter Beachtung der Gestaltungsparadoxe (siehe Kap. 2.3) entstehen mit der gesteigerten Komplexität integrierter Systeme neue Vulnerabilitäten. Vor diesem Hintergrund werden in dieser Studie auch Cyberattacken als ein mögliches Stressereignis betrachtet.

Im Anschluss daran werden die Stressereignisse Hochwasser, Sturm und Hangrutschungen untersucht. Diese wurden exemplarisch ausgewählt, da sie direkte Auswirkungen auf die Verkehrsinfrastrukturen haben und als Formen von Extremwetterereignissen auch für Baden-Württemberg bereits heute relevant sind. Damit orientieren sich die Autor:innen auch an den Einschätzungen des Expertennetzwerk „Wissen – Können – Handeln“ des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV).<sup>5</sup>

#### Cyberattacken als eine der Folgen digitaler Transformation

Cyberattacken sind ein systemisches Stressereignis, das durch die digitale Transformation unserer Gesellschaft einen immer größeren Stellenwert einnimmt. Dabei wird das Thema der Cybersicherheit aktuell vorrangig in Verbindung mit Datensicherheit, dem Schutz der kritischen Infrastruktur – allen voran der Stromversorgung – und Wirtschaftskriminalität diskutiert

4 | Die „Energiesysteme der Zukunft“-Arbeitsgruppe (ESYS) der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) hat sieben Handlungsfelder und 15 Handlungsoptionen zum Schutz der Energieinfrastruktur identifiziert. Eines der Handlungsfelder ist die systemische Entwicklung der Cybersicherheit. Derzeit werden lediglich Betreiber von großen energietechnischen Infrastrukturen gefordert, IT-Maßnahmen zu ergreifen. Ein Blackout könnte aber auch die Folge eines Cyberangriffs auf viele kleine Systemelemente der Energieinfrastruktur (wie beispielsweise Micro Grids oder private Erzeuger) sein.

5 | Das 2016 vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (heute BMDV) gegründete Expertennetzwerk hat das Ziel, die Resilienz des Verkehrs- und Mobilitätssystems gegenüber den zu erwartenden Stressereignissen zu erhöhen. Im Rahmen der Forschungsstrategie wurden hierfür sechs Themenfelder identifiziert: Das Themenfeld „Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen“ thematisiert die Klimawirkungen auf das Verkehrs- und Mobilitätssystem. Dabei wurde der Schwerpunkt auf die Bereiche Hochwasser, Stürme und Hangrutschungen gelegt. Neben der räumlichen Betroffenheit des Verkehrs- und Mobilitätssystems (Exposition) wurden dessen Anfälligkeit aufgrund seiner Eigenschaften (Sensitivität) sowie die verkehrliche (und ökologische) Bedeutung der Streckenabschnitte und Infrastrukturelemente (Kritikalität) bewertet (Hänsel et al., 2020).

(Unternehmen Cybersicherheit, 2022, 2022a). Mit wachsender Bedeutung intelligenter Energie-, Lade- und Verkehrsmanagementsysteme wie dem gesteuerten Laden (Vehicle-to-Grid-Anwendungen) im Kontext der Elektromobilität spielt das Thema Cybersicherheit aber auch in einem integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystem eine immer größere Rolle. Dabei ist gerade die hohe Anzahl der verschiedenen Schnittstellen mit unterschiedlichen Sicherheitsniveaus (wie beispielsweise privaten Ladepunkten, Wallboxen, für Elektrofahrzeuge) kritisch und bietet ein Einfallstor für potenzielle Angreifer („Hacker“). In einem vernetzten System kann sich ein solcher Angriff auch auf das gesamte Stromsystem ausdehnen (Wieler, 2023); perspektivisch umso mehr, je vernetzter das System wird. Das Risiko für das Verkehrs- und Mobilitätssystem steigt damit perspektivisch insbesondere mit Blick auf das autonom- vernetzte Fahren und die Vehicle-to-X-Kommunikation, bei der alle Verkehrsteilnehmenden und Verkehrsinfrastrukturen vernetzt werden und in Echtzeit miteinander kommunizieren (FIS, 2022).

Cyberattacken werden hinsichtlich des unbefugten Zugriffs auf Daten als besonders risikoreich eingestuft (EU, 2021). Dies gilt auch für das Verkehrs- und Mobilitätssystem. So werden beispielsweise personenbezogene Mobilitäts- und Nutzerdaten inklusive Zahlungsinformationen in Datenbanken der Verkehrsbetriebe vorgehalten. Darüber hinaus können sich Softwaremanipulationen unmittelbar auf die Sicherheitslage von Verkehrsdiensten und Verkehrssystemen oder auf die Verkehrsteilnehmenden auswirken, wenn beispielsweise Fahrzeuge manipuliert werden, was in der Folge zu Unfällen führt (EU, 2021; VM BW, 2020; FIS, 2023).

In einem bereits elektrifizierten Verkehrs- und Mobilitätssystem sind es die Ladepunkte, die als besonders anfällig gegen-

über Cyberangriffen eingeschätzt werden. So warnte der Chaos Computer Club bereits 2017 vor Sicherheitslücken beim Laden, insbesondere den Abrechnungs- und Bezahlssystemen mit Ladekarten (Tanriverdi, 2017). Auch wenn bislang keine Fälle bekannt sind und die Studienlage gering ist, kann die Konnektivität dazu führen, dass auch Wallboxen eine Gefährdung für die gesamte Stromversorgung darstellen können; gerade in einem intelligenten Wohnumfeld („Smart-Home-Ecosystem“). Ein gezielter Angriff auf das Lastenmanagement kann zu einer Netzüberlastung führen.

## Steckbrief 1: Cyberattacken

Cyberattacken beschreiben Angriffe aus dem digitalen Raum. Eine Bedrohung wird im Einsatz von Schadsoftware, der Ransomware, gesehen. Im Ergebnis dieser Angriffe wird der Zugang zu Daten bzw. (Computer-)Systemen blockiert, meist gefolgt von einem Erpressungsversuch. Gleiches gilt für Distributed-Denial-of-Service- und Denial-of-Service-Angriffe, bei denen IT-Systeme durch einen gezielten Netzverkehr überlastet werden. Ziele sind Unternehmen, Behörden, aber auch private Nutzer:innen. Cyberspionage und -sabotage erfolgen meist durch strategisch agierende Akteure, die als Advanced-Persistent-Threat(APT)-Gruppen teilweise über einen starken Ressourceneinsatz und technische Fähigkeiten verfügen. APT-Aktivitäten sind oftmals auf Nachrichtendienste zurückzuführen oder auf Akteure, die in ihrem Auftrag handeln. Zugänge zu (Computer-)Systemen werden genutzt, um sensible Daten zu stehlen oder weitere Aktionen vorzubereiten, denen anschließend Maßnahmen wie Erpressungen folgen („Pre-Positioning“). Politisch motivierte Cyberangriffe werden mit der

wachsenden Cyberfähigkeit verschiedener Staaten eine zunehmende Bedrohung. Eine hybride Kriegsform stellen bereits heute Cyberangriffe dar, bei denen z. B. Desinformationen verbreitet werden. Informationen aus IT-Systemen werden hierbei gestohlen, anschließend auf glaubwürdigen Plattformen in falscher oder verzerrender Weise wiedergegeben. Die gezielt manipulierten und vielfältigen Informationen haben oft großen Einfluss auf die öffentliche Meinungsbildung.

Die Bedrohungslage durch Cyberattacken ist aktuell sehr dynamisch und betrifft insbesondere Wirtschaftsakteure wie z. B. kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) sowie die Automobilwirtschaft (Mutzbauer, 2022; BSI, 2022; Unternehmen Cybersicherheit, 2022, 2022a, 2023; Bitkom, 2022). Laut einer Bitkom-Studie (2022) entstand 2022 deutschlandweit ein Schaden von rund 203 Milliarden Euro durch Cyberattacken, insbesondere durch Spionage und Sabotage.

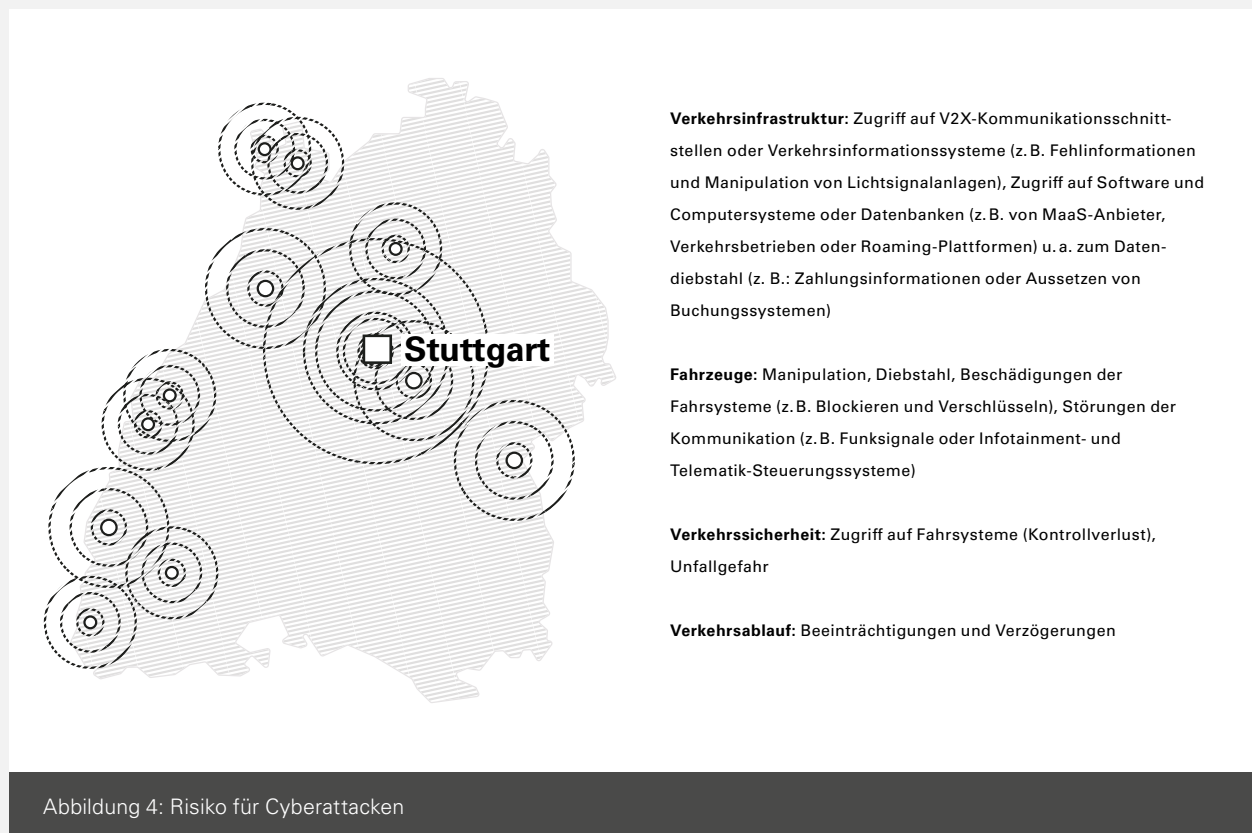


Abbildung 4: Risiko für Cyberattacken

Bislang wird das Risiko für den Verkehrsträger Straße in Baden-Württemberg weniger stark thematisiert. Schwerpunkte der Debatten liegen vor allem auf dem Schutz bzw. der Befähigung der Kommunen oder KMU. Einen Hinweis, inwieweit ein vernetztes Verkehrs- und Mobilitätssystem auf der Straße gegenüber Cyberattacken anfällig sein kann, gibt der Blick auf den bereits stark vernetzten und elektrifizierten Verkehrsträger Schiene. Auch wenn es bislang in Baden-Württemberg keine Vorfälle gab, zeigen bundesweite Beispiele das Risiko: 2017 wurde der Betrieb der Deutschen Bahn massiv durch einen Hackerangriff beeinträchtigt (FAZ, 2017). Im April 2023 unterbrach ein Cyberangriff den Ticketverkauf der Hannoverschen Verkehrsbetriebe Üstra (Wojtczak, 2023). Dabei besteht aktuell ein deutliches Risiko für das Verkehrs- und Mobilitätssystem insbesondere durch die starke Automobilwirtschaft in Baden-Württemberg sowie die starken Akteure im Bereich des Ladeinfrastrukturaufbaus.

Die Präsenz des Themas rückt den politischen Fokus auf die Cybersicherheit in Baden-Württemberg, insbesondere in Bezug auf den Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort. Langfristig ist Cybersicherheit nicht nur aus Resilienzperspektive entscheidend, sondern entwickelt sich auch zum Standortfaktor. Das Land Baden-Württemberg hat 2021 eine Cybersicherheitsstrategie auf den Weg gebracht und die Cybersicherheitsagentur Baden-Württemberg (CSBW) gegründet. Die „Cybersicherheitsstrategie 2026“ soll unter Einbindung aller systemübergreifenden Akteure bis 2026 umgesetzt werden. So stellt die Vernetzung der mit der Cybersicherheit betrauten Akteure, Behörden und Gremien eines der insgesamt neun Handlungsfelder dar, um den Informationsstand und die Reaktionsfähigkeit zu verbessern (IM BW, 2021). Dies erfolgt in enger Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) und den zuständigen europäischen Einrichtungen (z. B. ENISA). Dabei werden in Baden-Württemberg Cybersicherheit und Resilienz aktuell enger geführt. Unter dem Motto „Cyber-Resilienz – Mit Sicherheit in die Zukunft“ hat im September 2023 bereits das fünfte Cyber-SicherheitsForum (CSF) des Landes Baden-Württemberg stattgefunden.

### **Extremwetterereignisse als Folge des Klimawandels**

Das von der Fläche und der Bevölkerungszahl drittgrößte Bundesland Deutschlands hat eine vielfältige Topografie, die es besonders vulnerabel gegenüber Extremwetterereignissen wie Hochwasser, Sturm und Hangrutschungen macht. Baden-Württemberg verfügt über große zusammenhängende Waldflächen (40 % der Landesfläche) wie den Schwarzwald im Südwesten, den Odenwald im Norden oder den Schwäbisch-Fränkischen Wald im Nordosten. Gleichzeitig ist die Landschaft von hohen Bergen wie dem Feldberg (1.493 m) oder dem Lemberg (1.015 m) und von flachen Ebenen und Tälern geprägt. Der niedrigste Punkt des Landes ist der Rheinpegel bei Mannheim (85 m über N. N.). Zudem ist Baden-Württemberg reich an Flüssen und Seen. Neben dem Rhein fließen durch Baden-Württemberg große Flüsse wie der Neckar, die Donau und die Neckarzuflüsse Jagst und Kocher. Großgewässer wie der Bodensee prägen ebenfalls die Geografie Baden-Württembergs (Staatsministerium BW, 2023).

Die häufiger auftretenden extremen Wetterereignisse in Baden-Württemberg machen deutlich, dass der Klimawandel auch lokal bereits in seinen Folgen zu spüren ist. In Baden-Württemberg wird es insgesamt wärmer und die durchschnittliche Lufttemperatur nimmt zu (UM BW, 2023; KLIWA, 2021; UM BW, 2015). Während die Sommer heißer und trockener werden, nimmt die Niederschlagsmenge im Winter und Frühjahr voraussichtlich zu. Insgesamt fällt zwar über das Jahr verteilt weniger Niederschlag, aber dafür tritt punktuell heftiger Regen auf. Niederschlag tritt auch in Baden-Württemberg verstärkt in Form von Starkregen auf, insbesondere im Winter. Durch „Wintergewitter“ kann es beispielsweise gerade in Flussregionen häufiger zu Hochwasserereignissen oder in (eher) bergigen Regionen zu Hangrutschungen kommen, insbesondere dann, wenn durch die heißen und niederschlagsarmen Sommer die ausgetrockneten Böden die Niederschlagsmengen nicht aufnehmen können oder wenn sie beispielsweise nicht durch bodenstabilisierende Vegetation geschützt sind (KLIWA, 2021, 2016). Gerade die Zunahme von Starkniederschlägen stellt ein hohes Risiko für die physischen Infrastrukturen wie Straßen und Brücken dar (aber auch für die weiteren Verkehrsträger, allen voran die Schiene), insbesondere in räumlicher Nähe zu bewaldeten Gebieten oder zu Fließgewässern. Die zu erwartenden Veränderungen der Niederschlagsmengen können darüber hinaus unterschiedliche Auswirkungen auf

Verkehrsteilnehmende, Verkehrsfluss bzw. -ablauf haben. Überflutungen und Schäden an den Straßen als Folgen von lokalen Starkniederschlägen können beispielsweise zu Sperren von Straßen, Unter- und Überführungen oder Brücken führen (Hänsel et al., 2020). In der Folge kann dies zur Beeinträchtigung der Mobilität und im schlimmsten Fall der Versorgungssicherheit der Menschen führen. Im Katastrophenfall könnten sogar ganze Regionen von der Versorgung abgeschnitten werden.

Inwieweit die Folgen extremer, plötzlich auftretender Wetterereignisse das Verkehrs- und Mobilitätssystem in Baden-Württemberg aktuell schon beeinträchtigen, wird nachfolgend anhand von Steckbriefen der für den Verkehrsträger Straße relevanten Stressereignisse Hochwasser, Sturm, und Hangrutschungen vorgestellt. Dabei wird ein Überblick gegeben, welche Auswirkungen die jeweiligen Stressereignisse auf das Verkehrs- und Mobilitätssystem in Abhängigkeit von der geografischen Lage der Verkehrsinfrastrukturen und Risikogebiete haben können, und anschließend durch Fallbeispiele in Baden-Württemberg ergänzt.

## Steckbrief 2:

### Hochwasserereignisse

Hochwasser können als Folge von Starkregenereignissen oder steigenden Gewässerpegeln durch Schnee- und Gletscherschmelzen („Winterhochwasser“) entstehen. Erstere sind räumlich sowie zeitlich sehr variabel und treten infolge von Gewittern meist im Sommer auf („Sommerhochwasser“). Doch auch im Winter nehmen Gewitter zu. Dabei führen gerade die gesättigten Böden aufgrund von Regenfällen und Schmelzwasser dazu, dass die Pegel umliegender Bäche und Flüsse ansteigen und diese zu reißenden Strömen werden können. Insbesondere Wintergewitter stehen im Zusammenhang mit großflächigen Überschwemmungen und Hochwasserständen (BBK, 2023b). Laut dem Hochwasserportal Baden-Württemberg gelten rund 90 Prozent der Städte und Gemeinden gegenüber Hochwasser als potenziell gefährdet (Hochwasser BW, 2023). In Baden-Württemberg treten Hochwasserereignisse seit Mitte der 1970er-Jahre häufiger als in den Jahrzehnten zuvor auf. In der „Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg“ des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (UM BW) wird davon ausgegangen, dass sich die Hochwassersituation bis zum Jahr 2050 in Häufigkeit, Dauer und Höhe sehr wahrscheinlich verschärfen wird (UM BW, 2023, 2015). Dies gilt vor allem für die Wintermonate. Mit steigendem Risiko, den damit einhergehenden lokalen, aber auch großflächigen Schäden, die je nach Intensität mit enormen gesellschaftlichen Kosten einhergehen, steigt die Relevanz für Anpassungsmaßnahmen. 2020 wurden fast 135 Millionen Euro vom Land Baden-Württemberg bereitgestellt, um Flüsse vor Überschwemmungen zu sichern und die Hochwasserschutzmaßnahmen zu unterstützen (Staatsministerium BW, 2022). Für das Jahr 2023 werden Gelder in Höhe von 83,5 Millionen Euro als Teil des Doppelhaushalts 2023/2024 für Hochwasserschutz und Gewässerökologie bereitgestellt (Staatsministerium BW, 2021). Allein 58,5 Millionen Euro von diesem Budget sollen dafür verwendet werden, die Menschen vor Hochwasser zu schützen und Infrastrukturschäden zu verhindern. Wie notwendig solche Investitionen sind, lässt sich leicht beziffern: So meldeten die Versicherungen für das Land Baden-Württemberg Schäden von 1,4 Milliarden Euro, die allein für das Jahr 2021 entstanden sind. Damit ist Baden-Württemberg eines von fünf Bundesländern, die im Jahr 2021 besonders stark von Extremwetterereignissen betroffen waren; 500 Millionen Euro fielen dabei auf Kfz-Versicherer (SWR, 2021). Hochwasser ist ein wichtiges Thema in Baden-Württemberg.

Bereits im Jahr 2003 hat das Land eine „Strategie zum Umgang mit Hochwasser in Baden-Württemberg“ entwickelt, die 2014 zu einem Hochwasserrisikomanagement weiterentwickelt wurde. Harmonisiert mit den Vorgaben der EU-Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken, wurde die Strategie erneut im Jahr 2022 unter dem Leitgedanken „Gemeinsam“ fortgeschrieben. Die Fortschreibung der Strategie war vor allem durch die Ereignisse im Ahrtal (Rheinland-Pfalz) im Juli 2021 geprägt. Hieraus resultierte auch für die Landesregierung Baden-Württemberg sowie die beteiligten Akteure des Hochwasserrisikomanagements erneuter Handlungsbedarf. Nicht zuletzt auch, weil das Land in der jüngsten Vergangenheit ebenfalls starken Hochwasserereignissen bzw. Überschwemmungen in Folge von Starkniederschlägen ausgesetzt war, z. B. im Juni 2021. An sieben Kennwertpegeln lagen die Hochwasserpegel im Bereich von 20- bis

50-jährlichen, teilweise 100-jährlichen Ereignissen, d. h. Hochwasserereignissen, die nur alle 20 bis 50 Jahre bzw. alle 100 Jahre auftreten, gemessen an den Wasserpegelständen. Beispielsweise zeigten Auswertungen von Radarniederschlagsdaten für die Region um Biberach an der Riß, dass in den betroffenen Gemeinden Niederschläge von bis zu 100 Millimetern in wenigen Stunden fielen, wie es nur alle 100 Jahre vorkommt (Staatsministerium BW, 2021a). In der Region, die bereits 2016 stark durch Hochwasser- und Starkregenereignisse betroffen war, wurden zahlreiche Menschen verletzt und es entstanden Schäden in Millionenhöhe (Staatsministerium BW, 2021b). In den betroffenen Gemeinden liefen z. B. Keller voll, Straßen wurden unpassierbar und teilweise über längere Zeiträume gesperrt. Aber auch die Statik diverser (kommunaler) Gebäude wurde durch die plötzlich auftretenden Wassermassen beschädigt, wie z. B. die des Polizeireviers von Biberach.



Abbildung 5: Tief- und Überflutungsgebiete BW

## Steckbrief 3: Sturmereignisse

Stürme bezeichnen grundsätzlich starke Winde. Laut BBK (2023c) gilt ein Wind mit Stärke 9 bis 11 der Beaufort-Skala als Sturm. Wobei dieser eine Abstufung von Sturm, schwerer Sturm und orkanartiger Sturm und Windgeschwindigkeiten von 75 bis 117 km/h zugrunde liegt. Orkane sind Stürme, bei denen die Starkwinde in einem Zeitraum von mind. zehn Minuten mit Windgeschwindigkeiten ab 118 km/h wehen. Treten diese in kürzeren Zeitperioden auf, spricht man von Orkanböen.

Deutschlandweit treten Stürme im Zuge des Klimawandels immer häufiger bzw. intensiver auf. Dennoch wird sich das Risiko für Sturmereignisse laut dem Monitoringbericht der Klimaveränderung und Wasserwirtschaft BW (KLIWA) bis 2050 in Baden-Württemberg nicht signifikant ändern (KLIWA, 2021). Das heißt nicht, dass Sturmereignisse keine Gefahr darstellen, sondern eher, dass in Baden-Württemberg auch zukünftig mit schweren Ereignissen zu rechnen ist, wie es bereits in der Vergangenheit der Fall war. Eine Analyse zeigt, dass im Durchschnitt 48 Unwetterereignisse pro Jahr auftreten, wobei die meisten durch Sommergewitter verursacht werden (87 % der Ereignisse). Sturmereignisse im Winter treten zwar aktuell weniger auf, werden jedoch zukünftig in ihrer Häufigkeit in Baden-Württemberg zunehmen (KLIWA, 2021). Die winterlichen Wetterlagen zeichnen sich dabei durch eine komplexere Gemengelage aus, da auch Schneefall und Dauerregen zu den auftretenden Starkwinden hinzukommen können. Gerade weil bereits in der Vergangenheit ein hohes Risiko für Sturmereignisse bestand, werden von der Landesregierung Anpassungsstrategien vor allem in den gegenüber Sturm exponierten Bereichen betrieben, d. h. dort, wo die größten Schäden durch Sturmereignisse auftreten bzw. wo Gefährdungen entstehen können. In der „Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg“ bezieht sich das vor allem auf die Waldgebiete. Baden-Württemberg ist mit rund 1,4 Millionen Hektar Wald und einem Waldanteil von 38 Prozent an der Landesfläche eines der walddreichsten Bundesländer. Im Fall von Sturmereignissen werden vor allem Nadelbaumarten, die einen Anteil von 53 Prozent am Gesamtwald haben, als risikoreich eingeschätzt (UM BW, 2015). In diesem Kontext ist die Pflege und klimaangepasste Bewirtschaftung auch für den Verkehrsträger Straße relevant, da bei Sturmereignissen das Risiko in der Regel von der Vegetation entlang der Straßen (Straßenbegleitgrün) ausgeht. Sie ist sowohl für die Seitenwindgefährdung als auch den Sturmwurf (z. B. herumfliegende Äste) re-



levant. In der Vergangenheit haben schwere bis orkanartige Stürme in Baden-Württemberg zu massiven Schäden geführt und darüber hinaus Menschenleben gefährdet. Sturm „Wiebke“ im Februar 1990 oder „Lothar“ im Dezember 1999 sind hier beispielhaft für sogenannte „Jahrhundertstürme“ zu nennen. So gehört „Lothar“ zu den größten Fällen für die SV-Versicherung in Baden-Württemberg mit 500 Millionen Euro aus gezahlter Schadenssumme an Haus- und Autobesitzer (Stuttgarter Zeitung, 2019).

Aber auch in der jüngsten Zeit führten Sturmereignisse zu hohen Bedrohungslagen. Sturm „Hendrik“ hat beispielsweise im Herbst 2021 in Südbaden nicht nur für umgestürzte Bäume und zeitweise blockierte Straßen gesorgt, sondern führte laut Netze BW in vielen Landkreisen zu kleinen bis mittleren Stromausfällen (SWR, 2021a). Im März 2023 führten Orkanböen in den Landkreisen Calw und Freudenstadt zur Unterbrechung des Verkehrsablaufs durch einen umgestürzten Transporter

sowie umgestürzte Bäume auf der Bahnstrecke Remchingen-Pforzheim. In mehreren Städten (u.a. Stuttgart, Mannheim und Heidelberg) wurden Straßenschilder verweht, führten auftretender Windwurf sowie mehrere Verkehrsunfälle zu Blechschäden an Fahrzeugen. In Mannheim stürzte zudem ein Baum auf ein parkendes Auto (SWR, 2023). Im Juli 2023 führten heftige Unwetter mit starken Sturmereignissen insbesondere in der Region um den Bodensee zu zahlreichen wetterbedingten Verkehrsunfällen, Straßensperrungen und massiven Feuerwehreinsätzen in der Nacht, um die Straßen vom Windwurf wieder freizuräumen (SWR, 2023a).

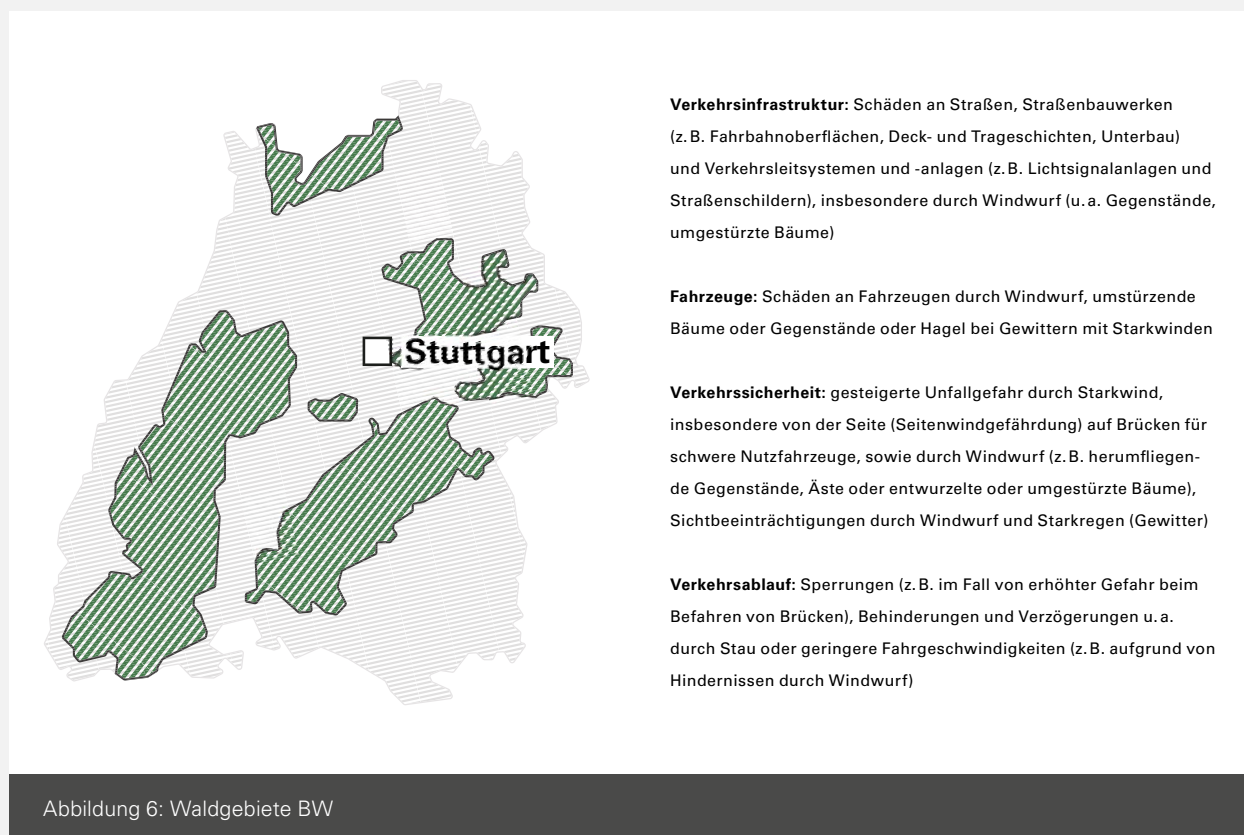


Abbildung 6: Waldgebiete BW

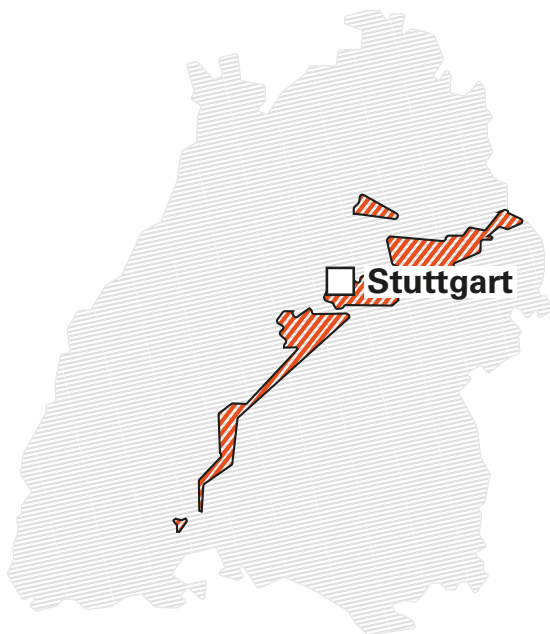


## Steckbrief 4: Hangrutschungen

Hangrutschungen werden durch Extremwetterereignisse, insbesondere Starkniederschläge und Ausspülungen, ausgelöst (BBK, 2023d). Dabei sind die gravitativen Massenbewegungen sowohl von der Beschaffenheit des Untergrunds als auch von der Hangneigung abhängig. Trockenheit und Hitze, fehlende bzw. absterbende Vegetation und Wechselfrost tragen ebenso dazu bei, dass der Boden erodiert und für Hangrutschungen anfälliger ist (Lohrengel et al., 2020).

Hangrutschungen werden vor allem im Zusammenhang mit der Zunahme von Starkregenereignissen als risikoreich bewertet, insbesondere da deren Zahl in Baden-Württemberg in den Wintermonaten ansteigt. Dennoch ist das Risiko für Hangrutschungen in Baden-Württemberg im Vergleich zu anderen geologischen Regionen geringer (UM BW, 2022). Kommt es zu Hangrutschung, Böschungsrutschungen oder Hangmuren (flachgründige, spontane Rutschungen), sind die umliegende Straßeninfrastruktur und damit die Verkehrsabläufe sowie die

Verkehrssicherheit enorm gefährdet (UM BW, 2022; BASt, 2012). Hangrutschungen werden daher in der Fortschreibung der „Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Baden-Württemberg“ im Kontext einer resilienten Verkehrsinfrastruktur gerade für Taleinschnitte in Mittelgebirgen und alpinen Regionen als relevant behandelt und sind als potenzielle Gefährdung für Verkehrsinfrastruktur Teil der Risikoanalyse des kommunalen Starkregenrisikomanagements in Baden-Württemberg durch die Landesanstalt für Umwelt (LUBW, 2019). Im Sinne der Anpassungsstrategie wird z. B. die Bepflanzung von risikoreichen Hängen angestrebt, die den Boden vor spontanen Abtragungen schützen und insgesamt festigen soll (WSL, 2017). Zudem sind entlang der Risikogebiete entsprechende Sicherheitsvorrichtungen (z. B. Auffangnetze und Murenschutzsysteme) installiert, dennoch kann es in Folge von Hangrutschungen zu Steinschlägen kommen. Hindernisse wie Steine oder Geröll können auf die Straße gelangen und teils zu hohen Kosten und langwierigen Einschränkungen füh-



**Verkehrsinfrastruktur:** Schäden an Straßen und Straßenbauwerken wie Risse in der Fahrbahndecke oder Gebäudeschäden (z. B. hinsichtlich der Statik) durch einschlagendes Geröll, Erdmassen oder Steinschläge

**Fahrzeuge:** Schäden an Fahrzeugen durch abrutschende Erdschichten, Geröll, Steinschlag und Hang- bzw. Böschungsbewuchs

**Verkehrssicherheit:** erhöhte Unfallgefahr durch Geröll, Erde und etwaige Hindernisse wie Hang- und Böschungsbewuchs auf der Straße, Verschüttung von Fahrzeugen oder Unterführungen oder Ein- und Ausgänge, von Straßentunneln

**Verkehrsablauf:** Sperrungen, Behinderungen und Verzögerungen u. a. durch Stau, geringere Fahrgeschwindigkeiten (z. B. durch Hindernisse auf der Straße oder Baustellen) oder Umleitungen durch langwierige Beschädigungen von Straßen und Straßenbauwerken

Abbildung 7: Risikogebiete Hangrutschungen BW

ren. Gerade weil die Herstellung eines verkehrssicheren Zustandes in Folge eines solchen Ereignisses inklusive umfangreicher Hang- und Felssicherungen mit hohen finanziellen Aufwendungen sowie erheblichen Eingriffen in die Umwelt verbunden ist. Als es im Jahr 2013 bei Mössingen (Landkreis Tübingen) zu Hangrutschungen und der Unterspülung der L 385 kam, wurden rund 6,5 Millionen Euro für die Sanierung der Landstraße benötigt (Staatsministerium BW, 2013). Im Jahr 2021 wurden beispielsweise die Sanierungsarbeiten der L 1136 zwischen Leonberg und Höflingen (Landkreis Böblingen) abgeschlossen, nachdem die Straße infolge eines Hangrutsches im Jahr 2016 nur halbseitig befahrbar war (RP Stuttgart, 2021).

In den vergangenen Jahren kam es in Baden-Württemberg immer wieder zu leichteren bis schweren Hangrutschungen. Im Jahr 2013 z. B. führten langanhaltende Niederschläge bei Albtal (Landkreis Waldshut) zu einem Felssturz (UM BW, 2023a). Seit 2015 ist die Landesstraße 154 aufgrund einer hohen bis sehr hohen Gefährdung nach Hangrutschungen für den Verkehr gesperrt (BNN, 2022). Im Februar 2021 kam es z. B. nach starken Regenfällen und Schneeschmelze bei Wangen (Landkreis Ravensburg) im Allgäu zu einem Erdrutsch, bei dem der Hang etwa 50 Meter abstürzte und die oberhalb des Hangs befindliche Straße gesperrt werden musste. Nur wenige Tage zuvor hatte es im Landkreis Lörrach ebenfalls einen größeren Erdrutsch gegeben, bei dem ein 40 Meter langer Hang um etwa vier Meter abrutschte (Stuttgarter Zeitung, 2022).

### 3.2 Status quo Verkehrs- und Mobilitätssystem

Das Bundesland Baden-Württemberg liegt im Südwesten Deutschlands und grenzt an die Bundesländer Bayern, Hessen und Rheinland-Pfalz. Vor dem Hintergrund seiner rund 500 Kilometer langen Grenze zu Frankreich, der Schweiz und Österreich bestimmen nicht nur die in Baden-Württemberg ansässigen 11,1 Millionen Menschen das Verkehrs- und Mobilitätssystem (Staatsministerium BW, 2023). Vielmehr wird das Transitland maßgeblich durch nationale wie internationale Verkehrsströme geprägt: Menschen aus den Nachbarländern kommen zum Arbeiten, Einkaufen oder aus touristischen Zwecken nach Baden-Württemberg. Darüber hinaus findet der nationale und internationale Gütertransport in dem dichten Netz aus Bundesautobahnen und Bundesstraßen statt. Der Verkehrsinfrastruktur, das heißt vor allem den Bundesautobahnen, kommt damit eine hohe verkehrsphysiologische Bedeutung zu.

In Baden-Württemberg ist ein Großteil des 27.420 Kilometer langen Straßennetzes des überörtlichen Verkehrs dem motorisierten Individualverkehr (MIV) vorbehalten (BMDV, 2021). Den größten Anteil am Gesamtstreckennetz haben Kreis- und Landstraßen mit circa 44 Prozent bzw. 37 Prozent. Reine Radwege, das heißt ein- und beidseitige Wege, die Fahrrädern vorbehalten sind, stellen mit rund einem Prozent bislang einen marginalen Anteil dar (BMDV, 2021). Gemessen an der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV), d. h., wie viele Kfz innerhalb von 24 Stunden auf den Autobahnen, Bundes-, Land- oder Kreisstraßen unterwegs sind, findet ein Großteil des täglichen Verkehrs auf den 5.240 Kilometern Autobahnen und Bundesstraßen statt (Statistisches Landesamt BW, 2023, 2023a, 2023b). Im Jahr 2020 kamen circa vier Prozent der DTV der Autobahnen auf den Kreisstraßen Baden-Württembergs auf. 2021 waren es rund 3,8 Prozent.<sup>6</sup>

Für den Fernverkehr sind die Verkehrsachsen A 5 (Nord-Süd), A 6 (West-Ost), A 7 (Nord-Süd), A 8 (West-Ost) und A 81 (Nord-Süd) sowie die Autobahnkreuze Walldorf bei Mannheim (A 5/A 6), Stuttgart (A 8/A 81) und Ulm/Elchingen (A 8/A 7) besonders relevant. Die Bundesautobahnen und Verkehrsknotenpunkte dienen nicht nur der nationalen Verbindung, sondern auch als (Transit-)Magistralen europäischer West-Ost- bzw. Nord-Süd-Verbindungen.

Die damit einhergehende verstärkte Infrastrukturbelastung (z. B. Verkehrsdichte und -leistung) stellt erhöhte Anforderungen an die Instandhaltung, Wartung und Pflege der Straßennetze. Ein Großteil des Straßennetzes und der Straßenbauwerke Baden-Württembergs (z. B. Brücken und Tunnel) wurde in den 1970er-Jahren gebaut. Mit Blick auf Substanz und Erhaltung, also das Anpassen der Tragfähigkeit an die zukünftigen verkehrlichen Anforderungen, stehen in den kommenden Jahren hohe Sanierungsinvestitionen an. Dabei setzt das Bundesland auf den Erhalt der Infrastruktur vor dem Um-, Aus- und Neubau derselben. Dadurch bleibt der Zustand des Straßennetzes und der Bauwerke in den vergangenen Jahren weitgehend konstant und ruft auch 2023 hohe Investitionskosten auf (RP BW, 2023). Im Jahr 2023 sollten nach dem aktuellen Sanierungsprogramm 120 Projekte im Bundes- und 130 Projekte im Landesstraßennetz angegangen werden. Darunter sind Erhaltungsmaßnahmen an Fahrbahnen sowie Fahrbahnbedeckungen auf rund 200 Kilometer bzw. 220 Kilometer Bundes- bzw. Landesstraßennetz. Zusätzlich stehen 2023 rund 120 Erhaltungsmaßnahmen von Bauwerken wie z. B. Brücken und Stützwänden an. Das Land Baden-Württemberg ruft für den Erhalt circa 165 Millionen Euro und der Bund insgesamt 236 Millionen Euro ab. Zusätzlich folgt 2023 die Sanierung von knapp 30 Kilometer Radwegen (RP BW, 2023). Das erklärte Ziel der Klimaneutralität in Baden-Württemberg bis 2040 setzt das zügige Voranschreiten der Verkehrs- und Mobilitätswende voraus. Bis 2030 müssen gegenüber 1990 im Verkehr 55 Prozent der Emissionen eingespart werden. Zur schnelleren Umsetzung der kommunalen Verkehrs- und Mobilitätswende Baden-Württembergs verabschiedete die Landesregierung das Landeskonzept Mobilität und Klima (LMK) (siehe Tabelle 4; VM BW, 2022). Im LMK sind die gesetzlichen Vorgaben des Klimaschutzgesetzes von 2013 sowie dessen Novellierung von 2020/2021 in konkrete Handlungsfelder und Maßnahmen übersetzt. Übergeordnetes Ziel ist es, die Elektrifizierung des Verkehrssektors weiter voranzutreiben. Dies setzt eine größere Anzahl von Elektrofahrzeugen sowie die entsprechende Ladeinfrastruktur voraus. Neben der Elektromobilität im privaten wie im öffentlichen Bereich bedarf es weiterer Maßnahmen, die über eine Antriebswende hinausgehen und gezielt das individuelle Mobilitätsverhalten adressieren. Im Eckpunktepapier des Ministerrats der Landesregierung vom November 2022 wurden neben Angeboten für eine nachhaltige Mobilität die hierfür notwendigen rahmensetzenden Vorgaben sowie entsprechende Finanzierungsinstrumente beschlossen. In den insgesamt sechs Handlungsfeldern sind die zentralen Punkte der Verkehrs- und Mobilitätswende in Baden-Württemberg konkretisiert (VM BW, 2022, 2022a).

<sup>6</sup> | Eigene Berechnungen nach Angaben des Statistisches Landesamts BW, 2023a, 2023b.

Handlungsfeld	Geplante Maßnahmen	Effekte
<b>1. Elektrifizierung Personenverkehr</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Installation rund zwei Millionen privater und bis 100.000 öffentlicher Ladepunkte</li> <li>– Schaffung institutioneller Rahmenbedingungen zum Schaffen spürbarer Benutzervorteile von E-Pkw gegenüber Pkw mit fossilen Antrieben beispielsweise durch die Einführung regionaler Benutzervorteile (Nullemissionszonen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Infrastrukturaufbau</li> <li>– Schaffen von Anreizsystemen</li> <li>– Steigerung der Attraktivität der Elektromobilität</li> <li>– Reduzierung lokaler Emissionen (THG und Lärm)</li> </ul>
<b>2. Elektrifizierung Güterverkehr</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aufbau eines Anreizsystems für klimaneutrale Lkw durch klimaschutzorientierte Wettbewerbsbedingungen (Lkw-Maut)</li> <li>– Ausbau der Schieneninfrastruktur</li> <li>– Vermehrter Einsatz von Citylogistik (klimaneutrale letzte Meile)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Schutz des örtlichen Handels und Wiederbelebung der Innenstädte</li> <li>– Reduzierung der Güterverkehrsleistung in Innenstädten</li> <li>– Emissionsreduktion (THG und Lärm)</li> </ul>
<b>3. Weniger MIV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Einführung einer kostenorientierten Parkraumbewirtschaftung</li> <li>– Umnutzung von Parkplatzflächen z.B. für umweltfreundliche Verkehrsmittel</li> <li>– Förderung von Carsharing-Angeboten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reduzierung des MIV</li> <li>– Reduzierung lokaler Emissionen</li> <li>– Umverteilung und Aufwertung des öffentlichen Raums</li> <li>– Stärkung des Umweltverbunds</li> <li>– Lebenswerte Innenstädte (Grünflächen etc.)</li> </ul>
<b>4. Stärkung Rad- und Fußverkehr</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zubau von 7.000-Kilometer-Radnetz bis 2030 (RadNETZ), plus 20 Radschnellwege</li> <li>– Förderung einer fußgängerfreundlichen Infrastruktur (sichere Gehwege)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Stärkung des Rad-/Fußverkehrs</li> <li>– Schutz der Radfahrer:innen und Fußgänger:innen</li> <li>– Erhöhung der Verkehrssicherheit</li> <li>– Stärkung der sozialen Gerechtigkeit des Verkehrs</li> <li>– Reduzierung des MIV</li> <li>– Gegensteuerung gesundheitlicher Trends (u. a. wenig Bewegung, Übergewicht)</li> <li>– Reduzierung der Emissionen</li> </ul>
<b>5. Verdopplung ÖV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ausbau des ÖV-Angebots durch Fahrplan- und Taktverdichtung („Mobilitätsgarantie“)</li> <li>– Förderung flexibler On-Demand-Verkehre als Ergänzung zum ÖV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Steigerung der Attraktivität des ÖPNV</li> <li>– Stärkung des Umweltverbunds</li> <li>– Reduzierung des MIV</li> <li>– Reduzierung der Verkehrsemissionen (THG)</li> <li>– Steigerung der lokalen Wertschöpfung</li> <li>– Soziale Inklusion</li> </ul>
<b>6. Übergeordnete Maßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Implementierung von Klimamobilitäts- und Aktionsplänen in Kommunen</li> <li>– Etablierung einer verkehrssparenden Raum- und Siedlungsentwicklung in der Planungsebene</li> <li>– Bedarfsgerechte Fachkräfteausbildung und -gewinnung, insbesondere im Bereich der Planung</li> </ul>	

Quelle: eigene Darstellung IZT

Tabelle 4: Maßnahmenkatalog des Landeskonzeptes Mobilität und Klima

### **Mobilitätsverhalten der Bevölkerung in Baden-Württemberg**

Das Mobilitätsverhalten der Menschen in Baden-Württemberg gleicht dem des gesamten Bundesgebiets, wie die Ergebnisse der Datenerhebung „Mobilität in Deutschland“ (MiD) aus dem Jahr 2017 für Baden-Württemberg zeigen (infas, 2018). Die MiD-Daten skizzieren das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung vor Beginn der Corona-Pandemie 2020. Die Pandemie hat in Baden-Württemberg das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung temporär beeinflusst. Mit Beendigung der bundes- und landesweiten Maßnahmen im Zuge der Pandemie spätestens im April 2023 gleicht sich das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung dem vor der Pandemie wieder an. Anhand von Verkehrsdaten aus dem Jahr 2022 lässt sich ableiten, dass es im Verkehrssektor zu keinen langfristigen Veränderungen gekommen ist; dies trifft insbesondere auf den Straßenverkehr zu. Pandemiebedingt wurde 2020 und 2021 zum Beispiel eine geringere Verkehrsmenge gemessen (BASt, 2022). Auswertungen des Verkehrsbarometers der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) zeigen jedoch, dass die beobachtbaren Rückgänge nur temporär waren. Schon im zweiten Quartal 2022 verkehrten bundesweit wieder mehr Kfz auf den Bundesfernstraßen und auch in der ersten Hälfte 2023 legte der Verkehr im Vergleich zum Vorjahr noch einmal zu (BASt, 2023, 2022). Insgesamt verzeichnet die Verkehrsmenge auf Bundesautobahnen im März 2023 ein Plus von 4,9 Prozent im Vergleich zu März 2022 und im April 2023 einen Anstieg von 4,8 Prozent zum Vormonat März. Aufgrund der geografischen Lage und der verkehrsphysiologischen Bedeutung Baden-Württembergs als Transitland für Personen- und Güterverkehr können die bundesweiten Entwicklungen jedoch auch für Baden-Württemberg angenommen werden.<sup>7</sup>

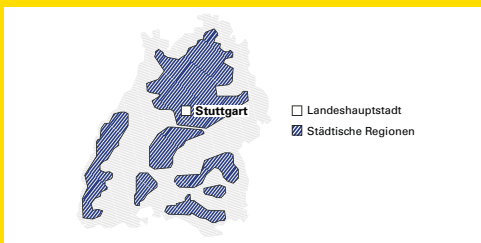
Rund 86 Prozent der Einwohner:innen Baden-Württembergs verlassen an einem durchschnittlichen Tag mindestens einmal ihr Zuhause und sind circa 81 Minuten unterwegs. Insgesamt werden in Baden-Württemberg täglich rund 445 Millionen Personenkilometer sowie 35 Millionen Wege zurückgelegt; damit absolviert eine Person rund 41 Kilometer und 3,2 Wege pro Tag (infas, 2018). Die Länge der Wege hängt dabei von den unterschiedlichen Raumtypen ab. Im Durchschnitt beträgt ein einzelner Weg 12,9 Kilometer (VM BW, 2019; infas, 2018). In ländlichen Regionen sind die täglich zurückgelegten Wege durchschnittlich länger (plus 14,7 Kilometer) als in städtischen

Regionen Baden-Württembergs. Im Schnitt legt eine Person hier zwischen 12,4 und 13,3 Kilometer pro Weg zurück (VM BW, 2019; infas, 2018, 2018a). Zwar sind die Wege im ländlichen Raum oftmals länger, dennoch sind die Menschen in Städten häufiger länger unterwegs. So benötigt eine Person beispielsweise in Stuttgart, Mannheim oder Karlsruhe durchschnittlich mehr als 90 Minuten für ihre täglichen Wege (VM BW, 2019). Gründe sind der höhere ÖPNV-Anteil an den zurückgelegten Wegen sowie die höhere Verkehrsdichte, d. h. vor allem Pkw-Dichte zu Stoßzeiten in den Städten.

<sup>7</sup> | Bundeslandspezifische Auswertungen des Verkehrsbarometers gibt es hinsichtlich der Verkehrsdichte für die einzelnen Bundesautobahnen und -straßen für das Jahr 2021 (BASt, 2023).

**Infobox 2****Räumliche Struktur Baden-Württemberg**

Für die Analyse des Status quo ist die Raum- und Siedlungsstruktur in Baden-Württemberg zu berücksichtigen. Auf einer Fläche von 35.751 Quadratkilometern verfügt das Bundesland neben den urbanen Zentren wie Mannheim, Heilbronn oder Ulm über zahlreiche ländliche Regionen. Insgesamt 586 Gemeinden verzeichnen weniger als 5.000 Einwohner:innen und weisen damit eine grundlegend andere Ausgangssituation als die Großstädte Baden-Württembergs auf (Staatsministerium BW, 2023). Dies trifft beispielsweise bezüglich der Nahversorgung mit Gütern des täglichen Bedarfs sowie der medizinischen Versorgung und der damit zusammenhängenden Anforderungen an den ÖPNV zu. Städtische Regionen liegen vor allem entlang zweier Achsen: vom innerdeutschen Dreiländereck Baden-Württemberg – Rheinland-Pfalz – Hessen im Nordwesten entlang der französisch-deutschen Grenze bis zum Dreiländereck Frankreich – Schweiz – Deutschland im Südwesten und entlang einer Nordwest-Ost-Achse mit den Städten Mannheim, Stuttgart und Ulm. Der Süden, Südosten und Nordosten Baden-Württembergs zählen hingegen eher zu den ländlichen Regionen. Die folgende Systemanalyse des Verkehrs- und Mobilitätssystems Baden-Württembergs orientiert sich bei der Unterteilung städtischer und ländlicher Regionen an dieser räumlichen Aufteilung und lehnt sich an die regionalstatistische Raumtypologie RegioStaR 7 des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) und des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) an.



Das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung wird zudem von dem sozioökonomischen Status beeinflusst. Haushalte mit einem sehr hohen bzw. hohen ökonomischen Status und hohem Bildungsabschluss sind im Durchschnitt häufiger und durchschnittlich länger unterwegs (84 bzw. 93 Minuten pro Tag). Hierbei legen sie mehr Wege (3,4 bzw. 3,3 Wege) und mehr Kilometer (plus 26 Kilometer) pro Tag zurück (VM BW, 2019). Dies trifft insbesondere auf Voll- und Teilzeitbeschäftigte zu. Insgesamt werden durch den Berufsverkehr pro Tag 167 Millionen Personenkilometer<sup>8</sup> zurückgelegt. Damit prägt dieser die Alltagsmobilität in Baden-Württemberg und dominiert gegenüber den anderen Verkehrszwecken wie Freizeit, Erledigungen, Bildung oder Einkauf (VM BW, 2019).

Der Dienst- und Arbeitsverkehr in Baden-Württemberg ist stark von Männern geprägt, die mehr dienstliche Wege zurücklegen als Frauen. Zwar dominiert bei beiden Geschlechtern laut der MiD 2017 im Berufs- und Dienstverkehr der Pkw. Frauen sind jedoch vergleichsweise häufiger zu Fuß (15 %) und mit dem Fahrrad (9 %) unterwegs als die befragten Männer (5 % bzw. 2 %). Auch im Alltag gehen Frauen häufiger zu Fuß als Männer. Frauen legen im Schnitt täglich 3,1 Wege und 34,8 Kilometer zurück und haben eine unterdurchschnittliche Wegedauer von 78,2 Minuten (Saleth et al., 2021; infas, 2018). Die Mobilitätskennzahlen und die Verkehrsmittelwahl lassen vermuten, dass Frauen einen engeren Bewegungsradius bezogen auf ihren Wohnort haben als Männer, die überdurchschnittlich lang (84 Minuten) und weit (47,1 Kilometer) unterwegs sind (infas, 2018). Daneben unterscheidet sich auch die Art und Weise, wie Männer und Frauen sich fortbewegen. Frauen verknüpfen verschiedene Wegezwecke miteinander (Wegeketten) und weisen häufig ein komplexeres Mobilitätsbedürfnis auf (Koska et al., 2020; Klaas, 2021). Dies ist vor allem auf den höheren Anteil der Frauen zurückzuführen, die neben der Erwerbstätigkeit Sorgearbeit („Care-Arbeit“) leisten, die oft mit Versorgungs- und Begleitverkehren einhergeht (Klaas, 2021). Dadurch weisen Frauen komplexere, meist multimodale Wegekette auf, d. h., sie kombinieren verschiedene Verkehrsmittel, um ihre Wege abzubilden. Wie konkret sich das Verhältnis der Sorgearbeit – 80 Prozent der Frauen und 20 Prozent der Männer in Baden-Württemberg – auf die Mobilität auswirkt, wurde für Baden-Württemberg bisher nicht spezifisch untersucht (Stand Juni 2023) (Landesfrauenrat, 2021).

<sup>8</sup> | Eigene Berechnungen nach VM BW, 2019.

In Baden-Württemberg erfolgt die Alltagsmobilität der Menschen über alle Hauptwegezwecke hinweg vorwiegend mit dem Pkw. Mehr als die Hälfte aller Wege und 74 Prozent der Personenkilometer werden mit dem Pkw als Fahrer:in oder Mitfahrer:in zurückgelegt (VM BW, 2019). Während auf dem Weg zur Arbeit der Pkw häufig allein genutzt wird, wird er im Freizeitbereich vergleichsweise häufiger geteilt.

Allerdings haben Trends wie die wachsende Bedeutung des Fahrradverkehrs, die raum- und stadtplanerische Gestaltung im Zuge der Corona-Pandemie 2020/2021, aber auch der Klimawandel den öffentlichen sowie politischen Diskurs zur Nutzung bzw. zur Neuaufteilung des öffentlichen (meist urbanen) Raumes auch in Baden-Württemberg entfacht. Auch in Baden-Württemberg rückt der Fuß- und Radverkehr verstärkt in den Fokus der Mobilitätswende. Laut repräsentativer Befragungen der BMDV-Mobilitätsstudie „Mobilität in Deutschland“ (MiD)<sup>9</sup> macht der Fuß- und Radverkehr in Baden-Württemberg mit sechs Prozent bislang einen geringeren Anteil der zurückgelegten Wege aus. Parallel zum weiteren Ausbau einer flächendeckenden und sicheren Radinfrastruktur könnten die erlebten Erfahrungen der Bevölkerung in der Pandemie jedoch den Fahrradtrend im Zuge einer Mobilitätswende begünstigen (VM BW, 2019). So strebt das Land Baden-Württemberg im Rahmen des „Landeskonzepts Mobilität und Klima“ (LMK) an, dass jeder zweite Weg selbstaktiv zu Fuß oder mit dem Rad erfolgen soll (siehe Tabelle 4; VM BW, 2023).

Der Modal Split<sup>10</sup> liegt in Baden-Württemberg damit mehrheitlich beim MIV (VM BW, 2019; infas, 2018b). Allerdings zeichnen sich auch hier räumliche Unterschiede ab: Je ländlicher die Region, desto bedeutsamer ist der motorisierte Verkehr. In dem jeweiligen Raumtyp trägt der MIV zwar zu mindestens 60 Prozent der Verkehrsleistung bei, mit steigender Entfernung zu den Ballungsräumen hingegen steigt der MIV-Anteil auf über 80 Prozent an. Demzufolge werden zwei von drei Wegen im ländlichen Raum mit dem Pkw zurückgelegt (VM BW, 2019; infas, 2018).

Die stetig anwachsende Bedeutung des MIV im Personenverkehr äußert sich in der Verkehrsdichte. Trotz krisenbedingter Schwankungen wie zuletzt aufgrund der Corona-Pandemie hat

die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) seit den 1980er-Jahren insgesamt in Baden-Württemberg zugenommen. Die DTV auf Autobahnen und Bundesstraßen sank im Zuge der Pandemie 2020 auf 52.976 Kfz bzw. 12.334 Kfz pro 24 Stunden (Stand 2019: 64.058 Kfz bzw. 14.511 Kfz/24 Stunden). 2021 stieg die DTV wieder an: 55.730 bzw. 12.421 Kfz/24 Stunden (Statistisches Landesamt BW, 2023a, 2023b). Der Lkw-Bereich verzeichnet im Bereich der leichten Nutzfahrzeuge (LNF)<sup>11</sup> trotz Corona-Pandemie hingegen ein stetiges Wachstum. Hier stieg die DTV auf Autobahnen von 5.249 Kfz/24 Stunden im Jahr 2019 auf 5.424 Kfz/24 Stunden im Jahr 2020 und liegt im Jahr 2021 bei 5.598 Kfz/24 Stunden (Statistisches Landesamt BW, 2023a).

Parallel zur Entwicklung des DTV verhält sich die Jahresfahrleistung der Straßen (Statistisches Landesamt BW, 2023c). 2020 sank die gesamte Fahrleistung von 95.270 Millionen Kilometer im Jahr 2019 auf 80.263 Millionen Kilometer. 2021 stieg sie wieder leicht an: 81.369 Millionen Kilometer. Rückgänge sind 2020 dabei nahezu über alle Fahrzeugklassen zu beobachten. Nur im Bereich der LNF zeigt sich ein stetiger Anstieg von 2019 bis 2021 (plus 474 Mio. Kilometer) (Statistisches Landesamt BW, 2023c). Ursachen hierfür können in einem beschleunigten Trend zum E-Commerce während der Pandemie und dem damit verbundenen Lieferverkehr liegen (Rusche, 2021).

### **Pkw-Bestand und geteilte Mobilität in Baden-Württemberg**

Im Januar 2022 steigt der Pkw-Bestand in Baden-Württemberg auf 6,8 Millionen zugelassene Pkw und führt damit zu einer Dichte von 613 Pkw je 1.000 Einwohner:innen (Statistisches Landesamt BW, 2022). Zwar ging die Zahl der Pkw-Neuzulassungen in Baden-Württemberg im ersten Quartal 2022 um circa sieben Prozent zurück (e-mobil BW, 2022). Dennoch liegt die einwohnerbezogene Pkw-Dichte in Baden-Württemberg seit 1997 mit circa sechs Prozent über dem Bundesdurchschnitt (Heinen, 2022; VM BW, 2017).

Der Trend in Baden-Württemberg geht zum Zweit- und Drittwagen. Im Jahr 2022 besaßen 37,4 Prozent der Haushalte zwei oder mehr Pkw. Im Vergleich dazu waren es im Jahr 2017 mit

9 | Die MiD-Datenerhebung ist die bundesweit größte regelmäßige Erhebung zur Alltagsmobilität der Bevölkerung. Die aktuellen MiD-Ergebnisse beziehen sich auf das Jahr 2017 und nehmen damit keinen bzw. wenig Bezug zu Effekten der Corona-Pandemie sowie dem Hochlauf der Elektromobilität in den letzten drei Jahren. Die Ergebnisse der neuen MiD-Befragung 2023 werden neben diesen Entwicklungen auch saisonale und witterungsbedingte Effekte auf das Mobilitätsgeschehen mit einbeziehen. Ergebnisse der MiD 2023 werden im vierten Quartal 2024 erwartet.

10 | Der Modal Split stellt die Verteilung des Verkehrsaufkommens (z. B. täglich zurückgelegte Wege der Bevölkerung) bzw. der Verkehrsleistung (z. B. täglich zurückgelegte Personenkilometer) für die jeweiligen Verkehrsmittel (MIV, ÖPNV, Fuß- und Radverkehr) dar. Der Modal Split ist damit eine entscheidende Kenngröße der Verkehrsnachfrage und des Mobilitätsverhaltens.

11 | Zu den leichten Nutzfahrzeugen gehören Nutzfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von bis zu 3,5 Tonnen (Statistisches Landesamt BW, 2017).



rund 28 Prozent knapp zehn Prozent weniger Haushalte (infas, 2018a). Rund ein Viertel (24 %) der Haushalte in Baden-Württemberg besaßen zwei oder mehr Pkw. Vor allem Haushalte mit Kindern besitzen mindestens einen Pkw und einkommensstarke Haushalte durchschnittlich rund 1,6 Pkw (VM BW, 2019). Über alle Raumtypen hinweg liegt der Anteil der Haushalte, die einen Pkw besitzen, bei ungefähr 50 Prozent. Allerdings gibt es deutliche Unterschiede bei Haushalten, die keinen oder mehrere Pkw besitzen (infas, 2018a). In Stadtregionen, vor allem in den Metropolen und Großstädten, verfügt rund ein Drittel der Haushalte über keinen eigenen Pkw (35 % bzw. 33 % der Haushalte). Im kleinstädtischen bzw. dörflichen Raum haben hingegen 47 Prozent der Haushalte zwei oder mehr und nur fünf Prozent der Haushalte keinen eigenen Pkw. Ähnlich verhält es sich im ländlichen Raum. In zentralen Städten des ländlichen Raums gibt es mehr Haushalte ohne eigenen Pkw (21 %) als im dörflichen Raum (11 %). Innerhalb der Großstädte zeichnet sich ein heterogeneres Bild ab: In Freiburg, Heidelberg und Karlsruhe verfügen 40 Prozent der Haushalte über keinen eigenen Pkw, in Heilbronn, Pforzheim und Reutlingen hingegen nur 20 Prozent (VM BW, 2019; infas, 2018, 2018a).

Die räumlichen und quantitativen Entwicklungen im Pkw-Bereich spiegeln sich in der ÖPNV- und Sharing-Infrastruktur wider. Trotz seines flächendeckenden Haltestellennetzes wird der ÖPNV in Baden-Württemberg als unzureichend angesehen. Zwar werden 85 Prozent aller Haltestellen in weniger als fünf Minuten zu Fuß erreicht, dennoch bleiben zahlreiche Verbände hinter den siedlungsstrukturellen Potenzialen zurück. Dies ist beispielsweise auf mangelnde Personalressourcen oder fehlende Fahrzeugkapazitäten zurückzuführen, die für eine höhere Taktung notwendig wären (VM BW 2022b, 2022c; civity, 2020). Auch im Schienenpersonenverkehr (SPNV) sind noch längst nicht alle Ober- und Mittelzentren an das bestehende Schienennetz angebunden. Das Land BW fördert seit 2015 den weiteren Aufbau des künftig bis zu 90 Linien umfassenden Regiobus-Netzes in Ergänzung zum SPNV (VM BW, 2021, 2021a). Damit wird der öffentliche Verkehr noch stärker auf den Verkehrsträger Straße verlagert.

Der ÖPNV wird in Ballungsgebieten und Großstädten deutlich häufiger in Anspruch genommen, was sich in einem Modal Split von 20 Prozent widerspiegelt (VM BW, 2019). Aufgrund der Fahrplandichte und der Konzentration auf Stoßzeiten, was insbesondere mit einer geringeren Taktung und einem eingeschränkten Beförderungsangebot zu den Tagesrandzeiten und am Wochenende einhergeht, bedeutet ÖPNV in Baden-Württemberg jedoch vorwiegend Schulverkehr. Aus Sicht der Nut-

zer:innen gilt das Fahrangebot im Alltag abseits der Schulzeiten als wenig praktikabel. Darüber hinaus wird der ÖPNV als zu teuer empfunden und damit der Pkw trotz Unterhaltungskosten wie Versicherungen oder Parkgebühren (inkl. des Zeitaufwands) von vielen Nutzer:innen als die günstigere Variante der Fortbewegung im Vergleich zum ÖPNV bewertet (civity, 2020).

### Infobox 3

#### Ansätze für einen attraktiven ÖPNV in Baden-Württemberg

Um den Umweltverbund zu stärken, bedarf es aus Sicht der Nutzer:innen einiger Anpassungen der ÖPNV-Struktur in Baden-Württemberg. Laut des ÖPNV-Reports 2020 umfassen diese die Integration neuer Mobilitätsformen, die insbesondere Intermodalität und Flexibilität ermöglichen (VM BW, 2022b; civity, 2020). Dazu zählen beispielsweise flexiblere und einheitlichere Zahl- und Tarifsysteme oder App-basierte Ein- und Ausstiegsmodelle, bei denen fahrtbezogen der Bestpreis ermittelt wird. Deutschlandweit verkomplizieren kleinteilige und regional unterschiedliche Tarif- und Preisstrukturen der verschiedenen Verkehrsverbände Preisauskunft und Buchung. Das Bundesland Baden-Württemberg setzt hier mit seinem transparenteren Tarifsystem an. Die 19 Verkehrsverbände Baden-Württembergs verwenden ein einheitliches Tarifsystem, bei dem Fahrkarten gegenseitig anerkannt werden (bwegt, 2023). Doch aus Sicht der Nutzer:innen ist eine unzureichende Fahrplan-Taktung das größte Problem bei der verstärkten Einbindung des ÖPNV in ihre täglichen Mobilitätsroutinen (VM BW, 2022b, 2022c; civity, 2020). Ein bedarfs- und bedürfnisorientierter ÖPNV, dessen Angebot sich nicht nur auf Randzeiten beschränkt, ist in vielen Regionen Baden-Württembergs nicht gegeben. Insbesondere im ländlichen Raum ist eine höhere Taktung dringend notwendig, um Mobilität ohne Pkw zu ermöglichen. Grundsätzlich ist zudem ein attraktiveres, barrierefreies und komfortableres ÖPNV-Ökosystem, d. h. beispielsweise Aufzüge, gute Beleuchtungsverhältnisse gegen Sicherheitsbedenken, Unterstell- und Sitzmöglichkei-



**ten an Haltestellen, einer der Bausteine für einen erfolgreichen ÖPNV bundesweit wie auch in Baden-Württemberg (VM BW, 2022b; civity, 2020).**

Während der Corona-Pandemie waren deutliche Rückgänge der Fahrgastzahlen zu erkennen. Fuhren 2019 rund 1,3 Millionen Fahrgäste mit dem Angebot der 556 Verkehrsunternehmen in Baden-Württemberg, waren es 2020 nur rund 817.000 Fahrgäste. Im vierten Quartal 2022 wies der ÖPNV eine Auslastung von 258.653 Fahrgästen auf und verzeichnet damit wieder ein stetiges Wachstum in den Jahren 2021 und 2022 (Statistisches Landesamt BW, 2023d).

In der Breite bleibt der Pkw in vielen Haushalten, insbesondere im ländlichen Raum, alternativlos – auch wenn es nicht zwangsläufig der eigene Pkw sein muss. Baden-Württemberg verfügt über eine großflächige Carsharing-Landschaft. Insgesamt gibt es 332 Carsharing-Orte (Stand Oktober 2022). Damit liegt mehr als ein Drittel aller Carsharing-Orte Deutschlands in Baden-Württemberg (BCS, 2022). Anders als in vielen Bundesländern ist Carsharing kein urbanes Phänomen. Das Carsharing-Angebot ist in kleineren Städten und im ländlichen Raum gleichermaßen gut etabliert und konzentriert sich vorwiegend auf stationsbasiertes Carsharing und weniger auf free-floating Carsharing-Modelle. 2020 befanden sich etwa knapp 70 Prozent der Carsharing-Orte in Orten mit weniger als 20.000 Einwohner:innen. Dabei wurde nur in fünf Gemeinden free-floating Carsharing angeboten. Auch im bundesweiten Vergleich sind es die Städte Baden-Württembergs, die sich im Carsharing auszeichnen. Im Städteranking des Bundesverbands Carsharing (BCS) kommen fünf Städte aus Baden-Württemberg. Karlsruhe erweist sich dabei seit Jahren als die „Carsharing Hauptstadt“ Deutschlands (BCS, 2022).

Neue Mobilitätsangebote stärken ebenfalls den Verkehrsträger Straße. Zur Steigerung der Attraktivität „geteilter“ Mobilitätslösungen wie des Car- oder Bikesharings in Kombination mit dem Angebot des öffentlichen Verkehrs realisiert das Land Baden-Württemberg zudem erste Modellvorhaben zur Multimodalität im städtischen Raum. 2021 wurden 15 Mobilitätsäulen installiert, an denen verschiedene geteilte und öffentliche Mobilitätsoptionen wie beispielsweise Bike- und Carsharing, Bus- und Straßenbahnverkehr verknüpft werden. Laut dem „Integrierten Energie- und Klimaschutzkonzept“ (IEKK) Baden-Württemberg sollen bis zum Jahr 2030 insgesamt mindestens 1.000 Mobilitätsäulen im Land errichtet und

die Wegeketten der Menschen multimodal verbunden werden (VM BW, 2021b; IEKK, 2014). Damit soll insgesamt der ÖPNV in Baden-Württemberg gestärkt und in das Klimaziel der Verdopplung des öffentlichen Verkehrs eingezahlt werden.

### **Stand der Elektromobilität Baden-Württemberg**

Die Verkehrs- und Mobilitätswende in Baden-Württemberg findet vorwiegend auf der Straße und unter einem gleichbleibend starken MIV statt. Für die Erreichung der Klimaziele ist eine Elektrifizierung der Kfz-Flotte somit unumgänglich. Bis 2030 soll jedes dritte Auto klimaneutral fahren und jeder dritte Tonnenkilometer klimaneutral gefahren werden (VM BW, 2023). Damit kann der Markthochlauf der Elektromobilität nicht auf reine Fahrzeugzahlen reduziert werden, sondern muss gleichermaßen den bedarfsorientierten und flächendeckenden Ausbau der Ladeinfrastruktur sowie der erneuerbaren Energien umfassen. Vor diesem Hintergrund darf die wirtschaftliche Bedeutung der Automobilwirtschaft nicht vernachlässigt werden; allein der Fahrzeugbau erbringt in Baden-Württemberg ein Zehntel der Bruttowertschöpfung und rund elf Prozent der direkten und indirekten Beschäftigungseffekte gehen auf die Automobilwirtschaft zurück (DLR et al., 2019). Demzufolge hat Baden-Württemberg neben einem ökologischen auch ein starkes ökonomisches Interesse an einer erfolgreichen Transformation der Automobilwirtschaft.

### **Flottenentwicklung**

Im Zuge des Markthochlaufs der Elektromobilität zeigt sich in Baden-Württemberg in den letzten drei Jahren eine gesteigerte Nachfrage nach Elektrofahrzeugen (e-mobil BW, 2023, 2023a, 2022). Die bereits erwähnten Rückgänge bei den Pkw-Neuzulassungen (minus 13,7 Prozent von 2020 auf 2021) sind vor allem auf die sinkende Nachfrage im Bereich der Verbrennungsmotoren zurückzuführen (Statistisches Landesamt BW, 2023e; e-mobil BW, 2022). Zwar machen Kfz mit Verbrennungsmotoren (Benzin- und Dieselmotoren) mehr als 90 Prozent der Bestandsflotte aus, dennoch sind die Pkw-Neuzulassungen 2022 um 14 Prozent (Benzin) und 22 Prozent (Diesel) zurückgegangen (e-mobil BW, 2022). Der Bereich der rein batterieelektrisch angetriebenen Fahrzeuge (BEV) und der Plug-in-Hybride (PHEV) wächst auf 80 Prozent bzw. 55 Prozent bei den Neuzulassungen (Stand April 2022) (e-mobil BW, 2022). Die E-Pkw-Flotte gewinnt um 158 Prozent (BEV) und 193 Prozent (PHEV) von 2020 auf 2021. 2021 liegt der prozentuale Anteil an E-Pkw bei den Neuzulassungen bei über einem Prozent und ist damit größer als auf Bundesebene (e-

mobil BW, 2022; KBA, 2023). Ende 2022 ist jeder sechste neu zugelassene Pkw in Baden-Württemberg ein reines Elektroauto (e-mobil BW, 2023). Im Januar 2023 verstärkt sich der Trend zur Elektromobilität der letzten Jahre (Stand Januar 2023): Die elektrifizierte Flotte steigt auf 177.930 BEV und 143.016 PHEV von 149.997 BEV bzw. 125.536 PHEV im Oktober 2022 (KBA, 2023, 2023a). Der Marktanteil von Wasserstoff- und Brennstoffzellenfahrzeugen (FCEV) ist hingegen gering, sodass es für Baden-Württemberg noch keine Angaben gibt. In Deutschland sind Ende 2022 insgesamt 1.425 reine FCEV und PHEV mit Brennstoffzellen unterwegs. Damit haben bisher nur rund 0,01 Prozent der Pkw-Neuzulassungen und des Bestands einen Brennstoffzellenantrieb (NOW, 2023). Aktuell spielen daher Wasserstofffahrzeuge im Personenverkehr deutschlandweit wie auch in Baden-Württemberg immer noch eine untergeordnete Rolle.

Im Bereich der Elektromobilität hat vor allem die bundesweite Förderung der Beschaffung von E-Pkw im Rahmen der Innovationsprämie und des Umweltbonus in den Jahren 2021 und 2022 zu einer Nachfragesteigerung beigetragen (NOW, 2023, 2022; VM BW & bewegt, 2021). Nach einer Studie der Nationalen Leitstelle für Ladeinfrastruktur (2020) könnte bundesweit der Bestand an Elektrofahrzeugen (BEV und PHEV) im Jahr 2030 sogar auf 14,8 Millionen ansteigen, darunter circa 9,6 Millionen BEV. 2022 gibt es in Baden-Württemberg rund 140.000 BEV (e-mobil BW, 2023; KBA, 2023a). Dabei ist der E-Pkw oft der Zweit- oder Drittwagen.

In Deutschland sind schwere Nutzfahrzeuge (SNF), also Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von über 3,5 Tonnen bis maximal 38 Tonnen, für 26 Prozent der THG-Emissionen des Straßenverkehrs verantwortlich (Agora Verkehrswende, 2022; NPM, 2020; Statistisches Landesamt BW, 2017). Somit wird rund ein Viertel der Emissionen von circa zwei Prozent des Fahrzeugbestandes emittiert. Hieraus lässt sich schließen, dass für die Einhaltung der Klimaziele eine weitgehende Elektrisierung der Lkw-Flotte notwendig ist (Transport & Environment, 2022). Vor allem, da bundesweit der Güterverkehr ein schnelleres Wachstum als der Personenverkehr verzeichnet, wird der Güterverkehr eine Stellschraube zur Dekarbonisierung des Verkehrsträgers Straße (Plötz et al., 2018). Von den Akteuren der Branche werden derzeit Nullemissions-Lkw, d.h. BEV sowie FCEV, als geeignet angesehen, um die Dekarbonisierung zu ermöglichen (Transport & Environment, 2022, 2022a; PwC network, 2022; Plötz et al., 2018). Laut einer Studie der Agora Verkehrswende (2022) werden bis 2035 batterieelektrische Lkw im Vergleich zu herkömmlichen Diesel-

Lkw im Betrieb langfristig sogar günstiger sein, genauso viel Last transportieren und die gleiche Reichweite erzielen können. Auch wenn aktuell Verbrennungsmotoren, insbesondere Dieselmotoren, mit über 90 Prozent die Lkw-Bestandsflotte dominieren, wird die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs auch heute schon deutlich (e-mobil BW, 2023, 2023a; KBA, 2023, 2023a). In Baden-Württemberg hat sich der Anteil der BEV-Lkw seit 2019 mehr als verdoppelt und der Anteil der PHEV-Lkw sogar verzehnfacht (Stand April 2022). Januar 2022 liegt der Anteil an Elektro-Lkw bei 0,8 Prozent (e-mobil BW, 2023).

Der Bereich der FCEV-Lkw ist im Vergleich zu den BEV-Lkw aktuell weniger dynamisch. Antriebsspezifische Angaben für die einzelnen Fahrzeugklassen existieren nicht bzw. werden nicht vom KBA für die einzelnen Bundesländer als Daten bereitgestellt. Im Oktober 2022 liegt der Anteil der Wasserstoff-Kfz bei den Neuzulassungen in Baden-Württemberg bei 0,01 Prozent (e-mobil BW, 2022). Kennzahlen für den Lkw-Bereich existieren nur auf Bundesebene. Hier ist der Anteil an den Lkw-Neuzulassungen ebenfalls 0,01 Prozent (NOW, 2023). Auch wenn der Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie zukünftig eine größere Bedeutung beigemessen wird, deutet die aktuelle Entwicklung darauf hin, dass sich kurz- und mittelfristig der BEV-Lkw durchsetzen wird (Stand Oktober 2022).

Neben dem Güterverkehr schreitet auch die Elektrifizierung des busbetriebenen ÖPNV im Bereich des batterieelektrischen Antriebs voran. In Baden-Württemberg hat sich der Bestand der BEV-Busflotte seit 2019 verfünffacht und die Zahl der PHEV-Busse ungefähr verdreifacht (Stand Dezember 2022) (e-mobil BW, 2023). Damit zeigt sich in Baden-Württemberg ein ähnlicher Trend wie auf Bundesebene. Ende 2022 bestand die elektrische Busflotte (BEV, PHEV und FCEV) aus 1.359 Fahrzeugen. Auch hier wächst der Anteil der BEV deutlich stärker als der Anteil der FCEV. Nach einem Peak im Mai 2020 mit einem Anteil von rund sechs Prozent geht der Anteil an den Neuzulassungen bei den Wasserstoff-Kraftomnibussen zurück bzw. stagniert seit Januar 2022 (Stand November 2022) (NOW, 2023a).

## Ladeinfrastruktur

Angesichts des Hochlaufs der batterieelektrischen Kfz-Flotte braucht es eine entsprechende Ladeinfrastruktur. Für die Schaffung einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur ist ein Netz von Ladestationen mit öffentlichen Normal- (NLP) und Schnellladepunkten (SLP) notwendig.<sup>12</sup> Zwar können batterieelektrische Busse beispielsweise auf Betriebshöfen der Nahverkehrsanbieter geladen werden, dennoch braucht es auch hier entsprechende Ladepunkte und vor allem Lade- und Netzkapazitäten. Gleiches gilt für das elektrifizierte Carsharing-Angebot und Betriebsflotten etwa städtischer und kommunaler Unternehmen wie Reinigungs- und Entsorgungsunternehmen. Im Zuge der Bedeutung des Güterverkehrs für die Dekarbonisierung des Sektors stellen sich vor allem im europäischen Kontext einer Ladeinfrastruktur für Nutzfahrzeuge weitere Anforderungen und bilaterale Herausforderungen, die gerade für Baden-Württemberg aufgrund seiner geografischen Lage relevant sind. Analog zur bestehenden Infrastruktur von Tank- und Rastanlagen entlang der Bundesautobahnen braucht es öffentliche Schnelllade-Hubs entlang wichtiger Hauptverkehrswege, an denen die elektrischen Nutzfahrzeug-Flotten aufgeladen (im Falle von BEV) oder aufgetankt (im Falle von FCEV) werden können.

Auch im Jahr 2023 nimmt Baden-Württemberg weiterhin eine führende Position im Bereich Ladeinfrastruktur ein und forciert die Antriebswende im Land (e-mobil BW, 2023, 2023a). Im Ländervergleich der Nationalen Leitstelle für Ladeinfrastruktur (2022) liegt Baden-Württemberg auf Platz drei mit 11.567 öffentlichen Ladepunkten (LP) mit einem Anteil an SLP von 14 Prozent. Der Anteil an SLP ist in Baden-Württemberg genauso hoch wie der jeweilige Anteil in Bayern und Nordrhein-Westfalen, die mit 13.113 und 11.710 installierten, öffentlichen LP auf Platz eins bzw. zwei im bundesweiten Vergleich liegen (Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur, 2022). Bis 2030 sind zwei Millionen private und circa 200.000 öffentliche LP, basierend auf einem Planwert von zwei Millionen Elektrofahrzeugen, geplant. Seit 2017 wurden 16.000 LP im Südwesten gefördert, für den Ausbau der Ladeinfrastruktur rund 1,5 Milliarden Euro Fördermittel bereitgestellt sowie rund 126 Millionen Euro in die Förderung der Elektromobilität investiert (VM BW, 2023a).

### Infobox 4

#### Trend zum Schnellladen auch in Baden-Württemberg

Im Zuge einer erhöhten Nutzerakzeptanz geht der Trend in Baden-Württemberg wie auch bundesweit zum Schnellladen, insbesondere zum High Power Charging (HPC) mit einer Ladeleistung ab 150 Kilowatt (kW). Mit dem Ziel, das Schnellladen in der Breite zu ermöglichen, werden Projekte wie USP-BW oder Fast Lane BW realisiert.

Im Projekt USP-BW werden in 15 Großstädten Baden-Württembergs 16 Schnellladeparks mit 300 kW pro Ladepunkt errichtet. Im Projekt Fast Lane BW wird der Ausbau des Schnellladernetzes in der Langstrecke umgesetzt. An zehn Tankstellen-Standorten werden bis zu zwölf Ladepunkte mit einer Ladeleistung von bis zu ebenfalls 300 kW installiert (VM BW, 2022d). Ein flächendeckendes Schnellladernetz ist gerade im Kontext des Güter- und Transitverkehrs relevant, um Laden entsprechend der Reichweiten der Fahrzeuge zu ermöglichen. Das Schnellladernetz soll sich durch praktikable Ladezeiten auszeichnen, die auch die wirtschaftliche Nutzung von Elektrofahrzeugen ermöglichen. An öffentlichen Schnellladesäulen mit circa 50 kW liegen die Ladezeiten zwischen 30 und 60 Minuten – abhängig von den technischen Fahrzeugdaten und -ausstattungen. Bei den Supercharger-Stationen (circa 120 kW) des E-Pkw-Herstellers Tesla verkürzen sich Ladezeiten auf 30 bis 40 Minuten (X2Energy, 2021). Damit könnte das HPC-Laden die Attraktivität und Praktikabilität der Elektromobilität stärken und insbesondere im Personenverkehr der sogenannten „Reichweitenangst“ entgegenwirken.

12 | Die Bezeichnung sowie Abkürzungen zum Thema Ladeinfrastruktur und Elektromobilität beziehen sich auf das Begriffsglossar der Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur.

Baden-Württemberg weist insgesamt eine breite Förderlandschaft für den Ladeinfrastrukturausbau und die Förderung von Elektromobilität auf. Neben dem gezielten Ausbau der Schnellladeinfrastruktur setzen verschiedene Förderprojekte in der Fläche an: So wurde mit dem Projekt „Flächendeckendes Sicherheitsladenetz für Elektrofahrzeuge“ (SAFE) seit 2019 mit 450 Ladepunkten eine Art Grundladenetz geschaffen. In einem Raster von 10 x 10 Kilometern wurde mindestens ein NLP (22 kW) installiert. Daneben wurde ein Schnellladenetz in einem Raster von 20 x 20 Kilometern mindestens ein SLP (> 50 kW) errichtet (SAFE BW, 2022). Zukünftig soll das bestehende Ladenetz weiter verdichtet und bedarfsorientiert ausgerichtet werden. Insgesamt hat sich die Anzahl der öffentlichen LP seit 2017 in Baden-Württemberg verzehnfacht (Stand 2022) (e-mobil BW, 2022). Stand Juli 2022 war in Baden-Württemberg eine Ladeleistung von 317.947 kW installiert, durchschnittlich 27,97 kW pro Ladepunkt (BNetzA, 2022). Im Januar 2023 stieg die durchschnittliche Leistung pro LP auf über 28 kW. Zu Beginn des Jahres 2023 kommen auf einen LP 70 Prozent mehr Elektrofahrzeuge im Vergleich zu 2017 (e-mobil BW, 2023). Im Januar 2023 sind insgesamt 14.417 LP (SLP: 2.108 und NLP: 12.309) installiert, damit 45 Prozent mehr im Vergleich zu Januar 2022 (BNetzA, 2023). Aber auch in Bezug auf die Ladeinfrastruktur gibt es räumliche Unterschiede. Insbesondere der Stadtkreis Stuttgart und die Landkreise Heilbronn und Ludwigsburg sind innerhalb Baden-Württembergs Vorreiter. In den Stadtkreisen Baden-Baden und Pforzheim sind hingegen weniger Ladepunkte öffentlich zugänglich (BNetzA, 2022). Neben der öffentlichen ist die private Ladeinfrastruktur in den nächsten Jahren ein wichtiger Treiber für den weiteren Markthochlauf der Elektromobilität. 60 bis 85 Prozent der Ladevorgänge erfolgen im privaten Umfeld, gefolgt vom Laden beim Arbeitgeber (dena, 2020; Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur, 2020). Die Gesamtheit der privaten Stellplätze stellt dabei das Potenzial für den weiteren Ausbau der privaten Ladeinfrastruktur dar. Die größten Potenziale liegen bei den Eigenheimen und somit eher in den ländlichen Regionen. Auch weil hier weniger als zehn Prozent der Anwohner:innen im öffentlichen Straßenraum parken, wohingegen in städtischen Regionen die Quote bei über 50 Prozent liegt. Derzeit geht die Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (2023) für Deutschland von rund 900.000 Ladepunkten im nichtöffentlichen Bereich aus. Mit dem weiteren Markthochlauf der Elektromobilität gehen Modellrechnungen davon aus, dass bis zum Jahr 2030 bundesweit zwischen 5,4 und 8,7 Millionen privater Ladepunkte am Wohnort und etwa 2,5 bis 2,7 Millionen am Arbeitsplatz in Abhängigkeit zu dem prognostizierten Bestand an Elektrofahrzeugen verfügbar sein werden (Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur, 2020).

Laut einer Studie der Deutschen Energie-Agentur (dena) 2020 kann es jedoch ab dem Jahr 2030 bereits knapp für das Laden auf privaten Stellflächen werden: Je nach betrachtetem Szenario der dena (2020) fehlen zwischen 0,6 und 1,1 Millionen Stell- bzw. Ladeplätze. Auch für Baden-Württemberg ist angesichts des Hochlaufs der Elektromobilität und der auch hier eingeschränkten Verfügbarkeit von Stellflächen davon auszugehen, dass der Ausbau der privaten Ladeinfrastruktur deshalb nur eingeschränkt möglich ist. Die Knappheit an privater Ladeinfrastruktur führt analog zu den Szenario-Analysen der Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur zu einer steigenden Nachfrage an öffentlichen Ladepunkten (dena, 2020, Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur, 2020).

Genaue Angaben und Kenntnisse über die Anzahl installierter privater Ladepunkte sind angesichts eines netzdienlichen harmonisierten Ladeinfrastruktur- und Netzausbaus und für die Netzplanung zwingend notwendig. Allerdings ist die Datenlage bzw. der Kenntnisstand seitens der Netzbetreiber unklar bzw. sind die Daten weniger belastbar als jene zur öffentlichen Ladeinfrastruktur. Laut einer Umfrage des BDEW (2019) zur Netzintegration privater Ladeinfrastruktur sind den Netzbetreibern 85 Prozent der installierten Ladepunkte im privaten Bereich nicht bekannt. Unstrittig ist, dass es für den weiteren Ladeinfrastrukturausbau in Baden-Württemberg wie auch in Deutschland insgesamt die (netzseitigen) infrastrukturellen Voraussetzungen braucht. Das Laden von Elektrofahrzeugen findet maßgeblich im Verteilnetz statt. Ein leistungsstarkes Stromnetz muss damit auf die veränderten Belastungen durch den Hochlauf der Elektromobilität mit etwaigen punktuellen Lastspitzen ausgerichtet sein. Allerdings wird weniger die Anzahl der Elektrofahrzeuge als kritische Größe gesehen als vielmehr die Menge gleichzeitiger Ladevorgänge – beispielsweise, wenn Arbeitnehmer:innen am Abend ihre Pkw aufladen und zeitgleich weitere elektronische Haushaltsgeräte bedienen. Demzufolge muss das Verteilnetz in Regionen mit überdurchschnittlich vielen E-Pkw und entsprechenden Ladebedarfen entsprechend aus- und umgebaut werden (BDEW, 2019a). Vor diesem Hintergrund werden die Flexibilisierung des Strommarktes (u. a. durch dynamische Stromtarife), intelligente Ladepunkte (gesteuertes Laden) und Netze („Smart Grid“) inklusive intelligenter Messsysteme („Smart Meter“) sowie „Smart Home“-Lösungen in diesem Zusammenhang zwingend notwendig sein; hierauf wird in den Ausführungen zum Status quo des Energiesystems (siehe Kap. 3.3) eingegangen (dena, 2020; BDEW, 2019, 2019a, 2017).

Aktuell wird die Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge bundesweit wie auch in Baden-Württemberg unidirektional aufgebaut. Mit Blick auf die Integration der Systeme Verkehr und Mobilität in das Energiesystem sollte das bidirektionale Laden stärker in den Blick genommen werden und Elektrofahrzeuge als mobile Speicher in das Energiesystem integriert werden, indem sie nicht nur Strom aus dem Netz beziehen, sondern auch bei Bedarf (zwischen-)gespeicherten Strom wieder in das Netz einspeisen können. Damit können Elektrofahrzeuge als mobile Speicher nutzbar gemacht werden und durch „Vehicle-to-Grid“- und „Vehicle-to-Home“-Lösungen zur Netzstabilität beitragen. Neben technischen Aspekten wie intelligente Lade- und Energiemanagementsysteme sowie dem notwendigen rechtlichen und regulativen Rahmen sind Stellplätze, die längere Standzeiten erlauben, eine raumplanerische Grundvoraussetzung (e-mobil BW, 2023b, 2022a). Auf solchen, idealerweise mit Photovoltaik-Anlagen ausgestatteten, Stell- und Ladeflächen kann das Be- oder Entladen der Fahrzeuge über längere Zeiträume netzdienlich gesteuert werden. Darüber hinaus begünstigt das Fahr- bzw. Parkverhalten der Bevölkerung diese Möglichkeit der Netzintegration, da Fahrzeuge in Deutschland durchschnittlich 23 Stunden am Tag stehen, privat oder beim Arbeitgeber (UBA, 2022). Folglich könnten Elektrofahrzeuge ein Bindeglied zwischen Verkehrs- und Energiewende darstellen. Trotz der diversen Anwendungsfälle des bidirektionalen Ladens (siehe Ausführungen e-mobil, 2023b), befindet sich das Thema bidirektionales bzw. gesteuertes Laden in Baden-Württemberg aktuell noch in einem Experimentierstadium. So erprobt derzeit der Übertragungsnetzbetreiber Transnet BW (2022) im Rahmen des Projekts „Bidirektionales Lademanagement“ die Potenziale der intelligenten Kopplung von Fahrzeugen und Stromnetz in einem zweijährigen Pilotversuch (Start 2022). Neben Netzstabilität und Entlastung des Netzan schlusses kann mit dem gesteuerten Laden der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Fahrzeugflotten durch ein optimiertes Lademanagement optimiert werden. Hierfür werden die Fahrzeuge dann (intelligent gesteuert) geladen, wenn der aktuell ins Netz einspeisende Kraftwerkspark wenig CO<sub>2</sub> ausstößt bzw. wenn der Anteil der erneuerbaren Energien am Strommix hoch ist.

### Stand der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in Baden-Württemberg

Trotz der transformativen Bedeutung batterieelektrischer Antriebe im Pkw-Bereich und bei den leichten Nutzfahrzeugen werden gerade im Busverkehr, bei schweren Nutzfahrzeugen sowie für den Langstreckenverkehr Chancen für die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie im Verkehrssektor, insbesondere auf der Straße gesehen (Prognos, 2022; Prognos & Sphera, 2022; Weichenhain et al., 2020). Beim Thema der Elektrifizierung des Verkehrs- und Mobilitätssystems bleibt Baden-Württemberg weitgehend technologieoffen. Auch wenn grüner (aus erneuerbarem Strom erzeugter) Wasserstoff (H<sub>2</sub>) einer Studie der Plattform H2BW zufolge aufgrund der hohen Produktionskosten bis 2025 nicht konkurrenzfähig gegenüber fossilen Energieträgern sein wird, werden aktuell die infrastrukturellen Rahmenbedingungen zur Nutzung von Wasserstoff geschaffen (Prognos & Sphera, 2022). Dabei wird parallel zum Ausbau der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge die Infrastruktur für Wasserstofffahrzeuge einschließlich der Errichtung von H<sub>2</sub>-Tankstellen durch das Land Baden-Württemberg unterstützt. Laut H2 Mobility Deutschland (2022) sind weltweit circa 685 Tankstellen in Betrieb. Ende 2021 waren es in Europa 228 und in Deutschland 101 Anlagen. 14 H<sub>2</sub>-Tankstellen sind in Baden-Württemberg installiert (Stand Dezember 2022) (e-mobil BW, 2023; H2 Mobility, 2022). Bundesweit sind weitere H<sub>2</sub>-Tankstellen geplant; bis 2030 soll das Netz auf 300 Stationen ausgebaut werden, wobei über 200 davon als Großanlagen für Schwerlast- und Langstreckentransporter vorgesehen sind.

#### Infobox 5

##### Wasserstoffstrategie Baden-Württemberg

Im Kontext des Strukturwandels gilt Wasserstoff als Schlüsseltechnologie für die Zukunftsfähigkeit des Industriestandorts Baden-Württemberg. Dabei werden die Potenziale vor allem in der Chemie-, Zement- und Stahlindustrie gesehen. Im Verkehrssektor ist Wasserstoff in den Bereichen des Flug-, Schiffs-, Schwerlast- sowie Busverkehrs relevant und im Energiesystem bei H<sub>2</sub>-Kraftwerken (Back-up) sowie der Kraft-Wärme-Kopplung (Agora Energiewende & Industrie, 2022; Prognos & Sphera, 2022). Künftig wird der Wasserstoffbedarf europaweit

deutlich steigen. Unabhängig vom geografischen Raum prognostiziert der Fachdialog Wasserstoffinfrastruktur Mindestbedarfe von 20 bis 25 Prozent des jeweiligen Endenergiebedarfs (Plattform H2BW et al., 2023). Für Baden-Württemberg liegen die Prognosen für die Jahre ab 2035 bei einem Bedarf von 16,6 TWh pro Jahr. Laut einer Studie zur „Analyse der aktuellen Situation des H<sub>2</sub>-Bedarfs und -Erzeugungspotenzials in Baden-Württemberg“ (2022) reicht die geplante und lokal verfügbare Elektrolyseleistung bis 2035 für den prognostizierten Bedarf nicht aus. Vor diesem Hintergrund bedarf es nicht nur eines beschleunigten lokalen Ausbaus der erneuerbaren Energien, sondern auch des Auf- und Ausbaus einer geeigneten Wasserstoffinfrastruktur. Diese umfasst den Transport durch Fernleitungs- und Verteilnetze sowie den Aufbau lokaler Versorgungsoptionen als Ergänzung, insbesondere für geringere Bezugsmengen. Erste Wasserstofflieferungen über das Fernleitungsnetz sind laut den Betreibern ab 2030 für Baden-Württemberg möglich. Mit einer flächendeckenden Versorgung über ein H<sub>2</sub>-Fernleitungsnetz ist nach Einschätzungen des Fachdialogs Wasserstoffinfrastruktur frühestens 2040 zu rechnen. Wobei sich dieses Netz auf die bereits bestehenden Gasfernleitungen beschränkt (Plattform H2BW et al., 2023). Alternativ wird aktuell auch der Transport via Lkw und Binnenschiff geprüft. Insgesamt stellt sich der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft als Querschnittsaufgabe dar, da neben Bedarfs- und Netzplanung für Strom und Gas der Ausbau der erneuerbaren Energien vorangebracht und im Verkehr die passende Infrastruktur sichergestellt werden muss (Prognos & Sphera, 2022). Vor dem Hintergrund der Dekarbonisierung wurde im Dezember 2020 in Baden-Württemberg die „Wasserstoff-Roadmap“ in enger Abstimmung mit der Industrie, der Wissenschaft, Verbänden und der Politik beschlossen (UM BW, 2021). Mit der Roadmap knüpft das Land Baden-Württemberg an die „Nationale Wasserstoffstrategie 2020“ an. Sie dient als Fahrplan für die Nutzung und den

Ausbau der H<sub>2</sub>-Infrastruktur, um Baden-Württemberg zu einem führenden Standort für Wasserstoff- und Brennstofftechnologie zu entwickeln. Hierfür stehen bis 2024 circa 3,5 Millionen Euro zur Verfügung (UM BW, 2023b, 2022a, Klingler et al., 2020). Das Zukunftsprogramm Wasserstoff BW (ZPH2) greift die Themen der H<sub>2</sub>-Roadmap für die Unternehmen in Baden-Württemberg auf. Ziel ist es, eine zukunftsfähige H<sub>2</sub>-Wirtschaft aufzubauen sowie innovative Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien zu entwickeln und umzusetzen, um eine führende Position Baden-Württembergs auch im internationalen Wettbewerb auszubauen (UM BW, 2021, 2021a). Hier setzt das Förderprogramm „Modellregionen Grüner Wasserstoff“ an: Der Aufbau von drei Modellregionen wird durch das Förderprogramm des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung mit über 47 Millionen Euro finanziert (UM BW, 2023c). Darüber hinaus hat das Land Baden-Württemberg die Plattform „H2BW“ mit verschiedenen Akteuren der Sektoren Industrie, Verkehr, Gebäude und Energie initiiert. Alle Brennstoffzellenaktivitäten im Land sollen auf der Plattform H2BW gebündelt werden. Der „Cluster Brennstoffzelle BW“ setzt sich für Wasserstoffmobilität ein und unterstützt sowohl die Entwicklung als auch den Markthochlauf der Technologie sowie insbesondere die Hochskalierung der mobilen und stationären H<sub>2</sub>-Anwendungen (Plattform H2BW, 2021). Um den zukünftigen H<sub>2</sub>-Bedarf zu decken und die H<sub>2</sub>-Wirtschaft aufzubauen, fördert das Land mit weiteren Forschungs- und Förderprogrammen die Nutzung, den Transport sowie die Produktion von grünem Wasserstoff (UM BW, 2022a; Plattform H2BW, 2021).



Wie bereits erwähnt, strebt Baden-Württemberg wie beim Ladeinfrastrukturaufbau eine Vorreiterrolle im Bereich der Wasserstofftechnologie an und hat als Basis für eine zukunftsfeste Infrastrukturplanung eine Wasserstoff-Bedarfsermittlung initiiert (siehe Plattform H2BW, 2023). Darüber hinaus verfügt das Land über eine vielfältige Förderlandschaft. Aktuell laufen in Baden-Württemberg zahlreiche lokale Projekte. Zur Veranschaulichung werden in dieser Studie einzelne Projekte beispielhaft aufgeführt.<sup>13</sup> So erprobt das Land seit August 2022 im Rahmen des Verbundprojekts „Pilotlade- und Wasserstofftankstelle Lkw BW (PiLaTes)“ eine Pilot-Infrastruktur von Lade- und Wasserstofftankstellen. Durch die gewonnenen Erkenntnisse im Planungs- und Genehmigungsverfahren soll der Ausbau weiterer Ladeinfrastruktur erleichtert werden (e-mobil BW, 2022b). Die Demonstrationsprojekte „H2Rivers“ und „H2Rhein-Neckar“ zielen zum Beispiel auf einen langfristigen und nachhaltigen Aufbau lokaler Ketten aus regenerativer Wasserstofferzeugung, -distribution und -verbrauch ab. So soll die lokale Wasserstoffwirtschaft erprobt, aufgebaut und die Wettbewerbsfähigkeit lokaler Unternehmen langfristig gesichert werden (Plattform H2BW et al., 2023). Wesentliche Akteure in der Anwendung und Nutzung von Wasserstoff im Verkehrsbereich sind die ÖPNV-, Abfall- und Flottenbetreiber. Insbesondere der ÖPNV soll in Baden-Württemberg zukünftig nicht nur batterieelektrisch fahren und wird mit Landesmitteln in Höhe von circa 16,5 Millionen Euro gefördert. Die Rhein-Neckar-Verkehr GmbH wird z. B. im Zuge dieser Förderung rund 40 Brennstoffzellen-Range-Extender-Busse anschaffen (Plattform H2BW, 2021; e-mobil BW, 2023c).

Weitere Potenziale hat Wasserstoff im Verkehrs- und Mobilitätssystem zudem im Kontext von synthetischen Kraftstoffen – „Re-Fuels“ –, die auf Basis von erneuerbaren Energien hergestellt werden. Als Schlüsseltechnologie kann Wasserstoff somit zur Sektorkopplung und unter dem Stichwort „Power-to-Gas“ als Energiespeicher für erneuerbare Energien eingesetzt werden (UM BW, 2022b). Die Potenziale der Wasserstofftechnologie können damit nicht auf den Einsatz im Verkehrs- und Mobilitätssystem reduziert werden (Prognos & Sphera, 2022). Mit Blick auf den künftig deutlich steigenden H<sub>2</sub>-Bedarf ist neben dem frühzeitigen Aufbau einer geeigneten Wasserstoffinfrastruktur auch die Diversifizierung der Bezugsquellen beim Import von „grünen“ Wasserstoff anzustreben. Die Verfügbarkeit von „grünem“ Wasserstoff kann sich zu einem bedeutenden Standortfaktor am Industriestandort Baden-Württemberg entwickeln, eine entsprechende Schnittstellenfunktion zwischen Verkehrs- und Mobilitäts- sowie Energiesystem einnehmen und damit zur Umsetzung der Energiewende in Baden-Württemberg beitragen.

13 | Zur weiteren Vertiefung siehe Wasserstoff-Projekt Datenbank der Plattform H2BW.

## Steckbrief 5: Zentrale Erkenntnisse Status quo Verkehrs- und

### Mobilitätssystem Baden-Württemberg

Zentrale Erkenntnisse Status quo Verkehrs- und Mobilitätssystem	
<b>Mobilitätsverhalten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mobilitätsverhalten gleicht deutschlandweitem Verhalten</li> <li>– Hohe Verkehrsdichte und Infrastrukturbelastung</li> <li>– Hoher MIV-Anteil am Modal Split</li> <li>– Pkw-Nutzung prägt Alltagsmobilität, insbesondere im ländlichen Raum</li> <li>– Berufs- und Dienstwege sind stärkste Wegezwecke</li> <li>– Geschlechterspezifisches Mobilitätsverhalten (Multimodalität und Verkehrsmittelwahl)</li> </ul>
<b>Pkw-Bestand und geteilte Mobilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ÖPNV-Nutzung eher in städtischen Regionen</li> <li>– Sharing-Angebote und ÖPNV finden überwiegend auf dem Verkehrsträger Straße statt</li> <li>– (Stationäres) Carsharing in der Fläche vorhanden (kein städtisches Phänomen)</li> <li>– Hohe Pkw-Dichte</li> <li>– Trend zum Zweit- und Dritt-Pkw, insbesondere im ländlichen Raum</li> <li>– Pkw mit Verbrennungsmotoren dominieren Bestandsflotte</li> </ul>
<b>Elektromobilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wachstum bei den (Pkw-)Neuzulassungen, insbesondere BEV</li> <li>– BEV oftmals Zweit- oder Drittwagen</li> <li>– Breite Förderkulisse und vielschichtige Akteurslandschaft</li> <li>– Vorreiterrolle bei (unidirektionalem) Ladeinfrastrukturausbau</li> <li>– Grund- und Schnellladenetz in der Fläche installiert</li> <li>– Verdichtung des Ladenetzes weiter angestrebt</li> <li>– Elektrifizierung von ÖPNV und Güterverkehr schreitet voran</li> <li>– Güterverkehr als weitere Stellschraube der Dekarbonisierung des Verkehrs</li> </ul>
<b>Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Potenziale liegen bei schweren Nutzfahrzeugen, öffentlichem Verkehr sowie auf Langstrecken</li> <li>– Aufbau H<sub>2</sub>-Tankstellennetz</li> <li>– Schnittstellentechnologie zwischen Antriebs- und Energiewende</li> <li>– Einsatz bislang eher auf Projektebene</li> </ul>

### 3.3 Status quo Energiesystem

Bis zum Jahr 2040 strebt das Land Baden-Württemberg an, klimaneutral zu sein (siehe Infobox 6; UM BW 2023d). Dabei nimmt die Energiewende eine zentrale Rolle ein. Neben einem reduzierten Endenergieverbrauch (EEV) von höchstens 709 Petajoule (PJ) – rund 197 Terawattstunden (TWh) – bis 2040 ist hierfür die weitgehende Umstellung des Energiesystems von konventionellen Energieträgern, wie beispielsweise Steinkohle und Kernkraft, auf erneuerbare Energien notwendig (ZSW et al., 2017). Bis 2040 plant Baden-Württemberg, die Bruttostromerzeugung zu 98 Prozent umzustellen (UM BW, 2022c, 2022d). Lokale Ausbaupotenziale werden dabei insbesondere bei der Photovoltaik (PV) und Windkraft gesehen

(UM BW, 2022d). Damit bewegt sich Baden-Württemberg im Rahmen der energiepolitischen Zielsetzung der Bundesregierung. Der Koalitionsvertrag der Bundesregierung von 2021 sowie ein Gesetzesentwurf zum „Beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien“ aus dem Jahr 2022 zielen auf ein deutlich erhöhtes Tempo ab. Bis 2030 soll die Stromerzeugung deutschlandweit zu 80 Prozent und bis 2035 vollständig durch erneuerbare Energien gedeckt werden (Bundesregierung, 2023). Grund für einen beschleunigten Ausbau ist aber nicht nur die zwingend notwendige Erreichung der Klimaziele. Durch die Umstellung sollen gleichzeitig Abhängigkeiten von fossilen Energieimporten reduziert sowie langfristig Stabilität und Versorgungssicherheit des Strom- und Energiesystems gewährleistet werden.



**Infobox 6****Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg**

Mit Inkrafttreten des Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetzes in Baden-Württemberg am 1. Februar 2023 wird das Klimaschutzgesetz von 2013 sowie dessen Novellierung von 2020 und 2021 weiterentwickelt. Im Gesetz wird neben dem Klimaschutz die Klimaanpassung als ein zentrales Element festgehalten.

Auch wird so der Klimaschutz als Staatsziel auf der Landesebene gesetzlich verankert.

Den Handlungsrahmen geben dabei die Klimaschutzziele bzw. THG-Reduktionsziele des Bundes – für die einzelnen Sektoren – mit dem Zeithorizont 2030 und 2040 vor.

Für Baden-Württemberg abgeleitet ergibt sich das Ziel, bis 2030 die Gesamtemissionen um mind. 65 Prozent gegenüber 1990 zu reduzieren. Bis 2040 soll schrittweise die Klimaneutralität erreicht werden. Mit dem Ziel der Klimaneutralität bereits bis 2040 möchte das Land Baden-Württemberg eine Vorreiterrolle innerhalb der EU und des Bundes einnehmen. Hierfür müssen jedoch in allen Sektoren die Emissionen deutlich reduziert werden.

Für die einzelnen Sektoren gelten somit folgende Beiträge zur Emissionsreduktion (UM BW, 2023d; 2023e):

Sektor	Anteil zur Emissionsreduktion
<b>Energie</b>	75%
<b>Industrie</b>	62%
<b>Verkehr</b>	55%
<b>Gebäude</b>	49%
<b>Landwirtschaft</b>	39%
<b>Abfallwirtschaft und Sonstiges</b>	88%

Zur beschleunigten Umsetzung wurde ein Klima-Maßnahmen-Register (KMR) mit auf den Weg gebracht. Daneben umfasst das Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz

2023 konkrete Maßnahmen insbesondere zur kommunalen Wärmeplanung und zur PV-Pflichtregelung für den Neubau und bei grundlegender Dachsanierung im Altbestand. Das KMR stellt eine Weiterentwicklung des IEKK dar. Darin werden Klimaschutzmaßnahmen nach Sektoren gebündelt und der Fortschritt der Klimaschutzaktivitäten öffentlich zugänglich gemacht. Grundlage für das implementierte Monitoring sind die Emissionsberichte des Statistischen Landesamts und die sektoral gegliederten Ressortberichte zum aktuellen Umsetzungsgrad der einzelnen Zielsetzungen. Dabei ist das KMR nicht als starres Instrument geplant. Der Klima-Sachverständigenrat kann auf die aktuellen Entwicklungen reagieren und der Landesregierung zusätzliche Maßnahmen vorschlagen (UM BW, 2023e).

**Energieverbrauch in Baden-Württemberg**

Laut dem Energiebericht 2022 liegt das Energieaufkommen Baden-Württembergs 2020 bei rund 1.447 PJ ( $\approx$  402 TWh) und damit bei circa neun Prozent des deutschlandweiten Energieaufkommens (AGEB, 2021; Statistisches Landesamt BW, 2022a). Rund 15 Prozent der Energie werden in Baden-Württemberg erzeugt. 85 Prozent des Energieaufkommens sind Bezüge sowie Bestandsentnahmen. Abzüglich der Lieferungen und Bestandsaufstockungen liegt der Primärenergieverbrauch (PEV) 2020 in Baden-Württemberg bei 1.279 PJ ( $\approx$  355 TWh). Damit verbraucht Baden-Württemberg rund elf Prozent der Primärenergie Deutschlands, wobei der Verbrauch im Vergleich zum Vorjahr um elf Prozent gesunken ist (Statistisches Landesamt BW, 2022a).

Das Jahr 2020 verzeichnet einen der stärksten Rückgänge des PEV gegenüber dem Vorjahr seit den 1970er-Jahren. Ursachen liegen in der Corona-Pandemie und deren gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Auswirkungen. Gerade in den energieintensiveren Sektoren wie der Industrie und dem Verkehr kam es zu einem verminderten Endenergieverbrauch (EEV). 2020 beträgt der EEV rund 1.022 PJ ( $\approx$  284 TWh). Pandemiebedingt zeigen hier die einzelnen Sektoren unterschiedliche Entwicklungen auf. Allen voran sinkt der EEV im Sektor Verkehr um zwölf Prozent auf 292 PJ ( $\approx$  81 TWh) sowie in der Industrie um

neun Prozent. Daneben zeigen die Sektoren der privaten Haushalte sowie sonstigen Verbraucher einen Anstieg des EEV und sind 2020 der energiereichste Bereich mit 524 PJ ( $\approx$  146 TWh). Hier wirkt die Corona-Pandemie als eine Art Treiber des Anstiegs. Insbesondere durch das Arbeiten im Homeoffice wächst der EEV der privaten Haushalte auf rund 344 PJ ( $\approx$  96 TWh) (Statistisches Landesamt BW, 2022a). Dabei ist der Anstieg u. a. auf den Stromverbrauch zurückzuführen, der durch den erhöhten Einsatz technischer Geräte anstieg.

Rückschlüsse, inwieweit Verhaltensänderungen in der Bevölkerung bzw. der Industrie in Folge der Pandemie oder energie-sparende bzw. energieeffizienzsteigernde Maßnahmen zu einem reduzierten Energieverbrauch beigetragen haben, lassen die aktuellen Zahlen nicht unmittelbar zu. Die Rückgänge sind daher vorrangig vor allem im Kontext des Stressereignisses Pandemie zu betrachten. Mit Blick auf den Klimawandel in Baden-Württemberg lassen die Zahlen des Energieberichts 2022 erste Interpretationen zu. Gerade die mildereren Witterungsbedingungen im Herbst und Winter 2020 zeigen einen energiemindernden Einfluss. Die temperaturbereinigten Zahlen deuten auf einen leichten Rückgang des PEV von minus zehn Prozent im Vergleich zum Vorjahr hin (Statistisches Landesamt BW, 2022a). Demgegenüber dürfte perspektivisch der Energieverbrauch von Klimaanlagen stehen, die aufgrund der Zunahme von heißen Tagen in den Sommermonaten auch in Deutschland immer stärker verbreitet sind.

Angesichts der fortschreitenden sektorübergreifenden Elektrifizierung bei einer gleichzeitig sich zuspitzenden Entwicklung auf den globalen Energiemärkten sowie lokaler Folgen des Klimawandels für Baden-Württemberg werden erneuerbare Energieträger und das Thema grüner Wasserstoff immer mehr zur Grundlage klima- und energiepolitischer Bemühungen (Stichwort Energiewende und Transformation). Trotz des Ausbaus der erneuerbaren Energien der letzten Jahre muss der Ausbau lokal weiterhin forciert und vor allem beschleunigt werden, um die landeseigenen Ziele bis 2030 und 2040 zu erreichen und Abhängigkeiten gegenüber Energieimporten zu verringern. Im Jahr 2020 steigt der Anteil der erneuerbaren Energieträger am PEV im Vergleich zu 2019 um circa drei Prozent auf 218 PJ ( $\approx$  61 TWh). Erneuerbare Energien machen damit circa 17 Prozent des PEV aus. Biomasse hat mit zwölf Prozent den größten Anteil am PEV, gefolgt von Solarenergie mit zwei Prozent, Wasser- und Windkraft mit 1,2 Prozent bzw. 0,8 Prozent. Mit dem steigenden Anteil der erneuerbaren Energien setzt sich gleichzeitig die rückgängige Entwicklung bei den konventionellen Energieträgern der letzten Jahre in Baden-

Württemberg fort. Im Vergleich zu 2019 reduziert sich der Anteil von Steinkohle und Kernkraft am PEV deutlich um 22 bzw. 47 Prozent. Gerade Kernenergie, die in Baden-Württemberg historisch gesehen bislang ein wichtiger Baustein in der Energieversorgung war, macht 2020 mit 108 PJ ( $\approx$  30 TWh) einen wesentlich geringeren Anteil von circa neun Prozent am PEV aus (2019: 16 %). Zwar verlieren die Energieträger Erdgas und Mineralöl ebenfalls am PEV, dennoch haben sie 2020 mit einem Anteil von 21 Prozent bzw. 38 Prozent weiterhin eine starke Bedeutung. Der Stand der erneuerbaren Energien in Baden-Württemberg steht dabei im Einklang mit den bundesweiten Entwicklungen (Statistisches Landesamt BW, 2022a).

Im Verkehrssektor haben die erneuerbaren Energien aktuell eine noch eher geringe Bedeutung, auch wenn ihr Anteil am EEV im Verkehrssektor auf circa 16 Prozent angestiegen ist (UM BW, 2022d, 2021b). Der Anteil am Bruttoendenergieverbrauch aus erneuerbaren Energien verteilt sich mit 56 Prozent auf die Bereiche Wärme und Kälte, zu 35 Prozent auf den Bereich Strom und zu acht Prozent auf den Verkehr. Das Verkehrs- und Mobilitätssystem weist damit 2020 noch deutliche Ausbaupotenziale auf. Insbesondere im Straßenverkehr dominiert Mineralöl als Energieträger. Von den 42 Prozent Mineralöl-Anteil am EEV entfielen knapp zwei Drittel auf den Verkehrsbe- reich. Gründe liegen vor allem in der aktuellen Zusammensetzung der Bestandsflotte Baden-Württembergs, die vorwiegend aus Kfz mit Verbrennungsmotoren besteht (Statistisches Landesamt BW, 2022a; KBA, 2023). Mit dem Markthochlauf der Elektromobilität und der weitgehenden Elektrifizierung werden erneuerbare Energien zukünftig für das Verkehrs- und Mobilitätssystem essenziell. So wird sich der Stromverbrauch im Verkehrssektor weiter erhöhen. Im Zuge der Antriebswende, die zu einer massiven Verschneidung der Systeme Energie, Verkehr und Mobilität führt, werden die Kombination lokaler und dezentraler Stromerzeugung beispielsweise durch die Installation von PV-Anlagen auf öffentlichen Parkflächen mit Lademöglichkeiten – wie in der Novellierung des Klimaschutzgesetzes 2020/2021 vorgesehen – sowie die Themen Speicherlösungen und Vehicle-to-Grid (V2G) immer relevanter. Aber auch die intelligente Steuerung inklusive Mess- und Managementsystemen seitens des Energie- und Stromsystems wird in einer zunehmenden elektrifizierten Gesellschaft zum zentralen Element nicht nur im Sinne eines integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems.

### Anteil der erneuerbaren Energien am Strommix in Baden-Württemberg

Grüner, aus erneuerbaren Energien gewonnener Strom, perspektivisch ebenfalls grüner Wasserstoff, spielen im Zuge der branchenübergreifenden Elektrifizierung für die Dekarbonisierung der Sektoren eine Schlüsselrolle. 2020 liegt der Bruttostromverbrauch in Baden-Württemberg bei 65,8 Milliarden Kilowattstunden (kWh) – mit einem Anteil der erneuerbaren Energien von 27 Prozent. 67 Prozent des Stromverbrauchs werden 2020 durch inländische Produktion und 33 Prozent durch Importe aus Nachbarländern wie der Schweiz, Österreich und Frankreich gedeckt. Damit wird 2020 erstmals mehr Strom aus dem Ausland importiert als direkt abgegeben; auch weil im Jahr 2020 rund 22 Prozent weniger Strom im Inland erzeugt wird, u. a. durch die Stilllegung des Kernkraftwerks Philippsburg 2 Ende 2019 (Statistisches Landesamt BW, 2022a). In Anbetracht dieser Entwicklungen sind der beschleunigte Ausbau lokaler Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern wie Wind und Solar und auch der Ausbau geeigneter Infrastrukturen für die Erzeugung und den Transport grünen Wasserstoffs bedeutsam, um weitere Abhängigkeiten zu reduzieren und langfristig zu vermeiden. Demzufolge ist nicht nur eine diversifizierte Erzeugerstruktur der erneuerbaren Energien sinnvoll, sondern sind auch vielfältige Bezugsquellen von grünem Wasserstoff notwendig. Letzteres bezieht sich vor allem auf den Import von Wasserstoff sowie dessen Transport durch Fernleitungs- und Verteilnetze (siehe Infobox 5). Der Fachdialog Wasserstoffinfrastruktur sieht in lokalen Ansätzen wie dezentralen Wasserstoff-Hubs (z. B. H2Rivers und H2Rhein-Neckar, siehe Kap. 3.2) und der Vor-Ort-Erzeugung von Wasserstoff eine sinnvolle Ergänzung zu den importbezogenen und zentralen Versorgungsoptionen (Plattform H2BW et al., 2023). Die Bruttostromerzeugung in Baden-Württemberg liegt 2020 bei 44,3 Milliarden kWh, rund 22 Prozent weniger als 2019 (57,1 Mrd. kWh). Der Anteil der erneuerbaren Energien wächst auf 41 Prozent der Stromerzeugung an, rund zehn Prozent mehr als 2019. Im Laufe des Jahres 2020 wurden 18 Milliarden kWh Strom durch erneuerbare Energien produziert. Damit nehmen die erneuerbaren Energien 2020 die Spitzenposition im Strommix ein, wobei ihr erhöhter Anteil auch auf einen generellen Rückgang der Bruttostromerzeugung zurückzuführen ist (Statistisches Landesamt BW, 2022a, UM BW, 2022d). So sinkt

im Jahr 2020 der Stromverbrauch um neun Prozent im Vergleich zum Vorjahr. Der genaue Blick auf den Strommix zeigt: Photovoltaik (PV) stellt 2020 mit 13 Prozent den größten Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung in Baden-Württemberg dar.<sup>14</sup> Mit einem Zubau von 780 Megawatt (MW) installierter Leistung im Jahr 2022 liegt Baden-Württemberg bundesweit auf Rang vier beim deutschlandweiten PV-Zubau (UM BW, 2023f). Ein geringeres Tempo zeigt Baden-Württemberg hingegen beim Ausbau der Windkraft (siehe Infobox 7). Im Jahr 2020 hat Windenergie einen Anteil von rund sieben Prozent. Nach den erneuerbaren Energien haben Kernenergie und Steinkohle den höchsten Anteil im Strommix mit 25 bzw. 20 Prozent. Erdgas hingegen spielt mit rund sechs Prozent eine geringere Rolle in der Stromerzeugung (UM BW, 2022d, Statistisches Landesamt BW, 2022a).

#### Infobox 7 „Sorgenkind“ Windenergie in Baden-Württemberg?

Wind- und Sonnenkraft gelten als tragende Säulen der Energiewende in Baden-Württemberg. Anders als PV, bei der auch Privatpersonen beim Ausbau beteiligt sind, ist der Zubau von Windenergieanlagen (WEA) komplexer und stößt im Süden Deutschlands verstärkt auf Widerstand der Zivilbevölkerung. Windkraft hat trotz seiner großen Potenziale nur einen Anteil von 6,7 Prozent an den erneuerbaren Energien bei der Bruttostromerzeugung. Ursachen für den bisher zurückhaltenden Ausbau sind vor allem in den durch Natur- und Artenschutz, Denkmalschutz und Abstandsregelungen bedingten aufwändigen und langwierigen Genehmigungs- und Planungsverfahren zu suchen, die nicht nur Landesrecht, sondern auch Bundes- und EU-Recht berühren. So zeigen sich beim Thema Windkraft einige bürokratische Hürden, die es für einen beschleunigten Ausbau abzubauen gilt (Agora Energiewende et al., 2022; Staatsministerium

14 | Der Anteil erneuerbarer Energieträger an der Bruttostromerzeugung liegt 2020 bei 40,6 Prozent: Davon 12,9 Prozent PV, 11,2 Prozent Biomasse, 9,3 Prozent Lauf- und Speicherwasser, 6,7 Prozent Windkraft und 0,5 Prozent sonstige erneuerbare Energieträger. Die restlichen rund 59 Prozent der Bruttostromerzeugung verteilen sich auf die Energieträger Kernenergie (25,1 %), Steinkohle (19,9 %), Erdgas (8,7 %) und sonstige Energieträger (5,7 %), z. B. Biogas (Statistisches Landesamt BW, 2022a).

BW, 2022a). Auch die bundesweite Umstellung der Ausschreibungsregelungen 2017 hat den Ausbau der Windkraft in Baden-Württemberg deutlich verlangsamt; allen voran ist die Errichtung von WEA ein langjähriger Prozess, der bis zur Fertigstellung sieben Jahre dauern kann. Konnte 2017 die Zahl der errichteten WEA von sieben im Jahr 2014 auf 123 im Jahr 2017 gesteigert werden, so ging mit Inkrafttreten der zuvor genannten Umstellung im Jahr 2017 die Anzahl der Inbetriebnahmen jedoch wieder deutlich zurück und lag 2018 bei nur noch 35. 2022 wurden Stand Juni nur drei Anlagen in Betrieb genommen. Im Juni 2022 gab es insgesamt 761 WEA mit einer Gesamtleistung von 1.708 MW in Baden-Württemberg (Staatsministerium BW, 2022a, 2022b). Vor dem Hintergrund des erforderlichen beschleunigten Ausbaus der Windenergie in Baden-Württemberg hat sich die Landesregierung laut Koalitionsvertrag das Ziel von 1.000 WEA gesetzt (Staatsministerium BW, 2022a; Bündnis 90/Die Grünen & CDU BW, 2021). Hierfür will die Landesregierung die notwendigen Voraussetzungen schaffen. So arbeitet das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (UM BW) an der Vereinheitlichung, Digitalisierung und Qualitätssicherung der Flächennutzungs- und Regionalpläne sowie an einer Anpassung der Windenergie-Tabuzonen der Flugsicherung an den tatsächlichen Bedarf. Bis 2050 werden im Rahmen der Regionalen Planungsoffensive zusätzliche Flächen gesichert, um Mindestflächenziele in Baden-Württemberg sicherzustellen. Darüber hinaus werden die Vorgaben für Denkmalschutz, aber auch Natur- sowie Umweltschutz geprüft und infolgedessen etwa Landschaftsschutzgebiete und regionale Grünzüge für den Bau von WEA geöffnet (Staatsministerium BW, 2022a).

### Stand der Elektrifizierung und weiterer Ausbau der erneuerbaren Energien

In Baden-Württemberg wie auch deutschlandweit wird einhergehend mit der fortschreitenden sektorübergreifenden Elektrifizierung ein Anstieg des Bruttostromverbrauchs erwartet. Nach dem Netzentwicklungsplan 2023–2037/2045 der Bundesnetzagentur (BNetzA) wird ausgehend von einer installierten Leistung im Jahr 2020 von 533 Gigawatt (GW) ein Bruttostromverbrauch von 899 TWh bis 1.053 TWh im Jahr 2037 bzw. 1.079 bis 1.303 TWh im Jahr 2045 für Deutschland prognostiziert (BNetzA, 2022a). Laut einer Szenarioanalyse der Agora Energiewende et al. (2022) wird unter Berücksichtigung der aktuellen energiepolitischen Entwicklungen im Zuge des Ukraine-Krieges ein noch stärkerer Anstieg des Bruttostromverbrauchs erwartet. PV und Windkraft werden in den Szenarien der Agora Energiewende et al. (2022) als wesentlich für ein klimaneutrales Energiesystem gesehen. So können erneuerbare Energien vor allem unter der Prämisse des verstärkten Ausbaus bis 2030 den Stromverbrauch zu 80 Prozent in Deutschland decken. Laut diesen Szenarien erreicht der Ausbau von Windkraft- und Solaranlagen ausgehend von sieben GW im Jahr 2021 dabei 2030 seinen Höhepunkt mit einer installierten Leistung von 39 GW – vorausgesetzt, die bürokratischen Hürden werden, insbesondere bei der Windkraft, abgebaut. Getrieben wird der steigende Stromverbrauch vornehmlich von den Sektoren Industrie, Gebäude bzw. Wärme und Verkehr (Agora Energiewende et al., 2022; BNetzA, 2022a; Kemmler et al., 2021). Hinsichtlich des Verkehrssektors geschieht dies vor allem durch die Elektromobilität sowie digitale und vernetzte Mobilitätslösungen, langfristig auch durch vernetztes autonomes Fahren.

Mit Blick auf die Maßnahmenpakete für die einzelnen Sektoren – insbesondere die Produktion und Nutzung von grünem Wasserstoff sowie der Elektromobilität – aus dem Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz für Baden-Württemberg ist in Baden-Württemberg ebenfalls mit einem steigenden Stromverbrauch zu rechnen.<sup>15</sup> Ausgehend von einem Strombedarf von 72 Terawattstunden (TWh) im Jahr 2019 prognostiziert das Landesministerium für Umwelt, Klima und Energie Baden-Württemberg (UM BW) eine Erhöhung auf 88 TWh im Jahr 2030 und 111 TWh im Jahr 2040 (UM BW, 2022e).

15 | Weitere Ausführungen zum Thema Wasserstoff in Baden-Württemberg siehe Kapitel 3.2, Stand der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie.

Um das Ziel der Netto-Null-Emissionen (Klimaneutralität) ab 2040 zu realisieren, muss der Mehrverbrauch überwiegend durch erneuerbare Energien gedeckt werden. Hierfür plant das Land Baden-Württemberg den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien, allen voran PV und Windkraft (ZSW et al., 2022). Bis 2040 müssen in Baden-Württemberg 47 GW PV-Anlagen installiert werden (Stryi-Hipp et al., 2023; Staatsministerium BW, 2022c). Ein Drittel davon in der Fläche, etwa durch die im Klimaschutzgesetz verankerte Pflicht zur Überdachung von Parkflächen mit PV-Anlagen, die seit 2022 greift. Die weiteren zwei Drittel der geplanten Leistung sollen auf Gebäuden installiert werden. Ebenfalls seit 2022 greift hierfür eine Pflicht zur Installation von PV-Anlagen bei Wohn- und Nichtwohngebäuden (Staatsministerium BW, 2023a). Ab 2023 gilt dies auch bei grundlegenden Dachsanierungen (Stryi-Hipp et al., 2023; Solar Cluster BW, 2022). Insgesamt bedeutet dies einen jährlichen Zuwachs von 2.000 Kilowatt (kW) installierter PV-Leistung in Baden-Württemberg, um die Zielvorgaben zu realisieren (Staatsministerium BW, 2023a). Neben PV müsste zudem die installierte Leistung von Windkraft auf 12,1 GW ansteigen, das Siebenfache von 2022 (Staatsministerium BW, 2022a, 2022b). Einer Szenarioanalyse für die Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (2020) zufolge sollen bis 2030 in Deutschland etwa 30.000 Gigawattstunden (GWh) an privaten wie öffentlichen Ladepunkten zur Verfügung gestellt werden. Je Szenario werden zwischen 7.600 und 12.300 GWh an öffentlich zugänglichen Ladepunkten benötigt. Auch in Baden-Württemberg wird – nicht zuletzt bedingt durch die ehrgeizigen Flottenziele – Strom langfristig im Verkehrsbereich zum dominierenden Energieträger. Bis 2030 soll sich in Baden-Württemberg der Anteil der Elektrofahrzeug-Neuzulassungen auf 100 Prozent erhöhen und ab 2035 sollen im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge keine Verbrenner mehr zugelassen werden. Damit wird die Bestandsflotte schrittweise elektrifiziert und es kann davon ausgegangen werden, dass bis 2030 rund 34 Prozent des motorisierten Individualverkehrs in Baden-Württemberg elektrisch sein wird (UM BW, 2022e).

#### **Infobox 8**

##### **Anpassung des Verteil- und Übertragungsnetzes an die neuen Herausforderungen**

Strom aus erneuerbaren Energien hat einen volatilen Charakter. Strom wird produziert, wenn Wind weht oder die Sonne scheint. Gleichzeitig werden mit dem Ausbau der

erneuerbaren Energien immer mehr kleinere Stromerzeugungsanlagen ans Netz geschlossen (Dezentralität). Um ein Gleichgewicht zwischen Einspeisung und Verbrauch jederzeit sicherzustellen, kann die Elektromobilität im Sinne einer mobilen Speicherlösung zur Stabilisierung beitragen und dadurch den Aufwand für den Netzausbau reduzieren. Doch mit der Energiewende und der sektorübergreifenden Elektrifizierung muss dennoch das Stromnetz angepasst bzw. um- und ausgebaut werden. So fehlen aktuell z. B. Kapazitäten in den Übertragungsnetzen, die den Strom von windreichen Regionen mit geringem Verbrauch in die verbrauchsintensiveren Ballungszentren im Süden und Westen Deutschlands transportieren. Seitens der Landesregierung Baden-Württemberg wurde im Rahmen des „Energiepolitischen Gesprächs“ im April 2023 die Beschleunigung der Planungs- und Genehmigungsverfahren der Bundesnetzagentur (BNetzA) gefordert (Staatsministerium BW, 2023b). Diese sind bislang zeitaufwändig und erfolgen mehrstufig und unter Bevölkerungsbeziehung. Insgesamt bildet die Grundlage für den weiteren Netzausbau auch in Baden-Württemberg der Netzentwicklungsplan (NEP) sowie der dazugehörige Szenariorahmenentwurf. Aktuell befinden sich rund zwölf Leitungsbauvorhaben teilweise in Baden-Württemberg (länderübergreifend). Darunter zwei mit Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungstechnologie: von Osterrath nach Philippsburg (Ultranet) und von Brunsbüttel nach Großgartach (SuedLink). Im März 2023 haben die Übertragungsnetzbetreiber den ersten Entwurf des neuen NEP 2037/2045 veröffentlicht. Ergänzend zu den NEP der Übertragungsnetzbetreiber sind die Verteilnetzbetreiber laut Energiewirtschaftsgesetz (EnWG 14d) ab 2024 dazu verpflichtet, Netzausbaupläne vorzunehmen. Für ein gemeinsames Rahmenszenario der Verteilnetzbetreiber bilden Regionalszenarien der sechs übergeordneten Planungsregionen die Grundlage. Das Regionalszenario für die Planungsregion Südwest, zu der Baden-Württemberg zählt, wurde erstmals im August

2023 veröffentlicht. In ihm wird ein erheblicher Ausbau erneuerbarer Energien und Speicheranlagen angenommen. Von 2022 bis 2045 wird mit einem Zuwachs von rund 56 GW bzw. 20 GW geplant. (Regionalszenarien Südwest, 2023)

	2022	2045
<b>PV (Dachflächen)</b>	4,94 GW	33,55 GW
<b>PV (Freifläche)</b>	1,93 GW	21,36 GW
<b>Wind (onshore)</b>	1,84 GW	10,07 GW
<b>Speicheranlagen</b> (umfasst Pumpspeicher, Groß- und Kleinbatteriespeicher)	0,95 GW	20,44 GW

### Integration intelligenter Netze und Speicherlösungen in Baden-Württemberg

Einer Szenarioanalyse des Teilberichts Sektorziele 2030 für Baden-Württemberg zufolge können durch die Elektrifizierung 64 Prozent des Energiebedarfs bis 2040 gesenkt werden (ZSW et al., 2022). Dies setzt jedoch die Umstellung auf erneuerbare Energien voraus und damit einhergehend die intelligente und flexible Steuerung von Angebot und Nachfrage. Bedingt durch den Paradigmenwechsel auf Seiten der Erzeugungsstruktur (von zentral zu dezentral) ist die Einbindung von und Steuerung durch intelligente Netze („Smart Grid“) relevant. „Smart Grid“ wird durch den breiten Einsatz von modernen (intelligenten) Mess- und Managementsystemen („Smart Meter“), die eine Verbindung zwischen Verbrauchern<sup>16</sup> (bzw. auch Erzeugern), Stromnetz und Energieversorgungsunternehmen darstellen, möglich. Hierdurch lassen sich die Energieflüsse in erster Linie mittels der Integration von Sensorik und Aktorik sowie entsprechender Hard- und Software zur Digitalisierung (automatisierte Netzsteuerung) genauer steuern und damit können kürzere Reaktionszeiten bis hin zur Echtzeitsteuerung der Stromnetze – wie auch Gas-, Wärme-, oder Wassernetze – erzielt werden (Smart Grids BW, 2022). Unter dem Stichwort Smart Grid hat sich die Baden-Württembergische Landes-

regierung im Koalitionsvertrag 2021 dazu verpflichtet, digitale Technologien und Anwendungen für die Energiewende zu fördern (Bündnis 90/Grüne & CDU BW, 2021). Gleichzeitig werden mit der Förderung intelligenter Netze die Sektorkopplung und das Thema Energiespeicher in Baden-Württemberg weiter vorangebracht, die im Kontext der Energiewende ebenfalls an Bedeutung gewonnen haben (Smart Grids BW, 2022). Sie gelten als wichtige Bausteine auf dem Weg zur Klimaneutralität, daher werden diese Themen in der Förderlandschaft Baden-Württembergs zusammen gedacht. So wird Smart Grid als eine Schlüsseltechnologie im Kontext der Energiewende, insbesondere der wachsenden Dezentralität des Energiesystems, verstanden, womit die netzdienliche Einbindung der Elektromobilität auch im Sinne von Speicherlösungen (Stichwort „Vehicle-to-Grid“) erst möglich wird. Förderprogramme wie beispielsweise die Demonstrationsprojekte Smart Grid und Speicher sowie INPUT – Intelligente Netzanbindung von Parkhäusern und Tiefgaragen wurden 2021 und 2022 mit 10,7 Millionen Euro durch die Landesregierung unterstützt. Im Rahmen dieser Förderprogramme sind in den vergangenen zwei Jahren 28 Projekte zu den Themen Smart Grid und Sektorkopplung angelaufen. 2021 wurde das Förderprogramm Smart Grids-Forschung – digital vernetzt mit Projekten zur Versorgungsqualität, Netzplanung und Sektorkopplung – abgeschlossen. Dabei wird aktuell die Sektorkopplung vor allem in der Quartierplanung und Siedlungsentwicklung erprobt, da hier Strom, Wärme und Verkehr zusammengebracht werden. In dem im Jahr 2021 gestarteten Projekt Smart East wird in Karlsruhe ein Gewerbegebiet in ein energieoptimiertes Quartier umgebaut. Neben der transformativen Bedeutung der vielfältigen Förderprogramme gelten Smart-Grid-Lösungen als Möglichkeit, Wertschöpfung und Arbeitsplätze in Baden-Württemberg zu schaffen bzw. zu sichern (UM BW, 2023g). Hierfür initiierte das Landesministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (UM BW) 2012 die Smart-Grids-Plattform Baden-Württemberg, die im gleichnamigen Verein die Umsetzung von Smart-Grid-Lösungen voranbringt und Meilensteine setzt. Darüber hinaus gibt sie entsprechende Handlungsempfehlungen wie beispielsweise die Smart-Grids-Roadmap 2.0 heraus. Vor allem im Zuge des Ausbaus privater (dezentraler) PV-Anlagen werden intelligente Technologien und Anwendungen, die die wesentlichen Elemente des Energiesystems von der Erzeugung über die Verteilung und die Speicherung bis hin zum

16 | Zu den Verbrauchern zählen beispielsweise Elektrolyseure im Kontext der Erzeugung von Wasserstoff, Wärmeerzeuger (z. B. Heizgeräte für Heizungsanlagen oder Trinkwassererwärmung), aber auch Elektromobile und private Verbraucher:innen und „Prosumer“. Letztere sind die Verbraucher:innen (Konsument:innen), die durch kleinere dezentrale Erzeugungsanlagen wie beispielsweise die eigenen (privaten) PV-Anlagen auf dem Dach, selbst Strom produzieren und somit Teil des Stromnetzes werden.



Verbrauch verbinden und vernetzen, zwingend notwendig. Eine erfolgreiche Energiewende, die mit einer wachsenden Rolle der Stromverbraucher:innen als Produzent:innen einhergeht, baut auf den wachsenden Einsatz intelligenter, kleinerer, dezentraler Energienetze (z. B. „Micro Grids“) und der Kopplung und flexiblen Steuerung dieser Systeme auf. Eine Grundvoraussetzung hierfür ist allerdings eine sichere, flächendeckende und stabile Datenübertragung zum Schutz der sensiblen privaten Daten der Verbraucher:innen sowie zum

Schutz der kritischen Infrastrukturen vor dem Zugriff von außen. Mit der Digitalisierung des Strom- und Energiesystems ist die Versorgungssicherheit nicht nur eine Frage des Schutzes der physischen Infrastruktur (z. B. Umspannwerke), sondern künftig auch eine Frage von Cybersicherheit.

## Steckbrief 6: Zentrale Erkenntnisse Status quo Energiesystem

### Baden-Württemberg

Zentrale Erkenntnisse Status quo Energiesystem	
<b>Energieverbrauch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sinkender Energieverbrauch</li> <li>– Corona-Effekte auf Energieverbrauch</li> <li>– Einfluss Klimawandel auf Energieverbrauch</li> <li>– Wachsende Bedeutung erneuerbarer Energien</li> <li>– Sinkender Anteil Kernkraft und fossile Energieträger</li> <li>– Hohe Bedeutung Gas- und Mineralöl, insbesondere Verkehrssystem</li> <li>– Verkehrssektor einer der Endenergieverbraucher</li> </ul>
<b>Strommix und erneuerbare Energien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Steigende Stromimporte</li> <li>– Sinkende landeseigene Stromerzeugung</li> <li>– Erneuerbare Energieträger haben den Hauptanteil in der Stromerzeugung</li> <li>– Große Bedeutung der Solarenergie (Photovoltaik) an der Stromerzeugung</li> <li>– Windkraft ist stark ausbaufähig</li> </ul>
<b>Elektrifizierung und Ausbau erneuerbare Energien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– (Lokale und dezentrale) Stromerzeugung gewinnt stark an Bedeutung</li> <li>– Steigender Stromverbrauch prognostiziert (Haupttreiber Elektrifizierung Verkehrs- und Wärmesektor)</li> <li>– „Grüner“ Strom stellt Grundlage zum Erreichen der Sektorziele dar</li> <li>– Weiterer Ausbau Wind- und Solarenergie notwendig</li> <li>– Breite Förderlandschaft</li> <li>– Vielschichtige Akteurslandschaft</li> </ul>
<b>Intelligente Netze und Speicherlösungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verzögerungen im Smart-Meter-Rollout</li> <li>– Im Koalitionsvertrag festgehalten</li> <li>– Breite Akteurslandschaft und Förderprogramme</li> <li>– Bedeutung einer Schlüsseltechnologie der Energiewende</li> <li>– Enger Zusammenhang mit Sektorkopplung</li> </ul>

### 3.4 Status quo IKT-System

Grundvoraussetzung für Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) ist die digitale Infrastruktur, allen voran zuverlässige Datenübertragungssysteme wie beispielsweise Breitband- und Mobilfunknetz. Wie auch das Energiesystem durchdringen Informationstechnologien das gesellschaftliche Leben. Neben Kommunikation, Wohnen, Arbeit oder Freizeit ist es aber vor allem die Nutzung der IKT im Bereich der KRITIS, die eine stabile Netzabdeckung und hohe Datenübertragung zwingend erfordern. Erst mit einer stabilen und schnellen Datenübertragung sind Echtzeit-Anwendungen, wie sie durch Smart Grid oder Smart Mobility angestrebt werden, möglich. Digitale Anwendungen im Energie- wie Verkehrs- und Mobilitätssystem stellen ein wesentliches Element zur Erreichung der Klimaziele dar. Damit werden sowohl die Energiewende als auch die Verkehrs- und Mobilitätswende ebenfalls vom flächendeckenden Ausbau und der Qualität der digitalen Infrastruktur getragen.

#### **Breitband- und Mobilfunkabdeckung Baden-Württemberg**

Deutschlandweit führen die Digitalisierung und die Entwicklung neuer digitaler Anwendungen zu einem starken Anstieg des Datenverkehrs, der einen wachsenden Bedarf an schnellen und stabilen Internetverbindungen inkludiert. Im Mobilfunk hat sich das übertragene Datenvolumen beispielsweise von 156 Millionen Gigabit (Gbit) im Jahr 2012 auf rund 5.457 Millionen Gbit im Jahr 2021 erhöht. Insgesamt zeigt sich auch hier die Corona-Pandemie als Treiber dieser Entwicklung, beispielsweise durch die wachsende Bedeutung digitaler (Arbeits-) Plattformen oder Anwendungen. Darüber hinaus ist ein schneller Internetzugang ein wichtiger Standortfaktor geworden und fehlende und unzureichende Anschlüsse können zu einer geringeren Wettbewerbsfähigkeit führen (Willkomm et al., 2022).

Grundvoraussetzung der Digitalisierung, die sich die Landesregierung Baden-Württemberg als eine der zentralen Aufgaben gesetzt hat, ist der flächenhafte Gigabitausbau bis 2025 und sie hat demzufolge den Glasfasernetzausbau in den vergangenen Jahren deutlich vorangetrieben. So hat die Landesregierung seit 2016 2,17 Milliarden Euro in den Breitbandausbau investiert. Darüber hinaus konnten 2,58 Milliarden Euro Fördermittel des Bundes (Stand Dezember 2022) für den Ausbau des schnellen Internets abgerufen werden (Staatsministerium BW, 2023c). Allein im Jahr 2022 wurden 85.000 neue Anschlüsse mit rund 490 Millionen Euro gefördert. Damit schiebt sich Ba-

den-Württemberg erneut im Bundesländervergleich weiter nach vorne und belegt Platz vier hinsichtlich der Versorgung mit Gigabitgeschwindigkeit – rund zehn Prozent über dem Bundesdurchschnitt (IM BW, 2023).

Mehr als 90 Prozent der Haushalte in Baden-Württemberg verfügen über einen Internetanschluss mit mindestens 50 Megabit pro Sekunde (Mbit/s), was einen Anstieg um 20 Prozent im Vergleich zu 2016 darstellt (Stand 2023). Rund 89 Prozent verfügen über eine Versorgung mit mindestens 100 Mbit/s. Die Versorgung von Haushalten mit einem Gigabit pro Sekunde (Gbit/s) liegt bei rund 70 Prozent (Dashboard Digitale Infrastruktur, 2023). Im Mobilfunkbereich nehmen die „weißen und grauen Flecken“, also die Regionen mit keiner bzw. schlechter Mobilfunkabdeckung, stetig ab und die flächenhafte 2G-Netzabdeckung liegt bei 99,5 Prozent (Gigabitbüro des Bundes, 2023; Gigabit Grundbuch, 2022). Im Jahr 2023 sind fast 100 Prozent der Haushalte mit Mobilfunk (4G) versorgt und rund 66 Prozent der Haushalte verfügen über 5G (Stand Juli 2023). Die für viele digitale Anwendungen notwendige flächenhafte 5G-Abdeckung liegt in Baden-Württemberg bei rund 50 Prozent (5G und 5G DSS) (Dashboard Digitale Infrastruktur, 2023).

Mit Blick auf die räumliche Struktur von Baden-Württemberg zeigt sich, dass eine Netzabdeckung mit 5G (5G DSS und 5G) vor allem in städtischen Regionen vorhanden ist. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen der Gigabit-Studie für Baden-Württemberg (Willkomm et al., 2022). Die urbanen Räume verfügen über einen hohen Anteil Gbit-versorgter Anschlüsse, wohingegen die ländlicheren Regionen durchschnittlich geringere Bandbreiten zur Verfügung haben. Die Gründe hierfür sind im ländlichen Raum einerseits auf ein geringeres Kundenpotenzial und andererseits auf größere Trassenlängen und damit höhere Ausbaukosten zurückzuführen. Marktwirtschaftlich sind demnach die urbanen Räume meist attraktiver; zudem die Verantwortung für den Infrastrukturaufbau bei den großen Telekommunikationsanbietern wie Telefónica, Vodafone oder Telekom liegt. In Regionen, in denen der Infrastrukturausbau aus Wirtschaftlichkeitsgründen nicht durch die großen Anbieter erfolgt, greift das Land Baden-Württemberg entsprechend ein (Willkomm et al., 2022). Somit liegt die Zuständigkeit für den Gbit-Ausbau gerade in ländlichen Regionen bei den Kommunen. Insgesamt stehen die Kommunen Baden-Württembergs nicht nur angesichts der Anzahl ausbaubedürftiger Gebiete und der damit zusammenhängenden Investitionskosten sowie des Fachkräfte-Einsatzes vor großen Herausforderungen. Mit der Energie- und Verkehrswende, besonders im Kontext der Elek-



tromobilität und des Ladeinfrastrukturaufbaus, sind gerade die Kommunen (in Baden-Württemberg die Regierungspräsidien) als wichtige Schnittstelle in der Umsetzung gefragt.

### Stand der Digitalisierung in Baden-Württemberg

Im Zuge der Digitalisierung ist die flächendeckende Versorgung mit schnellem Internet eine grundlegende Infrastrukturaufgabe des Landes. Digitalisierung in Baden-Württemberg geht jedoch über den Infrastrukturaufbau hinaus und meint die weitgehende Nutzung von IKT in den verschiedenen Sektoren. Zudem wird mit der Digitalisierung der Erhalt und der Ausbau des Industrie- sowie Forschungs- und Wissenschaftsstandorts Baden-Württemberg adressiert (IM BW, 2022). Seit 2016 fördert die Landesregierung im Rahmen der Digitalisierungsstrategie mit 3,2 Milliarden Euro den digitalen Wandel (IM BW, 2022a). Die Bemühungen der Landesregierung stützen sich auf die sechs Bereiche Mobilität, Gesundheit, Wirtschaft, Bildung und Weiterbildung, Wissenschaft und Verwaltung. Seit 2016 wurden 400 Millionen Euro in über 70 Projekte und Maßnahmen zum Thema Digitalisierung investiert. Die Priorität, gemessen an der Investitionshöhe, lag bislang beim Thema intelligente Mobilität mit rund 50,5 Millionen Euro. Datenschutz und Datensicherheit wurden bisher mit rund 12,5 Millionen Euro gefördert (IM BW, 2022, 2022a). Dabei werden sich angesichts der steigenden Bedeutung von Cybersicherheit die Förderprioritäten zukünftig anpassen; gerade im Kontext von Krisen und Katastrophen, wie etwa der Krieg zwischen Russland und der Ukraine, der auch im Cyberraum stattfindet (Stichwort hybrider Krieg). Mit Zunahme möglicher Sabotagen und Cyberangriffe auf die Wirtschaft, aber auch auf die KRITIS in Deutschland, rückt das Thema auch in Baden-Württemberg verstärkt in den Fokus. Durch die Cybersicherheitsstrategie des Landes sowie den Ausbau und die Stärkung der Cybersicherheitsagentur Baden-Württemberg wird das Thema zunehmend operationalisiert.

Zwar wird IKT zunehmend in allen Sektoren eingesetzt, doch gerade das IKT- und das Energiesystem sind wie keine anderen Systeme interdependent. Denn insbesondere die Stromversorgung ermöglicht erst das Betreiben von Daten- und Rechenzentren. Allein mit der Stromversorgung ist zudem die grundlegende Nutzung des Internets und damit aller digitalen und Telekommunikationsanwendungen möglich. Mit der Digitalisierung und der breiten Verwendung von IKT steigt somit der Stromverbrauch – wie es der Stromverbrauch der privaten Haushalte während der Corona-Pandemie gezeigt hat. Daneben führt der Energieaufwand, zum Beispiel für die Kühlung

der Rechnerserver, dazu, dass das IKT-System energieintensiv ist. Das Kühlen von Rechnerservern in Baden-Württemberg verbrauchte 2017 rund 1.120 MWh (UM BW, 2019). Insgesamt wird geschätzt, dass 2022 der Anteil der Informationstechnologien am Stromverbrauch bei circa 20 Prozent lag (UM BW, 2023h). Mit der flächendeckenden Digitalisierung weiter Teile des gesellschaftlichen Lebens, speziell der Verwaltung, der Industrie und der Wirtschaft, nimmt das Thema „Green IT“ einen zunehmenden Stellenwert ein. Auch weil die datenintensive Nutzung um das 80-Fache in den letzten Jahren zugenommen hat, wird das IKT-System sowohl als Lösung als auch als notwendiges Handlungsfeld zur Erreichung der Klimaziele in Baden-Württemberg verstanden (Willkomm et al., 2022).

#### Infobox 9

##### Cybersicherheitsagentur Baden-Württemberg (CSBW)

Die Cybersicherheitsagentur Baden-Württemberg (CSBW) ist die landeseigene Anlaufstelle zur Koordination und Vernetzung der bestehenden Cybersicherheitsstrukturen. Übergeordnetes Ziel ist die Cybersicherheit im Land zu verbessern. Hierzu sammeln die dem Innenministerium Baden-Württemberg (IM BW) nachgeordneten Landesoberbehörden Daten zu Sicherheitslücken, Schadprogrammen sowie erfolgten und missglückten Cyberangriffen und werten sie aus. Das Aufgabenspektrum der CSBW ist klar geregelt, um Doppelstrukturen zu vermeiden. Die CSBW ist zentraler Ansprechpartner sowohl für die Landesverwaltung als auch für die Kommunen, wenn es darum geht, die IT-Infrastrukturen abzusichern. Sie ist befugt, Anordnungen zu treffen oder Maßnahmen zu erlassen, um Behörden des Landes und an das Landesverwaltungsnetz angeschlossene Organisationen zu schützen. Zu ihren Aufgaben gehört es auch, Behörden und Kommunen bei Cyberangriffen Hilfestellung zu leisten, wenn es beispielsweise um die Wiederherstellung von Systemen geht. Eine weitere Aufgabe ist es, Behörden über das aktuelle landesweite Lagebild zu informieren und die relevanten Akteure zu dem Thema Cybersicherheit zu vernetzen. Hierzu zählen staatliche Akteure,

Verwaltungen, Kommunen, Wirtschaft, Wissenschaft und Forschung ebenso wie beispielsweise Strafverfolgungsbehörden und Sicherheitseinrichtungen. CSBW ist gleichzeitig Ansprechpartner für Organisationen der Cybersicherheit über die Landesgrenzen hinaus (IM BW, 2023a). Im Fachbeirat Cybersicherheit beteiligen sich wichtige Akteure an der Weiterentwicklung der Cybersicherheitsarchitektur in Baden-Württemberg. Eine wichtige Veranstaltung für die Vernetzung und zum fachlichen Austausch ist das CyberSicherheits-Forum (CSF) des Innenministeriums (IM BW, 2021). Die dem Handlungsfeld „Staatliche Verwaltung und Kommunen“ zugehörigen Themenfelder umfassen das Informationssicherheitsmanagement, die Absicherung der IT-Netzinfrastruktur der öffentlichen Verwaltung, das einheitliche Sicherheitsniveau für IT-Verfahren sowie die gemeinsame Abwehr von IT-Angriffen und das IT-Notfallmanagement. Für die Verbesserung der Cybersicherheit sind Aufbau und Betrieb eines Informationssicherheitsmanagementsystems (ISMS) für jede Einrichtung wichtig, das u. a. eine Überprüfung und gegebenenfalls eine Verbesserung der laufenden Maßnahmen beinhaltet. Die CSBW soll zusätzlich die Analyse- und Reaktionsfähigkeit vor Ort stärken, indem regelmäßig Schwachstellenanalysen für öffentliche Stellen durchgeführt werden. Die Früherkennung von Sicherheitslücken stellt für die gemeinsame Abwehr von IT-Angriffen ein wichtiges Instrument dar. Ein IT-Notfallmanagement inklusive Notfallvorsorgekonzept und Notfallbehandlungsplan soll im Fall eines Störereignisses die Folgen möglichst gering halten und eine adäquate Reaktion sicherstellen. Ein weiteres zentrales Handlungsfeld stellen die rechtlichen Rahmenbedingungen für notwendige Befugnisse dar, die mit dem Gesetz für die Cybersicherheit auf den Weg gebracht wurden und die durch eine weitere Rechtsverordnung konkretisiert werden sollen. Überdies sollen der Grundsatz „Security by Design“ und Sicherheitsgütesiegel im Rahmen der Beschaffung und der IT-Vorhaben im frühen Stadium der Beschaffung und Entwicklung von Produk-

ten und Dienstleistungen Berücksichtigung finden (IM BW, 2021).

### **IKT-Anwendungen in Baden-Württemberg**

Baden-Württemberg zählt zu den Spitzenstandorten für IKT: 16.000 IKT-Unternehmen mit über 208.000 Beschäftigten tragen zur Wertschöpfung des Landes bei. Die IKT-Branche gilt zudem als Wachstums- und Innovationsmotor der baden-württembergischen Wirtschaft. Rund 39 Prozent der bundesweiten FuE-Ausgaben werden hier investiert (WM BW, 2023). Im Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI) beispielsweise ist Baden-Württemberg mit 222 KI-Anwendungen Spitzenreiter in Deutschland – den zweiten Platz belegt Bayern mit 212 KI-Anwendungen. In der Region Stuttgart-Tübingen liegt in diesem Sinne das „Cyber Valley“. In der europaweit größten Forschungsk Kooperation im Bereich KI wird mit Partner:innen aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft u. a. in Richtung maschinelles Lernen, Computer Vision und Robotik geforscht (Cyber Valley, 2022). In Heilbronn entsteht mit Förderung des Landes Baden-Württemberg zudem ein Innovationspark für anwendungsorientierte Künstliche Intelligenz (WM BW, 2022a)

Forschung, Vernetzung und Kooperation werden auch im Konzept der „Digital Hubs“ verankert. Neben zehn regionalen Digital Hubs als Anlaufstelle für kleine und mittlere Unternehmen in Baden-Württemberg bei Fragen zur Digitalisierung gibt es ergänzend drei themenspezifische Digital Hubs: 1) Future Industries in Stuttgart, 2) KI in Karlsruhe und 3) Digitale Chemie und Gesundheit in Mannheim und Ludwigshafen. Das Digital-Hub-Netzwerk fungiert als Treffpunkt unterschiedlichster Kompetenzen, Disziplinen und Technologien. Gleichzeitig soll der Wissens- und Technologietransfer ermöglicht werden (WM BW, 2022b). Durch die starke Automobilbranche in Baden-Württemberg können ebenfalls Synergien bezüglich der IKT-Forschung zum Beispiel für das Thema „vernetztes autonomes Fahren“ genutzt werden. So wurde 2018 das Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg (TAF BW) in Betrieb genommen. Das TAF BW besteht aus allerart öffentlicher Straßen und fungiert als Reallabor für neue Mobilitätslösungen. Neben dem autonomen motorisierten Individualverkehr werden ebenfalls Lösungen für den ÖPNV entwickelt. Beispielsweise werden auf dem Testfeld bereits autonome Rufbussysteme in der Fläche und als Zubringer für den Schienenverkehr getestet (TAF BW, 2018).

Neben den zukünftigen Anwendungen der IKT im Bereich Smart Mobility, die vor allem die Nutzung von Mobilitätsdaten in Echtzeit im Rahmen von vernetztem und autonomem Fahren umfasst, sind aktuell datenbasierte IKT in Baden-Württemberg im Verkehrs- und Mobilitätssystem im Einsatz. Neben Car-sharing-Lösungen, die zum Großteil digital und App- sowie datenbasiert sind, implementiert das Land Baden-Württemberg die Plattform „MobiData BW“. Mithilfe von Verkehrs- und Mobilitätsdaten wird eine verkehrsträgerübergreifende klimafreundliche Mobilität gefördert. Echtzeitinformationen der Verkehrsträger, aktuell des ÖPNV sowie Standort- und Verfügbar-

keitsangaben von Sharing-Diensten, kommen auf der Open-Data-Plattform zusammen. Somit wird mit Hilfe von Verkehrsdaten die Multimodalität erleichtert. Zukünftig kann durch die Zusammenführung dieser Daten mit Verkehrsinfrastruktur- und individuellen Mobilitätsdaten durch Vehicle-to-X- und Vehicle-to-Vehicle-Kommunikation intelligentes Routing ermöglicht oder die kommunale Verkehrsplanung optimiert werden. Open Data, d.h. die freie, öffentlich zugängliche Nutzung und Weiterverwendung von Mobilitätsdaten, wird dadurch zu einem weiteren Schlüssel der Verkehrs- und Mobilitätswende.

## Steckbrief 7: Zentrale Erkenntnisse Status quo IKT-System

### Baden-Württemberg

Zentrale Erkenntnisse Status quo IKT-System	
<b>Breitband und Mobilfunkabdeckung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Breitbandausbau (50 Mbit/s) und 2G-Mobilfunkabdeckung zum Großteil in der Fläche gegeben</li> <li>– Graue und weiße Flecken nehmen ab</li> <li>– 5G sowohl in der Fläche als auch auf Haushaltsebene ausbaufähig</li> <li>– Große räumliche Differenzen</li> </ul>
<b>Digitalisierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Breite Förderprogramme zum Thema (nicht nur Infrastrukturausbau)</li> <li>– Finanzieller Schwerpunkt Förderprogramme bislang in Thema intelligente Mobilität</li> <li>– Steigende Bedeutung Datengovernance und Cybersicherheit</li> <li>– Gründung der Cybersicherheitsagentur</li> <li>– Digitalisierung als Standortfaktor</li> </ul>
<b>IKT-Anwendungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Großer Wirtschaftsfaktor</li> <li>– Interdisziplinäre und vernetzte Akteurslandschaft</li> <li>– Starker FuE-Bereich</li> <li>– Synergien aus Wissenschaft, Forschung und Industrie werden genutzt</li> </ul>

### 3.5 Einschätzung zur Resilienz des Verkehrs- und Mobilitätssystems

In seiner derzeitigen Verfasstheit ist das Verkehrs- und Mobilitätssystem in Baden-Württemberg in seinen Kernanforderungen schon grundlegend resilient: Das dichte Straßennetzwerk bietet einen guten Infrastrukturaufbau und erweist sich im Falle von Stressereignissen flexibel. Sind einzelne Straßenzüge, Brücken und Wege beispielsweise aufgrund von Extremwetterereignissen unpassierbar geworden, können alternative Routen gewählt werden. Allerdings zeigen die klimatischen Stressereignisse auch, dass die Infrastruktur bereits heute deutlich exponiert ist. Dennoch führt das derzeit mit der Affinität zum Auto gelebte Verkehrsverhalten zu einer hohen Verkehrsdichte vor allem auf den Hauptverkehrsachsen. Diese hohe Verkehrsbelastung kostet nicht nur Zeit im Sinne der Wegedauer, sondern führt zu einer starken Abnutzung der Infrastruktur. Die dringend erforderlichen Sanierungs- und Klimaschutzanpassungsmaßnahmen sind mit hohen Kosten verbunden.

Um die Funktionsfähigkeit des Verkehrs- und Mobilitätssystems in Baden-Württemberg mit seinen hochkomplexen und sensiblen Infrastrukturen zu erhalten und auf zukünftige Krisen und Stressereignisse vorbereitet zu sein, gilt es nunmehr, die funktionelle Resilienz weiter zu erhöhen. Bei der Planung und Umsetzung von resilienzsteigernden Maßnahmen müssen daher zukünftige Entwicklungen wie z. B. neue Mobilitätsformen, veränderte Nutzungsbedürfnisse und neue digitale Technologien im Verkehrs- und Mobilitätssystem ebenso mitgedacht werden wie die Paradoxe (Interdependenzparadox, Digitalisierungsparadox, Adaptionsparadox siehe Kap. 2.3), die sich aus der Verschneidung der drei Systeme Verkehr und Mobilität, Energie und IKT ergeben. Bezogen auf das elektrifizierte und integrierte Systembild Verkehr und Mobilität sind weder die grundlegenden noch die erweiterten Resilienz Kriterien vollständig erfüllt. So ergeben sich durch die angestoßenen Transformationen wie beispielsweise die Antriebswende oder die zunehmende Digitalisierung des Energiesystems durch den Einsatz von intelligenten Netzen neue Vulnerabilitäten.

Das integrierte Gesamtsystem Verkehr und Mobilität, Energie und IKT befindet sich aktuell in einem Transformationsprozess mit dem Ziel der CO<sub>2</sub>-Neutralität (Klimapolitik auf EU-, Bundes- und Landesebene). Dieser erfolgt zwar primär aus Perspektive der Dekarbonisierung der Systeme, zahlt aber in Teilen bereits auf das Thema Resilienz ein. Baden-Württemberg ist sowohl hinsichtlich der Elektrifizierung des Verkehrs ambitioniert unter-

wegs und agiert vorbildlich in Planung und Umsetzung, aber auch in der strategischen Orientierung des Energiesystems und im Bereich IKT. Für ein möglichst reibungsloses Zusammenspiel der Systeme und damit für eine zukünftige resiliente Gestaltung von Verkehr und Mobilität müssen diese Orientierungen gekoppelt und stärker vernetzt werden.

Die im Folgenden dargestellten Szenarien entwerfen mögliche Zukunftsbilder eines resilienten integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems in Baden-Württemberg. Sie basieren teilweise auf aktuellen Planwerken des Landes sowie auf ausgewählten Annahmen über Veränderungen im System, die 2040 dem Zielbild transformativer Resilienz durchaus sehr nahekommen.

# 04

## **Szenarien eines resilienten integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems für Baden-Württemberg**



# 04

## Szenarien eines resilienten integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems für Baden-Württemberg

Ziel der Studie ist es, ein Resilienzkonzept für die eng miteinander verknüpften Bereiche Mobilität, Energie und IKT zu entwickeln, das der zunehmenden Vernetzung, den Interdependenzen und der erhöhten Vulnerabilität durch dynamische Innovations- und Transformationsprozesse Rechnung trägt. Die vorgestellten, von den Autor:innen konzipierten, normativen Szenarien dienen als allgemeine Überlegungen und Einschätzungen, die die komplexen Interaktionen zwischen den Sektoren beleuchten. Sie sind nicht als umfassende, sektorspezifische Analysen gedacht. Detaillierte Untersuchungen der einzelnen Sektoren würden separate, spezialisierte Studien erfordern. Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Fokus daher auf der Ableitung von Handlungsoptionen aus diesen übergeordneten Szenarien für eine ganzheitliche Betrachtung der Sektoren. Als Grundlage für die Szenarioanalyse wurde zunächst das Systembild eines integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems skizziert (siehe Kap. 2.2), um darauf aufbauend den Status quo in Baden-Württemberg (siehe Kap. 3) zu ermitteln. Ausgehend vom Konzept der transformativen Resilienz (siehe Kap. 2.1) wurde das gegenwärtige Verkehrs- und Mobilitätssystem betrachtet. Die identifizierten Lücken dienen dabei als Ausgangspunkte für die zukünftige Gestaltung eines resilienten elektrifizierten Verkehrs- und Mobilitätssystem Baden-Württembergs. Mit der nachfolgenden Szenarioanalyse werden mögliche resiliente Zukünfte des Verkehrs- und Mobilitätssystems dargestellt. Auf der Basis zuvor definierter Resilienz Kriterien werden Szenarien für die Zeithorizonte 2030 und 2040 entwickelt. Beide Szenarien konstituieren verschiedene Erwartungshorizonte nicht nur in zeitlicher Perspektive, sondern auch hinsichtlich der Lern- und Anpassungsfähigkeit des Systems. Im Szenario 2030 (Kernszenario Resilienz) werden die Mindestanforderungen eines resilienten integrierten Mobilitäts- und Verkehrssystems erfüllt, indem die Robustheit und Widerstandsfähigkeit des Systems gesteigert werden. Aus den sich ergebenden Lücken der Szenariokonstruktion 2030 wird im Szenario 2040 (Szenario der transformativen Resilienz)

das integrierte Mobilitäts- und Verkehrssystem 2040 dargestellt. Dieses zielt sowohl auf die Erhöhung der strategischen Anpassungsfähigkeit ab als auch auf die systemische Transformationsfähigkeit und damit auf die flexible Lern- und Wandlungsfähigkeit von Systemen. Die hier vorgestellten Szenarien sind keine Prognosen oder konkreten Planungshorizonte, sondern vielmehr mögliche und gewünschte Zukunftsdarstellungen. Die Szenarien können den Rahmen für die Planungs- und Strategieprozesse des Landes bilden. Beide Szenarien teilen gewisse Grundannahmen:

- der forcierte Ausbau der erneuerbaren Energien
- die komplette Marktdurchdringung der Elektromobilität

Die Grundannahmen basieren zum einen auf der Analyse des Status quo der Systeme Verkehr und Mobilität, Energie sowie IKT in Baden-Württemberg (siehe Kap. 3). Zum anderen sind die weitergehende Elektrifizierung und die Integration der erneuerbaren Energien wesentliche Bausteine der Verkehrswende, die nur in Einklang mit der Energiewende gelingen kann (Agora Verkehrswende, 2017). Mit der Herausforderung des Klimawandels dienen die landeseigenen sowie bundesweiten und europäischen Verordnungen und Gesetze darüber hinaus als „Fahrplan“ zur Klimaneutralität bis 2040 und bilden gleichzeitig den institutionellen Rahmen für die konstruierten Szenarien. Es werden Handlungsfelder definiert, die für die transformative Resilienz eines integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems von Bedeutung sind. Die Handlungsfelder zeichnen sich durch ihre starken Interdependenzen aus, die es bei der Szenariokonstruktion zu beachten gilt. Die Handlungsfelder werden ihrerseits durch Schlüsselfaktoren präzisiert. Die identifizierten Schlüsselfaktoren haben eine hohe Wirkung auf das Gesamtsystem und stellen Lenkungsgrößen dar, über die transformative Effekte in den Systemen Verkehr und Mobilität, Energie und IKT erzielt werden können. Die Handlungsfelder und Schlüsselfaktoren dienen der Strukturierung und Nach-

vollziehbarkeit der Szenarien und wurden aus der Analyse des integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems gewonnen. Die Szenarien werden entlang der Handlungsfelder konstruiert. Dabei haben die Schlüsselfaktoren auch eine verbindende Funktion zwischen den Handlungsfeldern. Anschließend werden beide Szenarien in zeitlicher Reihenfolge vorgestellt. Nach dem Szenario 2030 werden die aus Sicht der transformativen Resilienz bestehenden Lücken aufgezeigt. Diese sollen zum überwiegenden Teil im Folgeszenario 2040 geschlossen werden. Während das Szenario 2030 das integrierte Verkehrs- und Mobilitätssystem als ein funktional resilientes System beschreibt, das den Kernanforderungen der transformativen Resilienz gerecht wird, stellt das Szenario 2040 das Verkehrs- und Mobilitätssystem als ein System dar, das neben der Steigerung der Robustheit und Widerstandsfähigkeit die erweiterten Anforderungen des Konzeptes der transformativen Resilienz ad-

ressiert. Sowohl die strategische Anpassungsfähigkeit als auch die systemische Transformationsfähigkeit zielen auf die Steigerung der flexiblen Lern- und Wandlungsfähigkeit des elektrifizierten Verkehrs- und Mobilitätssystems ab.

#### 4.1 Beschreibung der Handlungsfelder und Schlüsselfaktoren

Im Folgenden werden die zuvor ausgewählten Handlungsfelder und Schlüsselfaktoren (siehe Tabelle 5) hinsichtlich ihrer Systemrelevanz erläutert und mit Blick auf die Resilienz des Status quo des integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems Baden-Württembergs interpretiert. Ausgehend davon erfolgt die Darstellung der Szenarien entlang der Projektionen für 2030 und 2040.

Handlungsfelder	Schlüsselfaktoren
<b>Elektromobilität</b>	Lade- und H <sub>2</sub> -Tankinfrastruktur, Speichertechnologien, Antriebstechnologien
<b>Mobilitätsdienstleistungen</b>	ÖPNV, Mobilitätsverhalten, MaaS, Nahmobilitätskonzepte, Parkraummanagement
<b>Verkehrsinfrastrukturen</b>	Straßen und Bauwerke (Brücken, Tunnel), intelligentes Verkehrsmanagement (Vehicle-to-X-Technologien)
<b>Energieversorgung</b>	Erneuerbare Energien (grüne Energieträger und grüner Wasserstoff), Verteil- und Übertragungsnetze, intelligente Netze (Smart Grid), Speichertechnologien
<b>Akteurskonstellationen</b>	Netzwerke, Kommunikation, Partizipation

Tabelle 5: Handlungsfelder und Schlüsselfaktoren

Quelle: eigene Darstellung IZT



## Handlungsfeld Elektromobilität

Mit Elektromobilität sind alle elektrisch betriebenen Verkehrsmittel, deren Energieversorgung (einschließlich Speicherung) und die dazugehörigen Infrastrukturen gemeint. Durch die Elektrifizierung der Kfz-Flotte mit grünem Strom kann die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen reduziert und durch erneuerbare Energien der hierfür notwendige Strom vor Ort dezentral erzeugt werden. Gleichzeitig kann allein durch die Integration von erneuerbaren Energien im Verkehrssektor die CO<sub>2</sub>-Neutralität erreicht werden. Im Zuge europäischer wie auch nationaler Klima- und Energiepolitik sowie aufgrund eines wachsenden Weltmarktes im Bereich der Elektromobilität ist auch für Baden-Württemberg ein deutlicher Trend hin zur Elektromobilität zu konstatieren, wie die Entwicklung des Kfz-Bestandes bei den E-Pkw-Neuzulassungen zeigt (siehe Kap. 3.2).

Beschleunigt und gefestigt wird dieser Markthochlauf durch die vielfältige Förderkulisse Baden-Württembergs. Die vielschichtigen Förderprogramme der letzten Jahre zielten u. a. auf:

- die Anschaffung von Elektrofahrzeugen privat sowie in Unternehmen, bspw. als Dienstwagen,
- die Beschaffung sowie den Einsatz von elektronischen Kfz-Flotten in den Kommunen, insbesondere bei Bussen im öffentlichen Verkehr,
- den Aufbau einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur (Schnell- und Normalladenetz) für batterieelektrische Fahrzeuge und die Initiierung der Grundvoraussetzungen für ein Wasserstoffnetz, fokussiert auf öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) und schwere Nutzfahrzeuge (SNF), ab.

Das Thema Elektromobilität ist im Koalitionsvertrag 2021, im Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz 2023 sowie in den umsetzungsorientierten Förderprogrammen, Projekten und Initiativen wie dem Landeskonzzept Mobilität und Klima (LMK) (siehe Kap. 3.2, Tabelle 4) und der Landesinitiative Elektromobilität IV (siehe Staatsministerium BW, 2023d) verankert, die damit den institutionellen Rahmen für die zielgerichteten Handlungsoptionen sowie die Gestaltung der Ladeinfrastruktur in Baden-Württemberg setzen. Damit ergeben sich hinsichtlich der Szenariokonstruktion für die Zeithorizonte 2030 und 2040 konkrete Vorgaben und Zielsetzungen im Bereich der Elektromobilität.

Eine Grundvoraussetzung „grüner“ Elektromobilität ist in erster Linie der beschleunigte und weiter forcierte Ausbau der erneuerbaren Energien. Dieser ist notwendig, um den an den Mobilitätsbedarf angepassten Strombedarf im Personen- wie Güterverkehr zur Verfügung zu stellen. Dies ist keine triviale Aufgabe angesichts der Prognosen im Verkehrsbereich bezüglich der Flottenentwicklung elektronischer Fahrzeuge bei gleichzeitig steigendem Strombedarf in anderen Branchen, allen voran der Industrie und dem verarbeitenden Gewerbe. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach den Einsatzfeldern von grünem Wasserstoff (siehe Kap. 3.2, Infobox 5). Für die realistische Nutzung (und Produktion) bedarf es auch hier eines deutlich beschleunigten Ausbaus der erneuerbaren Energien.

Angesichts des prognostizierten Strombedarfs sind die Schlüsselfaktoren Smart Grid und Speichertechnologien bedeutend, um die Potenziale der Elektromobilität wie auch der erneuerbaren Energien abzurufen. Mit der technischen Möglichkeit des bidirektionalen Ladens können Elektrofahrzeuge als Energiespeicher eingesetzt werden. Überschüssiger „grüner“ Strom kann gespeichert und bei Bedarf zurück ins Netz eingespeist werden (SmartGrids BW, 2022). Die Option, Fahrzeuge als mobile Speicher zu nutzen, ist vor allem aufgrund des Fahr- und Ladeverhaltens möglich. Im Durchschnitt werden Pkw in Deutschland circa eine Stunde am Tag bewegt (UBA, 2022). Als sogenannter ruhender Verkehr können sie in der restlichen Zeit somit als Stromspeicher dienen. Durch intelligente Netze lassen sich der Stromverbrauch von Elektrofahrzeugen besser mit dem des Gesamtsystems abgleichen und Angebot und Nachfrage effizient steuern. Durch das intelligente Laden und die Pkw-Speicheroption können Elektrofahrzeuge zur Netzstabilisierung beitragen, wenn mit ihrer Hilfe Spitzenlastzeiten umgangen werden können (Erlor et al., 2023).

Gleichzeitig kann durch die Integration von erneuerbaren Energien – wie durch mit PV-Anlagen ausgestattete Parkflächen – dezentral Strom erzeugt und perspektivisch in den parkenden Pkw zwischengespeichert werden. Nicht nur im ländlichen Raum kann diese Flexibilität interessante Optionen im Sinne der Versorgungssicherheit bieten: Spitzenlasten lassen sich entschärfen, wenn der Pkw tagsüber beim Einkauf oder beim Arbeitgeber sowie in den Nachtzeiten geladen werden kann. Im Fall von Netzüberlastungen und Ausfällen kann zudem der private Haushalt den im Pkw gespeicherten grünen Strom für andere Anwendungen nutzen (NPM, 2020).

Das Zusammenbringen von Parkraum- und intelligentem Speichermanagement sowie umfangreichen Lademöglichkeiten beim Arbeitgeber birgt ebenfalls großes Potenzial. Gleichzeitig müssen die technischen Gegebenheiten bei den Netzanschlüssen und den Fahrzeugen etabliert werden. In einem resilienten System muss Elektromobilität zusammen mit der Raum- und Siedlungsstruktur gedacht werden. Dabei geht es nicht nur um das Vorhandensein eines Schnell- und Normalladennetzes, vielmehr gilt es, die Stromerzeugung mit dem Quartiers- und Parkraummanagement zu vernetzen und intelligent zu steuern. Dies trifft in der Schärfe vor allem auf dicht besiedelte urbane Räume zu, wo Stell- und Lademöglichkeiten selten zusammenfallen, etwa im Fall von Mehrfamilienhäusern. In diesem Sinne bedarf es eines durchdachten, zielgruppengerechten Um- und Ausbaus von Infrastrukturen, die stets mit monetären Investitionen verbunden sind.

### Handlungsfeld Mobilitätsdienstleistungen

Mobilitätsdienstleistungen sind einerseits flexible und effiziente Optionen zur Steigerung der Resilienz des Mobilitätssystems. Andererseits sind sie gegenüber Störungen und Stressereignissen sensitiv. Zu den digital basierten Dienstleistungen gehören integrierte plattformbasierte Angebote, die verschiedene Verkehrsmittel und Mobilitätsdienste kombinieren sowie flexible Nutzungsmöglichkeiten generieren. MaaS-Konzepte zählen zu den prominentesten Formen von Mobilitätsplattformen. Sämtliche Sharing-Angebote, Mitfahrdienste, (Car-) Pooling und Ride-Sharing sowie Demand-Services werden ebenfalls zu diesen Diensten gezählt. Parkraumbewirtschaftungs-, Verkehrsmanagementangebote und weitere Konzepte, die sich auf die Verkehrsinfrastruktur beziehen, erweitern das Spektrum digital basierter Dienstleistungen. Diese neuen Mobilitätsdienstleistungen lassen sich „[...] zwischen kollektivem Verkehr und Individualverkehr sowie öffentlichem und privatem Verkehr verorten“ (Wolking, 2021, S. 107). Neben ihrem Beitrag zu neuen Wertschöpfungsstrukturen in der Mobilitätsökonomie bieten sie aufgrund der Integrationsfunktion auf der Basis von Daten und der Plattformstruktur Steuerungsoptionen, die für die Gestaltung eines nachhaltigen und resilienten Mobilitätssystems genutzt werden können. So können Anreize für die Nutzung verschiedener und nachhaltiger Angebote geschaffen, Nutzungsinnovationen gefördert (Wolking, 2021) und Unterstützungsdienste (alternative Routenvorschläge, Verkehrsmittelkombinationen) angeboten werden, die bei Störungen oder Ausfällen die Mobilität sichern. Darüber hinaus leisten digital basierte Dienstleistungen einen Beitrag zur Verkehrsangebotsvielfalt und somit zur Redundanz des Verkehrssys-

tems. Für die Robustheit des Mobilitätssystems ist die Kombination und die Erweiterung des ÖPNV um solche Dienste eine wichtige strukturelle Kopplung. Im Idealfall ergänzen diese Angebote den ÖPNV beispielsweise dort, wo bisher keine ausreichenden Mobilitätsangebote vorgehalten werden. Idealerweise werden digital basierte Mobilitätsdienstleistungen selbst integraler Bestandteil des öffentlichen Verkehrs. Datengovernance ist dabei der zentrale Steuerungsansatz für die resiliente und nachhaltige Gestaltung von Mobilitätssystemen. Die Erhebung, Analyse und Aufbereitung von Daten ermöglicht neben Informationen zu Ereignissen oder Störungen in Echtzeit auch die Lenkung von Verkehrsströmen, die Koordination von verschiedenen Verkehrsmitteln sowie die Incentivierung systemdienlichen Mobilitätsverhaltens.

Neben den technologischen und infrastrukturellen Elementen des Mobilitätssystems wirkt das Mobilitätsverhalten als ein entscheidender Faktor im Systemgefüge. Die subjektiven Entscheidungen entsprechend den individuellen Möglichkeitsräumen haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung des Mobilitätssystems (Schwedes et al., 2018). Das Zusammenspiel von Mobilitätsangeboten, Anreizen, Ressourcen, lebensweltlichen Kontexten und Verhaltensmustern beeinflusst das Mobilitätsverhalten. Genau über diese Stell-schrauben kann die Resilienz gesteigert werden. Eine zentrale Rolle spielt hierbei das Vorhandensein von Alternativen zur Bewältigung der individuellen Mobilität. So können Mobilitätsdienstleistungen Optionen bereitstellen, die Dominanz der individuellen Nutzung des Pkw aufzulockern. In urbanen Räumen stellen der Nahverkehr, die Nutzung des Fahrrades oder das Zu-Fuß-Gehen Alternativen zur Pkw-Nutzung dar. Für eine komfortable, sichere und verlässliche Nutzung sowie breiten Annahme dieser Alternativen in der Gesellschaft müssen entsprechende Voraussetzungen in Baden-Württemberg geschaffen werden. Dazu zählen u. a. der Ausbau von digitalen Infrastrukturen wie dem Breitband, die verbesserte Verfügbarkeit von Daten, die Vernetzung unterschiedlicher Mobilitätsangebote (Fokusgruppe Intelligente Mobilität, 2017), aber auch der bedarfsgerechte Ausbau von Fuß- und Radwegen.

Neben dem Resilienzpotenzial von Mobilitätsdienstleistungen und dem ÖPNV gelten hier sowohl das Digitalisierungsparadox als auch das Interdependenzparadox: Je mehr Mobilitätsdienstleistungen digital basiert sind und die Infrastruktur der Elektromobilität auf der Grundlage von Daten ruht, umso höher die Risiken und Gefahren der Störung und der Vulnerabilität des Systems. Gleichzeitig kann die Funktionalität eines hoch integrierten und vernetzten Systems bei negativen Interventionen

systemische Gesamtschädigungen und -ausfälle erleiden. Besonders bedroht sind die Kollektivverkehre (Sharing-Dienste und der ÖPNV) im Falle von Pandemien.

### **Handlungsfeld Verkehrsinfrastrukturen**

Die Verkehrsinfrastruktur bildet die Grundlage des Verkehrs- und Mobilitätssystems. Insgesamt steht der gesamte Infrastrukturausbau vor großen Herausforderungen. Mit der Elektromobilität wird primär eine Antriebswende forciert, d. h., das Kfz wird auch weiterhin eine wesentliche Rolle im Verkehrs- und Mobilitätssystem spielen. Damit müssen die verschiedenen Straßentypen weiterhin als Hauptverkehrswege entsprechend gewartet, geprüft, saniert oder geplant und gebaut werden. Gleiches gilt für Brücken und Tunnel im Straßennetz, um die infrastrukturelle Grundlage für Personen- und Güterverkehr und damit die Versorgungssicherheit sowie soziale Teilhabe der Bevölkerung zu garantieren.

Im Zuge der Elektromobilität und Digitalisierung von Verkehrssystemen müssen Hauptverkehrsachsen zudem mit Ladeinfrastruktur und mit einem flächendeckenden Mobilfunknetz ausgerüstet werden. Insbesondere mit der möglichen zukünftigen Anwendung vernetzter und autonom fahrender Pkw- und Lkw-Flotten ist Letzteres eine Grundvoraussetzung.

Insgesamt ist die Verkehrsinfrastruktur besonders vulnerabel gegenüber den Folgen des Klimawandels. Vermehrt auftretende Stressereignisse wie Hitze, Sturm und Hangrutschungen können Straßen, Brücken und Wege beschädigen und zerstören. Aber auch die hohe Verkehrsdichte von Hauptverkehrswegen und die damit einhergehende hohe Verkehrsbelastung führt zur starken Abnutzung der Infrastruktur (FIS, 2022a). Aufgrund der Bedeutung für die Versorgungssicherheit und der starken Vulnerabilität rückt die Verkehrsinfrastruktur damit in den Fokus von Klimaschutz- und Anpassungsstrategien sowie der Resilienz.

Durch den Einsatz neuer (Bau-)Materialien, die sich besser an die klimatischen Bedingungen anpassen können, soll zukünftig die Verkehrsinfrastruktur besser geschützt und erhalten werden. Neben einer Anpassung der Straßeninfrastruktur adressieren Klimaschutz- und Anpassungsstrategien eine Verschiebung des Modal Split hin zum Umweltverbund (siehe Kap. 3.2). Damit werden nicht nur in Abhängigkeit von der Verkehrsleistung emittierte Treibhausgase reduziert, sondern insgesamt die Straßeninfrastruktur entlastet. Sowohl der Ausbau des Schienennetzes als auch der von Rad- und Gehwegen wird als

zentrales Element im Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz und dem LMK von Baden-Württemberg genannt. Mit der Förderung der Nahmobilität soll die Grundlage für eine Veränderung des Mobilitätsverhaltens geschaffen und somit die erfolgreiche Realisierung der Klimaziele im Verkehrssektor bis 2030 möglich gemacht werden.

### **Handlungsfeld Energieversorgung**

Dieses Handlungsfeld beschreibt das System der Versorgung mit Strom, Wärme und Kraftstoffen. Zu den wesentlichen Elementen des Systems gehören Energieträger und -formen, (Strom-)Erzeugeranlagen, die Verteilnetze und Stromspeicher. Derzeit basiert das System überwiegend auf fossilen Energieträgern und ist damit Verursacher von ungefähr 80 Prozent der gesamten Treibhausgasemission (UBA, 2020). Die zukünftige Nutzung erneuerbarer Energieträger ist zentrales Element des Umbaus des Energiesystems. Die Energieversorgung, d. h. primär die (grüne) Stromversorgung, ist die Grundlage für die Elektrifizierung des Verkehrs- und Mobilitätssystems, aber auch für die Digitalisierung (z. B. für den Betrieb und die Kühlung von Servern). Eine stabile und gesicherte Stromversorgung ist grundlegend für ein integriertes Verkehrssystem.

Insgesamt steht das elektrische Energiesystem vor großen Herausforderungen. Die zunehmende Diversität der Erzeugungsstruktur, die geografische Diversität, der steigende Stromverbrauch, aber auch veränderte Verbrauchsmuster belasten verstärkt die Stromnetze. Hinzu kommen volatile Energiemärkte und neue Geschäftsmodelle (Meyer & Brunekreeft, 2021). Die erfolgreiche Umstellung des Energiesystems auf erneuerbare Energien ist für das Erreichen der Klimaneutralität entscheidend. Neben dem Beitrag zur Klimaneutralität senken erneuerbare Energien durch lokale und dezentrale Erzeugungsstrukturen die Abhängigkeit von externen Quellen und leisten so einen Beitrag zur Resilienz des Energie- und Verkehrssystems. Der Ausbau des Stromverteilungsnetzes stellt neben dem Ausbau der flächendeckenden Ladeinfrastruktur einen maßgebenden Bestandteil der Elektromobilität dar. Beide infrastrukturellen Voraussetzungen sind für den erfolgreichen Hochlauf der Elektromobilität unverzichtbar und müssen gleichzeitig entwickelt werden. Vor diesem Hintergrund gilt es, das Stromverteilnetz auf die künftigen Belastungen vorzubereiten, die auch durch das gleichzeitige Laden der batteriebetriebenen Elektrofahrzeuge entstehen können. Die Elektromobilität kann dann in Kombination mit den erneuerbaren Energien zu einem immer wichtigeren Bestandteil des integrierten Energiesystems werden, wenn sie zur Netzstabilität beiträgt (BDEW, 2017).

Batteriebetriebene Fahrzeuge können durch bidirektionales Laden (Vehicle-to-Grid und/oder Vehicle-to-Home) auch als flexible Zwischenspeicher genutzt werden<sup>17</sup> (siehe Kap. 3.2). Unter der Annahme, dass im Jahr 2035 bundesweit 25 Prozent der Elektro-Pkw Vehicle-to-Grid nutzen und 40 Prozent in den Strommarkt integriert werden, könnten darüber bis zu 28 GW nutzbare Leistung bereitgestellt werden (Agora Energiewende et al., 2022). Der Beitrag des bidirektionalen Ladens für die Resilienz besteht zunächst in der Steigerung der Flexibilität von Speichermöglichkeiten und beugt einer Überlastung der Stromnetze vor. Im Kontext der erneuerbaren Energien trägt es zum Ausgleich von Schwankungen bei. Ein gleichmäßiges Auslastungsprofil des Stromnetzes kann so erreicht werden. Als Speicher können Fahrzeuge in Notfällen als Stromversorger dienen und beispielsweise Häuser mit Strom versorgen.

### Handlungsfeld Akteurskonstellationen

Neben den technischen, regulatorischen und sozialen Aspekten des Verkehrs- und Mobilitätssystems spielen die involvierten Akteure und ihre Beziehungen eine entscheidende Bedeutung. Neben den Fachakteuren der jeweiligen Systeme handelt es sich sowohl um politische als auch um wirtschaftliche und zivilgesellschaftliche Akteure.

Im Sinne der transformativen Resilienz ist es erforderlich, nicht nur die Vulnerabilitäten und Möglichkeiten zu identifizieren und systematisch auszuwerten, sondern geeignete Strategie- und Handlungsansätze sowie Gestaltungsoptionen herauszuarbeiten. Hierfür sind die systemübergreifende Vernetzung, der stetige Austausch sowie eine kollaborative Zusammenarbeit der relevanten Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Gesellschaft unausweichlich. Dieser stetige interdisziplinäre Austausch kann darüber hinaus zur Sensibilisierung und zur Schaffung von Akzeptanz für die notwendigen Maßnahmen beitragen. Die Notwendigkeit einer systemübergreifenden Zusammenarbeit lässt sich exemplarisch an der Elektromobilität aufzeigen. Der hierfür benötigte Aufbau einer bedarfsgerechten Ladeinfrastruktur im Personen- und Güterverkehr erfordert ein Höchstmaß an Abstimmung vielfältiger Akteure: Kommunen, Energieunternehmen, Netzbetreiber etc.

Für die bedarfsgerechte Auslegung der Ladeinfrastruktur im Personen- wie Güterverkehr sind die Daten der Netzbetreiber beispielsweise über Netzleitungen, Umspannwerke oder Netz-

kapazitäten genauso wichtig wie die Informationen über zukünftige Ladepunkte seitens der Akteure, die die Ladeinfrastruktur planen. Gleichzeitig ist eine Vernetzung mit Akteuren des Parkraummanagements vor allem in urbanen Räumen im Sinne einer bedarfsgerechten Ladeinfrastruktur zentral. Zwar können bei neugeplanten Parkflächen neben PV-Anlagen auch neu installierte Ladepunkte mitgedacht werden. Um den Zielwert von 100.000 öffentlichen Ladepunkten bis 2030 zu realisieren, braucht es jedoch Angaben zu den bereits bestehenden öffentlichen Parkplätzen. Gleiches gilt für den Austausch mit Verkehrsinfrastrukturbetreibern, insbesondere von Autobahnen, oder Betreibern von Autobahn-Raststätten und Autohöfen.

Auch im Kontext von Big Data kommt den Akteurskonstellationen eine immer entscheidendere Rolle zu. In diesem Zusammenhang steigt die Bedeutung von Plattformen als Akteursgruppe, die per se für Vernetzung stehen. Beispielsweise können durch Open-Source-Plattformen Verkehrs- und Mobilitätsanbieter, Parkraummanagement und (Lade-)Infrastrukturanbieter gemeinsam auf Daten zurückgreifen. Neue digitale Mobilitätslösungen als Ergänzung zum ÖPNV, aber auch in Bezug zu intelligenter Steuerung von Verkehrsflüssen können erst durch die Vernetzung der Systeme (z. B. durch Vehicle-to-X) und die gegenseitige freie Nutzung relevanter Daten ihre eigentlichen Potenziale im Sinne der Lern- und Anpassungsfähigkeit abrufen.

Der Schlüsselfaktor Akteurskonstellationen nimmt eine besondere Querschnittsfunktion ein, da eine hohe Vernetzung der Akteure über alle Handlungsfelder hinweg entscheidend für Transformationsprozesse ist. Gleichzeitig ist die Vernetzung selbst ein Kriterium der Resilienz. Denn sie trägt zur Robustheit und Widerstandsfähigkeit bei. Auch auf Governance-Ebene ist ein Austausch sowohl im Sinne der Entscheidungsfindung mit Akteuren aus Wissenschaft, Wirtschaft, Kommunen und Zivilgesellschaft wichtig als auch im Sinne der ressortübergreifenden Zusammenarbeit. Die Herausforderung der Klimaneutralität kann nicht innerhalb einer politischen Instanz wie beispielsweise der Landesministerien angegangen werden, sondern braucht hier die Zusammenarbeit der Ministerien auf Landes- und auf Bundesebene.

17 | Zur weiteren Vertiefung der Anwendungsfälle des bidirektionalen Ladens siehe Factsheet Bidirektionales Laden (e-mobil, 2023b).

## 4.2 Resilienz-Szenarien

### Kernszenario Resilienz 2030

In den frühen 2020er-Jahren wird das unmittelbar nach der neuen Regierungsbildung im Mai 2021 verabschiedete Sofortprogramm „Klimaschutz und Energiewende“ bereits schrittweise umgesetzt. Zu den Maßnahmen gehören u. a. die Sicherstellung der Flächenverfügbarkeit für erneuerbare Energien wie auch der Ausbau von Windkraft- und Solaranlagen, wie sie im Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz vom 1. Februar 2023 in Baden-Württemberg vorgesehen sind. Die auf Landesebene festgelegte Nutzung von Photovoltaik (PV) auf Freiflächen von mindestens 0,2 Prozent der jeweiligen Regionsfläche sowie die auf Bundesebene festgelegte Nutzung von Windenergie (Windenergieflächenbedarfsgesetz) von 1,8 Prozent der jeweiligen Regionsfläche wurden bis 2025 umgesetzt.

Ebenfalls beim Neu- und Ausbau wie der Ertüchtigung von Anlagen der Straßenbauverwaltung wurde geprüft, inwieweit dort PV-Anlagen zur Stromerzeugung installiert und auch nicht betriebsnotwendige Flächen bestehender Verkehrswege in Baulast des Landes genutzt werden können. Die Pflicht zur Installation von PV-Anlagen bei Neubau und grundlegender Dachsanierung aus dem Jahr 2022 bzw. 2023 in Baden-Württemberg führte dazu, dass verstärkt bis dato ungenutzte Flächenpotenziale identifiziert sowie nach und nach erschlossen wurden. So haben im Jahr 2023 Stadtwerke, Genossenschaften und Unternehmen dem Land Baden-Württemberg 650 potenzielle Flächen entlang von Bundes- und Landstraßen für den Aufbau von Photovoltaikanlagen gemeldet. Zwischenzeitlich wurden 260 Flächen als grundsätzlich geeignet identifiziert und Photovoltaikanlagen installiert. Damit werden die jährlichen Verbräuche von 35.000 Dreipersonenhaushalten (122 Gigawattstunden) gedeckt.

Die von der Landesregierung eingerichtete Task Force zur Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien erarbeitete erfolgreich Vorschläge, um die Planungs- und Genehmigungsverfahren bis hin zur Inbetriebnahme von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien deutlich zu vereinfachen und voranzutreiben. Der Schwerpunkt der Arbeit lag dabei zunächst auf der Entbürokratisierung der Verfahren und Prozesse im Bereich des Ausbaus der Windenergie und der Photovoltaik. Hinzu kamen ein fortschreitender Ausbau der Strom- und Verteilernetze, eine umfassende Netzertüchtigung sowie die Erweiterung von H<sub>2</sub>-Infrastrukturen sowohl für die zusätzliche Energieerzeugung als auch für SNF. Die Maßnahmen zahlten insgesamt darauf ein, die Vielfalt in der Energieerzeugung und damit überdies die Robustheit und Widerstandsfähigkeit des Energiesystems zu erhöhen.

Im Jahr 2030 ist der Markthochlauf der Elektromobilität in Baden-Württemberg weitgehend gelungen, denn der Anteil der E-Pkw-Neuzulassungen liegt bei nahezu 100 Prozent. Mit der wachsenden batterieelektrischen Bestandsflotte in Baden-Württemberg wurden auch die ersten Meilensteine der Landesregierung hinsichtlich des bedarfsorientierten Ladeinfrastrukturaufbaus erreicht. Aufgrund seiner breiten und zielgerichteten Förderkulisse der 2020er-Jahre konnte Baden-Württemberg seine Vorreiterrolle im Bereich der Ladeinfrastruktur weiter ausbauen. Insbesondere wurde die Antriebswende ressortübergreifend durch die 2023 beschlossene Landesinitiative Elektromobilität IV maßgeblich unterstützt, sodass der Anteil der Elektromobilität erkennbar schneller angestiegen ist, als es in den EU-Regularien wie beispielsweise in der europäischen Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität (siehe Europäische Kommission, 2020) vorgegeben war.

Das Verhältnis der Anteile privater und öffentlicher Ladevorgänge hat sich im Jahr 2030 im Zuge des deutlichen Ausbaus öffentlicher Schnell- und Normalladepunkte weiter angenähert (Nationale Leitstelle Infrastruktur, 2020). Dies wird durch die Kopplung von Parkraum- und Lademanagement ermöglicht, indem auch digitale Anwendungen und Echtzeitdaten zum Einsatz kommen. 2030 wird zudem immer häufiger beim Arbeitgeber geladen und so das Lade- und Fahrverhalten der Menschen zur vollständigen Durchdringung der Elektromobilität genutzt. Im urbanen Raum wird – insbesondere entlang der Hauptverkehrsachsen – an sogenannten Mobilitätshubs und im öffentlichen Parkraum oder auf teilöffentlichen Parkflächen von kurzer Verweildauer (Supermarkt, Fitnessstudio etc.) verstärkt auf Schnellladeinfrastruktur gesetzt. Normalladepunkte

setzen sich hingegen im ländlichen Raum sowie bei Arbeitgebern und Park-and-Ride-Flächen in Speckgürteln durch, aber auch auf Parkflächen im teilöffentlichen Bereich wie bei Verwaltungsgebäuden, Schulen etc., also überall dort, wo Fahrzeuge längere Standzeiten haben.

Durch den ersten breiteren Einsatz von Smart Grid ist es außerdem möglich, den Strombedarf der Fahrzeuge intelligent zu steuern. Zudem sind 2030 die Fahrzeuge serienmäßig in der Lage, Strom rückzuspeisen, sodass sich der Markt für bidirektionales Laden zunehmend herstellerübergreifend etabliert. Grün erzeugter Strom wird während der Spitzenlastzeiten automatisiert in den Batterien der Elektrofahrzeuge gespeichert und bei steigender Nachfrage wieder in das Netz eingespeist. Auch wenn dieses vor allem vorerst noch in privaten Haushalten (Vehicle-to-Home, V2H) erfolgt, wird das Netz entlastet und die Stromversorgung stabilisiert. Gerade bei kommunalen und betrieblichen Flotten kann die, so dezentral erzeugte, Energie effektiv gespeichert werden.

Die Stärkung des ÖPNV im Zuge des Ausbaus des ÖV-Angebots durch Fahrplan- und Taktverdichtung auf der Basis einer „Mobilitätsgarantie“ hat nach der ÖPNV-Strategie 2030 für Baden-Württemberg (VM BW, 2022) zu einer Verdoppelung des Anteils des öffentlichen Verkehrs zwischen 2022 und 2030 geführt. Zusätzlich wurden die Schnittstellen zwischen den Verkehrsmitteln wie Fahrrad oder Sharing-Angeboten weiter gestärkt. Gleichzeitig wurde ein zentraler Fokus darauf gelegt, die angebotenen Mobilitätsservices für unterschiedlichste Zielgruppen attraktiv, sicher und einfach nutzbar auszurichten. Auf diese Weise konnte das Mobilitätssystem inklusiver und bedarfsgerechter gestaltet werden. Weitere Mobilitätsangebote (Sharing-Dienste, On-Demand-Verkehre und ladeinfrastrukturelle Services) wurden integriert und tariflich, infrastrukturell und betriebswirtschaftlich harmonisiert. Die Fokussierung auf das Carsharing-Angebot wurde dahingehend gelockert, dass Ridesharing-Angebote erfolgreich etabliert wurden. Die Erhöhung des Grads der Diversifizierung der Fortbewegungsarten liegt auch an der Schaffung einer fußgängerfreundlichen Infrastruktur (sichere Gehwege) sowie dem Ausbau der Radinfrastruktur. So hat sich die Robustheit des Mobilitätssystems zumindest in urbanen Räumen deutlich gesteigert. Redundanzen des Systems wurden ebenfalls erhöht, indem flexible On-Demand-Verkehre als Ergänzung zum öffentlichen Verkehr installiert wurden. Die Einführung einer kostenorientierten Parkraumbewirtschaftung sowie die Umwidmung von Parkplatzflächen für umweltfreundliche Verkehrsmittel haben sowohl die Nachhaltigkeit als auch die Resilienz des Mobilitäts-

systems verbessert. Insgesamt wurde die Anpassungsfähigkeit des Systems gestärkt.

Die zu Beginn der 2020er-Jahre initiierten Projekte und Initiativen zum Aufbau eines datenbasierten Verkehrsraumes und die langjährigen Forschungen und Entwicklungen zu digitalen Technologien wie Vehicle-to-Vehicle- und Vehicle-to-X-Kommunikation zeigen erste Verstetigungen. Ausgangspunkt war die Zentrale Datenplattform für Mobilitätsdaten, die über die Jahre erweitert, vernetzt und integriert wurde. In Kooperation mit dem bundesweiten Datenportal Mobility Data Space wurde sichergestellt, dass keine Insellösungen geschaffen werden, sondern national anschlussfähige Lösungen für Datenaustausch, -steuerung und -sicherung gefunden wurden. Die hohe Zuverlässigkeit und die geringe Latenz von 5G-Systemen hat erste Ansätze des hochautomatisierten Fahrens im Land möglich gemacht. Erste lokale automatisierte Buslinien sind in den Linienverkehr integriert und unterstützen das Mobilitätsangebot vornehmlich im ländlichen Raum; aber auch in manchen Stuttgarter Quartieren fahren automatisierte Shuttles.

Durch den Ausbau des Schienennetzes und eine Verlagerung des Verkehrs von der Straße auf die Schiene kam es zu einer Entlastung der Straßeninfrastruktur. Dies führt zu weniger Staus, geringeren Fahrzeiten und vor allem zu sinkenden verkehrlichen Anforderungen an die Verkehrsinfrastruktur bezogen auf die starke Verkehrsleistung. Die Verschiebung des Modal Split in Baden-Württemberg wurde vor allem durch den Ausbau des Radnetzes um 7.000 Kilometer und 20 Radschnellwege im Land begünstigt. Zwar sind weiterhin jährlich Sanierungsinvestitionen für das Straßennetz und die Bauwerke notwendig, diese müssen jedoch nicht kontinuierlich an neue steigende verkehrliche Anforderungen durch den MIV und den Güterverkehr angepasst werden, sodass hier seltener bauliche Anpassungen der Infrastruktur an den Klimawandel erforderlich sind.

Zudem sinkt die Lärmbelastung merklich: Innerorts tragen die leisen Elektromotoren insbesondere in geschwindigkeitsbegrenzten Wohngebieten zur Lärmreduzierung bei. Außerorts bzw. auf Straßen, auf denen höhere Geschwindigkeiten gefahren werden, sind die Abrollgeräusche der Reifen weiterhin hörbar. Nichtsdestotrotz mindert der Rückgang des Verkehrs insgesamt die Geräuschkulisse, da der Privatautoverkehr durch die Verlagerung der Mobilität auf andere Dienstleistungen zurückgeht. Der Erhalt von Lärmschutzwänden oder der Einsatz von „Flüsterasphalt“ (offenporigem Asphalt) auf den Bundes- und Landesstraßen macht 2030 weniger Investitionen erforderlich.



2030 profitiert Baden-Württemberg weiterhin von seinen lebendigen Akteursnetzwerken. Im Zuge der fortschreitenden Elektrifizierung und Verbindung der KRITIS-Systeme hat sich durch den Einsatz digitaler Technologien und Anwendungen die Bedeutung und Relevanz einiger Akteursgruppen verändert. Datenplattformen und Akteure haben eine deutlich höhere systemische Bedeutung als noch in den 2020er-Jahren. In den 2030er-Jahren hat sich der Begriff der Konnektivität zum Schlagwort im Verkehrs- und Mobilitätssystem herauskristallisiert. Auf der Grundlage der über die Mobilitätsplattform MobiData BW bereitgestellten Mobilitätsdaten sowie der über die Toolbox digitale Mobilität bereitgestellten erforderlichen Informationen konnten neue innovative Mobilitätsangebote und multimodale Wegeketten entwickelt werden. Damit ist die Angebotsvielfalt an datengestützten und nachhaltigen Mobilitätslösungen in verschiedenen Anwendungsfeldern vom ÖPNV über Multimodalität und geteilte Mobilität bis hin zum Fuß- und Radverkehr stark erweitert. Einen besonderen Stellenwert nehmen die Daten im Kontext autonom vernetzter Fahrsysteme ein. Das in den 2020er-Jahren assistierte und teilautomatisierte Fahren wurde verstetigt und das seinerzeit nur unter besonderen Bedingungen vereinzelt mögliche hochautomatisierte Fahren standardisiert. Hiervon profitieren die bedarfsgerechten Konzepte des ÖPNV vor allem auch im sub-urbanen und ländlichen Raum. Vor dem Hintergrund der dezentralen Ansiedlung von Gewerbe und Unternehmen in Baden-Württemberg konnte damit ein weiterer Meilenstein erreicht werden.

2030 gilt dabei weiterhin das Primat der Politik: Nachgelagerte Behörden der Landesministerien sowie die Regierungspräsidien werden als Schnittstelle zur Politik in der Umsetzung gestärkt.

Durch den gestärkten Austausch und Wissenstransfer zwischen den Beteiligten können für die Resilienz entscheidende Themen von Expert:innen und Akteuren aus Wirtschaft, Wissenschaft, Kommunen und Zivilgesellschaft diskutiert und analysiert werden. Der Wissenstransfer und die Impulssetzung für politische Entscheidungsträger werden damit 2030 gefördert. Insgesamt führt die hohe Vernetzung zu einer gesteigerten Entwicklungs- und Lernfähigkeit, da Push- und Pull-Faktoren für Transformationsprozesse durch die verschiedenen Akteurskonstellationen einer wiederholten Evaluation unterliegen.

Die Reaktionsfähigkeit der Akteure ist agiler und flexibler geworden, sodass Abstimmungsprozesse bei Veränderungen

oder Störfällen schnell und unkompliziert erfolgen. Auf dieser Basis konnten weitere Planungen und Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz effizient entwickelt und implementiert werden.

#### **Infobox 10**

##### **Zwischenfazit Kernszenario Resilienz 2030**

- Sofortprogramm „Klimaschutz und Energiewende“ umgesetzt
- Festgelegte Freiflächen mit PV und Windenergie genutzt
- Potenziale durch Pflicht zur Installation von PV-Anlagen geschlossen
- Erfolgreiche Task-Force zur Beschleunigung der Planungs- und Genehmigungsverfahren
- E-Pkw-Neuzulassungen liegen bei 100 Prozent
- Vorreiter beim Ausbau der Ladeinfrastruktur
- Intelligente Steuerung des Strombedarfs der Elektrofahrzeuge durch Smart Grid
- Markt für bidirektionales Laden herstellerübergreifend etabliert
- ÖV-Angebot ausgebaut durch Fahrplan- und Taktverdichtung; Integration von MaaS-Angeboten
- Verlagerung des Verkehrs durch Ausbau des Schienennetzes
- Verschiebung des Modal Split durch den Ausbau des Radwegenetzes

Im Jahr 2030 sind die Kernanforderungen und Kriterien der Resilienz im Sinne der funktionalen Stabilität des Verkehrs- und Mobilitätssystems erfüllt. Dieses nunmehr integrierte System ist grundsätzlich gegenüber Vulnerabilitäten oder Stressereignissen widerstandsfähiger: Die Energieversorgung kann auch im Hinblick auf eine schnellere Marktdurchdringung der Elektromobilität gewährleistet werden und die Datenarchitekturen sind sicher, sodass auch der Betrieb der Übertragungs- und Verteilnetze reibungslos und stabil erfolgt.

Zur Aufrechterhaltung der Grundversorgung von Mobilität sind die Voraussetzungen im Kontext der Mobilitäts- und Energie- wende sowie den Klimazielen des Landes geschaffen. Möglich wurde dieser Zustand durch die konsequente Umsetzung der Planwerke aus den 2020er-Jahren. Dennoch ist es zunächst eine Reaktion auf Notwendigkeiten zum Erhalt von Verkehr und Mobilität. Aber gerade auf Grund des Strukturwandels im Land sind weitere Schritte der Diversifizierung nötig, um nicht nur im integrierten System Verkehr und Mobilität resilient und nachhaltig zu bleiben und werden.

Es verbleiben noch Lücken hinsichtlich der Dezentralität der Energieversorgung und der Nutzung der Fahrzeuge als Speicher bzw. des Anteils an Elektrofahrzeugen auf den Straßen. Beide sichern langfristig die Flexibilität und eine hohe Belastbarkeit des Systems und tragen zur Systemtransformation bei. Die Potenziale von smarten Anwendungen, allen voran V2G, wurden nicht genutzt. Aufgrund fehlender geeigneter Geschäftsmodelle ist der Markthochlauf noch nicht gelungen. Auch wenn sich die Akteure bereits als gut koordiniert beschreiben lassen, so bedarf es einer weiteren Integrationsstufe der Vernetzung und einer Aushandlung der Rollen der jeweiligen Akteure. Ein besonderes Augenmerk sollte dabei weiterhin auf den relevanten Ministerien und nachgeordneten Institutionen (vor allem denjenigen mit dem Schwerpunkt Cybersicherheit) liegen, aber auch auf den Netzbetreibern, Unternehmen und zivilgesellschaftlichen Akteuren. Die Kollaboration aller dieser Akteure muss über die Kooperation hinaus angestrebt werden, um institutionelle und soziale Innovationen voranzutreiben. Damit können Lern- und Entwicklungsfähigkeit, Einfallreichtum sowie Mut für weitere transformative Schritte gestärkt werden.

Planungs- und Genehmigungsverfahren sind immer noch langwierig und die rechtlichen Grundlagen (Standardisierung und Regulation) für Speichertechnologien und neue Erzeugungsmodelle sind noch in der Entwicklung. Die Flächenpotenziale für den Ausbau der Photovoltaik werden noch nicht vollständig

ausgeschöpft. So gibt es noch Ausbaupotenziale beispielsweise für Bestandsgebäude.

Für die Integration intelligenter Netze (Smart Grid) bedarf es einer stärkeren Verbindlichkeit der Akteure, miteinander agieren zu müssen. Gleiches gilt für Kooperationen beim Netz- und Ladeinfrastrukturausbau bei gleichzeitiger Integration von Smart Grid. Bezüglich der dringend notwendigen Datengovernance fehlen noch landeseigene Anbieterstrukturen und Wertschöpfungsketten der Mobilitätsdienstleistungen (allen voran MaaS). Die Verkehrsbelastung ist weiterhin zu stark und macht die Straßeninfrastruktur anfällig. Demzufolge muss die Schienen-, Rad- und Fußverkehrsinfrastruktur weiter ausgebaut werden, um die Straßen zu entlasten.

Transformative Resilienz in Baden-Württemberg geht einher mit einem erfolgreichen regionalen Strukturwandel und der Erfüllung der Klimaziele. Über das Jahr 2030 hinaus müssen Strategien, Programme und Projekte angelegt werden, die auch eine Resilienz in Mobilitätsverhalten, -planung und -kultur stärken.

#### Zwischenfazit Resilienzlevel

- Robustheit und Widerstandsfähigkeit gesteigert, aber Potenziale von V2G-Potenzialen sowie PV-Ausbaupotenziale noch nicht vollständig ausgeschöpft
- Lern- und Entwicklungsfähigkeit bedarf der Kollaboration der Akteure



### Szenario der transformativen Resilienz 2040

Im Jahr 2040 ist das Land Baden-Württemberg klimaneutral. Um die Vielfalt und Redundanz des Energiesystems zu erhöhen, wurde bis zum Jahr 2040 erfolgreich der Zubau von Windkraft- und Solaranlagen in Baden-Württemberg weiter vorangetrieben und die hierfür erforderlichen Genehmigungsverfahren wurden vereinfacht und beschleunigt. Die Stromnachfrage im Verkehrssektor wird im Jahr 2040 überwiegend über den Zubau von Solaranlagen abgedeckt. Die Erzeugungskapazitäten zur Stromerzeugung im Bereich von Windenergie und Photovoltaik weisen große regionale Unterschiede auf, sodass im Jahr 2040 gut die Hälfte der Windenergie in drei der zwölf Regionen erzeugt wird, während rund ein Fünftel aller PV-Dachanlagen in der Region Stuttgart installiert wurden. Die installierte Leistung für Photovoltaik beträgt rund 40 GW und ist damit höher als die der Windenergie. Die Gaskraftwerke werden 2040 nur noch mit Wasserstoff betrieben. Die installierte Leistung liegt insgesamt bei rund sieben GW. Der Energieträgermix zur Stromerzeugung trägt im Jahr 2040 zur Robustheit und Widerstandsfähigkeit des Energiesystems bei. Er hat die Reaktions- und Anpassungsfähigkeit des Systems gesteigert, sodass regionale Unterschiede in der Stromnachfrage ausgeglichen werden können.

Im Jahr 2040 hat sich die Elektromobilität durchgesetzt. Neben der größeren Reichweite der Elektroautos führt die flächendeckende und bedarfsorientierte Ladeinfrastruktur zum endgültigen Durchbruch batterieelektrischen Fahrens. Die weitere Verdichtung der Ladeinfrastruktur wird durch private Investoren getragen; der wirtschaftliche Betrieb der schnell wachsenden Flotte an batterieelektrischen Fahrzeugen ist nunmehr möglich. Das Ladenetz ist bedarfsorientiert und divers hinsichtlich der Ladearten aufgestellt. Die Verteilung der Schnell- und Normalladepunkte ist mit dem Ladeverhalten und der Verfügbarkeit von privaten Lademöglichkeiten der Nutzer:innen von Elektrofahrzeugen kompatibel. Zusätzlich ergänzt ein dichtes H<sub>2</sub>-Tankstellennetz die Ladeinfrastruktur, insbesondere auf Autobahnen. Damit trägt Wasserstoff vor allem im Schwerlastbereich zur erfolgreichen Antriebswende bis 2040 bei. So werden die Entwicklungen von 2030 bis 2040 weitergeführt.

Die hohe Elektrofahrzeug-Neuzulassungsquote in den 2030er-Jahren führte 2040 dazu, dass im motorisierten Individualverkehr (MIV) mittlerweile primär batterieelektrisch gefahren wird. Pkw mit Verbrennungsmotoren machen nur noch einen marginalen Anteil der Neuzulassungen aus und sind in der Regel Sonderfahrzeuge (bspw. für den Katastrophenschutz). Das

Straßenbild ist 2040 durch Elektrofahrzeuge geprägt. Im ÖPNV und Güterverkehr kommt neben batterieelektrischen Fahrzeugen verstärkt die Brennstoffzellentechnologie zum Einsatz. Hierfür hat sich bis 2040 ein dichteres Wasserstofftankstellennetz entlang der Verkehrsachsen entwickelt. Das „alte Tankstellennetz“ wurde zu Elektromobilitätshubs umfunktioniert, wo Wasserstoff getankt und Strom geladen wird. 2040 kann Wasserstoff durch die bestehenden Gasnetze transportiert werden und ist somit insgesamt kostengünstiger geworden. Allerdings liegt der vorrangige Einsatz von Wasserstoff bei der Dekarbonisierung anderer energiereicher Branchen wie beispielsweise der Chemieindustrie. Der spezifische Einsatz von Wasserstoff kann zudem zu einer höheren Vielfalt und Redundanz des Verkehrs- und Mobilitätssystems führen; vor allem im Hinblick auf die Versorgungssicherheit; nämlich dann, wenn Wasserstoff im Güterverkehr, in den Rettungs- und Notdiensten und der Logistik zum Einsatz kommt.

Im Jahr 2040 ist der Ausbau der erneuerbaren Energien enorm vorangeschritten und deckt fast vollständig den Bruttostromverbrauch, der ungefähr bei 183 TWh liegt (siehe Kap. 3.3). Gleichzeitig wird durch die verschiedenen Technologien bei gleichzeitiger Integration der erneuerbaren Energien die Reaktionsfähigkeit und Anpassungsfähigkeit des Systems erhöht. Durch das Zusammenspiel von dezentraler Stromerzeugung und -speicherung wird die Vielfalt und damit die Redundanz des Energiesystems gesteigert. Durch die Vernetzung der Systeme, insbesondere durch die Auswertung von Echtzeitdaten zu Stromverbrauch, Park- und Fahrverhalten werden Angebot und Nachfrage nach grünem Strom effizient gesteuert und entsprechend optimiert. Bei Netzausfall beispielsweise in Folge von Stressereignissen kann auf die gespeicherte Energie der Fahrzeugflotte zurückgegriffen werden, um systemrelevante Funktionen aufrechtzuerhalten. Die Robustheit und Widerstandsfähigkeit des elektrifizierten Verkehrs- und Mobilitätssystems in BW lässt sich auf die starke Kombination aus erneuerbaren Energien, Speichertechnologien und intelligenter Raum- und Siedlungsstruktur (bezüglich Ladeinfrastruktur und Stromerzeugung) zurückführen.

Die Mobilitätslandschaft in Baden-Württemberg hat sich deutlich gewandelt. Im Land der großen Automobilhersteller und Zulieferer der Automobilindustrie haben sich nicht nur die Unternehmen in ihren Angeboten verändert, sondern auch die Nutzungsmuster. Das „Silicon Valley der Mobilität“ in Baden-Württemberg hat großen Einfallsreichtum bewiesen und zusammen mit den großen Unternehmen maßgeblich zur Transformation der Automobilindustrie beigetragen. Der motorisierte

Individualverkehr ist stark reduziert und die Angebote an Mobilitätsdienstleistungen wurden stetig verbessert, erweitert und inklusiver gestaltet.

Die Grundlage dieser Dienste sind hochgradig integrierte und vernetzte MaaS-Konzepte, die sich durch einen hohen Grad der Integration mit dem ÖPNV auszeichnen. Das Netz der Mobilitätssäulen bzw. Mobilitätsknotenpunkte wurde erweitert und bedarfsorientiert ausgerichtet. Die verschiedenen Mobilitätsprovider kommen überwiegend aus der Region. Die regionale Basis erhöht die Reaktionsgeschwindigkeit des Gesamtsystems im Falle von Störungen und Ausfällen. Gleichzeitig werden Ausfalloptionen bereitgestellt und die Redundanz erhöht. Die hierfür erforderlichen vertrauenswürdigen Datenräume und intelligenten Dateninfrastrukturen wurden auf der Basis nationaler Regulierungen (5G-Data Act 2030, Data Governance Constitution EU 2032) geschaffen. Einerseits wurden Standards und technologische Konzepte für einen sicheren Informationsaustausch zwischen Fahrzeugen und ihrem Umfeld, zwischen Mobilitätsanbietern und Kund:innen von Mobilitätsanwendungen auf der Basis Künstlicher Intelligenzen entwickelt. Andererseits wurde ein Regime der Datengovernance installiert, das neben der Sicherstellung eines sicheren Datenaustausches und vor allem einer angemessenen Kontrolle der Daten gleichermaßen als Resilienzstrategie funktioniert. Dieses System gilt als Best Case für Kooperationen verschiedener Akteursgruppen wie der Automobilindustrie, staatlicher Landesinstitutionen und lokaler Hightech-Industrie. So konnte nicht nur seit 2037 die Vernetzung digitaler Services flächendeckend angeboten werden, sondern auch die Datenverarbeitung mit Nachhaltigkeitszielen versöhnt werden.

Das Herz eines Mobilitätssystems macht ein starker und flexibler Umweltverbund aus. Dies ist Baden-Württemberg gelungen: Der ÖPNV hat sich in seiner Angebotsstruktur selbst diversifiziert – auch in der Verlagerung von der Straße auf die Schiene. Der hohe Anteil der Nahmobilität im urbanen Raum erklärt sich durch die Veränderungen in den Mobilitäts- und Konsumpräferenzen. Neben Ausbau, Vernetzung und Vielfalt der Angebote wurden innovative und hochautomatisierte Mobilitätskonzepte entwickelt und implementiert, die die Resilienz im ländlichen Raum entsprechend gestärkt haben. So sind autonome Dienste im ländlichen Raum besonders relevant für Leistungen der Daseinsvorsorge. Neben diesen Anwendungen unterstützen automatisierte Systeme im Wirtschaftsverkehr die Versorgung der dezentralisierten Gewerbe in Baden-Württemberg. Die überwiegende Zahl der Unternehmen im Land setzt automatisierte Werkslogistik ein und Transport-as-a-Ser-

vice wickelt automatisiert Warenbestellungen und -lieferungen ab. Automatisierte Shuttles („People Mover“) sind gegenwärtig eine Selbstverständlichkeit. Ergänzt werden die städtische und die ländliche Mobilität durch autonomes Ridepooling und Robotaxis sind ebenfalls keine Seltenheit mehr. Durch die eng getakteten On-Demand-Nahverkehre wurde einerseits die Effizienz des Verkehrs optimiert und gleichzeitig wurde das Verkehrsaufkommen gesenkt. Im Linienverkehr sowie im Regelbetrieb finden sich automatisierte Fahrzeuge, die mittlerweile auch im Mischverkehr zum Einsatz kommen.

2040 ist die Ertüchtigung der Straßeninfrastruktur weiter vorangeschritten. Bei Sanierungsmaßnahmen der letzten 15 Jahre wurden verstärkt Maßnahmen zur Klimaanpassung umgesetzt. Neben dem ortsspezifischen Ausbau von Hang- und Felsicherungen wurden hitzebeständige Fahrbahnbedeckungen bei Sanierungsarbeiten verbaut bzw. die Asphaltmischungen an die zunehmenden und langanhaltenden Hitzeperioden weiter angepasst. Durch den Einsatz digitaler Technologien wie Vehicle-to-Vehicle- und Vehicle-to-X-Kommunikation bei der Verkehrsüberwachung kann in Echtzeit auf klimabedingte Schäden der Straßen sowie extreme Wetterereignisse reagiert werden, und es können sofort Umleitungen ausgewiesen werden. Damit steigt durch digitale Technologien die Reaktions- und Anpassungsfähigkeit der Verkehrsinfrastruktur. Gleichzeitig kann durch die Kommunikation aller Verkehrsteilnehmenden und der Infrastruktur der Verkehrsfluss mit Hilfe von intelligenter Routenplanung und Geschwindigkeitsanpassung im Sinne der Entwicklungs- und Lernfähigkeit optimiert und infrastruktur-schonend genutzt werden. Digitale Anwendungen unterstützen zudem die effiziente Kontrolle und Wartung der Verkehrsinfrastruktur. Durch die Abkehr von der starken MIV-Dominanz wurde der Verkehrsträger Straße zunehmend stärker entlastet. Aber auch die teilweise Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene schont die Straßeninfrastruktur. Durch diesen Wandel der letzten Jahre sind Vielfalt und Redundanz des Verkehrs- und Mobilitätssystems stark angestiegen.

2040 zeigt sich die Akteurslandschaft weiterhin dynamisch. Neue Use Cases rund um das bidirektionale Laden, aber auch neue Mobilitäts- und Datendienstleistungen sowie datenbasierte Plattformen werden erprobt und in der Breite etabliert. Themen wie Big Data, IoT und KI sind gerade im Kontext von soziotechnischen Plattformen im Jahr 2040 systemrelevant. Durch die Etablierung neuer Geschäftsmodelle, die insbesondere aus dem Bereich der neuen digital basierten Mobilitätsdienstleistungen hervorgegangen sind, werden die neuen Unternehmen als Akteure der transformativen Resilienz rele-

vant. Sie werden in die verschiedenen Vernetzungsformate und Netzwerkkonstellationen sowie in die neuen Formen gesellschaftlicher dezentraler Kollaborationen eingebunden. Mehr Selbstbestimmung und -beteiligung sowie der Abbau bürokratischer Hürden haben seitens der Akteurskonstellationen zur gelingenden Energiewende beigetragen. Soziale Innovationen wie beispielsweise in Form von Energy Communities bringen das Thema Sektorkopplung in die Quartiere und prägen das Zusammenleben der Bevölkerung. Politische Institutionen arbeiten durch die bürokratische Entschlackung agiler und sind über ihre Zuständigkeiten hinaus vernetzt. Zum Thema Resilienz haben sich starke Expertennetzwerke etabliert. Auch hier kommen interdisziplinäre Akteure und Expert:innen zusammen und beraten die gesetzgebenden sowie umsetzungsstarken Akteure in Baden-Württemberg. Der Austausch erfolgt dabei länderübergreifend. Erfahrungen der Arbeits- und Vernetzungsorganisation mit dem Aufbau eines solchen Gremiums werden aus dem Aufbau der Cybersicherheitsagentur (CSBW) in den 2020er-Jahren gezogen. Durch die verschiedenen Resilienz-Expertennetzwerke wurden die Entwicklungs- und Lernfähigkeit sowie die (bundes- und landesübergreifende) Vernetzung zunehmend gestärkt. Resilienzplanung erfolgt horizontal (Landesakteure) und vertikal (ebenenübergreifend) und wird durch intelligente Planungs- und Entscheidungstools unterstützt.

#### Infobox 11

##### Zwischenfazit Szenario der transformativen Resilienz 2040

- Erfolgreicher Zubau von Windkraft-/Solaranlagen
- Steigerung der Anpassungsfähigkeit des Systems durch Energiemix
- MIV fast ausschließlich batterieelektrisch
- Dezentrale Stromerzeugung und -speicherung
- Transformation zum „Silicon Valley der Mobilität“
- Abkehr von MIV-Dominanz
- Integrierte und vernetzte MaaS-Konzepte auf Basis regionaler Mobilitätsprovider
- Vernetzte und integrierte Akteurslandschaft
- Flexibler Umweltverbund mit kombiniertem ÖPNV
- Nahmobilität etabliert in urbanen Räumen

#### Szenario Resilienz 2040

Auch wenn im „Szenario der transformativen Resilienz“ die grundlegenden und erweiterten Resilienz Kriterien als erfüllt anzunehmen sind, bedeutet dies nicht, dass das integrierte Verkehrs- und Mobilitätssystem vollständig resilient gegenüber Störereignissen geworden ist. Einerseits besteht Unsicherheit über die Wirkung neuer bzw. das Aufeinandertreffen verschiedener Störereignisse. Andererseits können durch die Umsetzung von Resilienzmaßnahmen auch wieder neue Vulnerabilitäten beispielsweise gegenüber Cyberattacken entstehen. Je stärker die einzelnen Komponenten digital miteinander vernetzt sind, umso größer wird die Sensitivität (Interdependenz- und Digitalisierungsparadox). Damit werden die erweiterten Resilienzanforderungen wie Einfallsreichtum und Lernfähigkeit adressiert, die für das Konzept der transformativen Resilienz entscheidend sind.

Die Weiterentwicklungen im Bereich der Künstlichen Intelligenz und ihre Durchdringung der sozialen, technischen und politischen Systeme führen zu neuen Herausforderungen und Möglichkeiten und bedingen dadurch neue Resilienz Kriterien. Auf technischer Seite werden alternative und neue Anwendungen in der Speichertechnologie oder bei Verkehrsmitteln auftreten. Die Ergebnisse von Forschung und Entwicklung sowie Innovation sind kaum absehbar. Dabei gilt es, die systemische Sichtweise niemals aus dem Blick zu verlieren. Nur so sind Wechselwirkungen und Effekte zu beobachten und es kann abgeschätzt werden, was passiert, wenn bestimmte Konstellationen eintreten.

#### Resilienzlevel

- Keine vollständige Resilienz des Systems
- Unsicherheit über die Wirkung neuer bzw. das Aufeinandertreffen verschiedener Störereignisse
- Neue Vulnerabilitäten
- Erweiterung des Resilienzkonzeptes



# 05

## **Resiliente Gestaltung der Transformation eines integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems in Baden-Württemberg**



# 05

## Resiliente Gestaltung der Transformation eines integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems in Baden-Württemberg

Nachdem zunächst der Status quo des elektrifizierten Verkehrs- und Mobilitätssystems in Baden-Württemberg unter dem Leitbild der transformativen Resilienz analysiert und in ein integriertes Systembild für die drei Infrastruktursysteme Verkehr und Mobilität, Energie und IKT überführt worden war, wurden relevante Handlungsfelder und ihre Schlüsselfaktoren bestimmt und entsprechend strukturiert. Auf dieser Grundlage wurden plausible Zukunftsszenarien für 2030 und 2040 entwickelt und die bestehenden Lücken aufgezeigt. Die hieraus resultierenden prägnanten Beschreibungen der Zukunftsszenarien wurden systematisch ausgewertet und dabei wurden

sowohl Vulnerabilitäten als auch Möglichkeiten zur Stärkung der Resilienz eines integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems in Baden-Württemberg identifiziert.

Schließlich wurden in einem strukturierten Prozess Handlungsoptionen sowie Gestaltungsansätze herausgearbeitet, die die zur Erreichung der transformativen Resilienz notwendigen Anforderungen erfüllen. Während sich die zwölf Handlungsoptionen auf die konkreten Handlungsfelder beziehen, adressieren die Gestaltungsansätze übergreifende Fragestellungen, die die transformative Resilienz systemisch stärken.

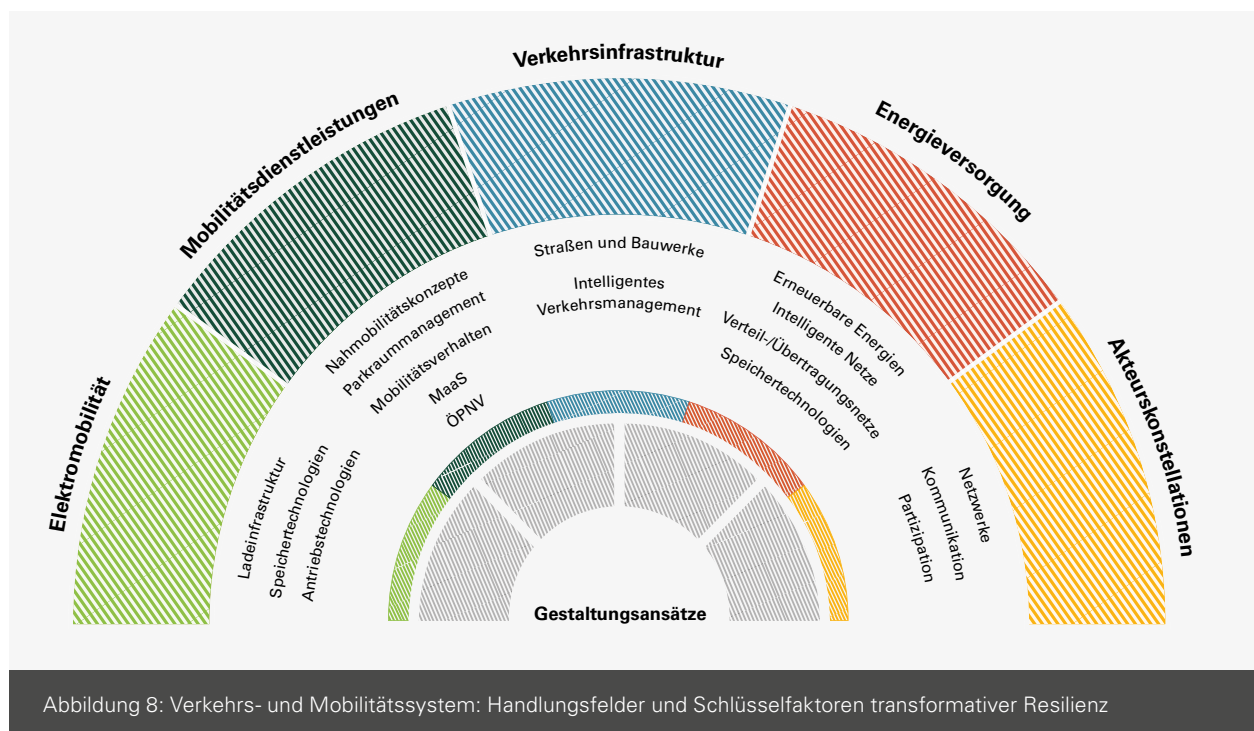


Abbildung 8: Verkehrs- und Mobilitätssystem: Handlungsfelder und Schlüsselfaktoren transformativer Resilienz

## 5.1 Handlungsoptionen

### HANDLUNGSOPTIONEN ELEKTROMOBILITÄT

#### 1. Ladeinfrastruktur bedarfsorientiert und netzdienlich planen

*Bedarfsorientierte Ladeinfrastrukturplanung muss im Sinne der Neu- und Umstrukturierung von (urbanem) Raum, insbesondere von privatem wie (teil-)öffentlichem Parkraum verstanden werden. In Baden-Württemberg erfolgte der Aufbau der Ladeinfrastruktur zunächst flächendeckend. In einem weiteren Schritt gilt es nun, die bedarfsorientierte Verdichtung des Ladenetzes umzusetzen. Zum Beispiel könnte sich der weitere Zubau von Schnellladepunkten entlang von Autobahnen konzentrieren. In Wohnquartieren und bei Arbeitgebern hingegen herrschen andere Ladebedarfe, hier muss sichergestellt werden, dass genügend Ladeplätze und -kapazitäten bereitgestellt werden, mit entsprechend anderen Ansprüchen an Lade- und Standzeiten. Insgesamt muss die jetzige Ladeinfrastruktur, die auf Tagesaktivitäten ausgerichtet ist, sich an den tatsächlichen Laderoutinen der Menschen orientieren. In Wohnquartieren könnten Stellplätze beispielsweise in „Ladeplätze“ umfunktionierte werden. Wird ein bedarfsorientiertes Ladeangebot geschaffen, erhöht das die Akzeptanz und Nutzerfreundlichkeit und zahlt damit gleichzeitig auf die Marktdurchdringung der Elektromobilität ein. Mit der Vielfalt an Ladearten und Lademöglichkeiten können vor allem die Ladespitzen entzerrt werden, beispielsweise in den frühen Abendstunden. Eine bedarfsorientierte Ladeinfrastruktur zahlt damit auf die Robustheit und Widerstandsfähigkeit eines integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems ein.*

#### ■ Bedarfsanalysen in Quartieren durchführen

Für die Ermittlung des tatsächlichen Ladeinfrastrukturbedarfs, insbesondere in den Bereichen Wohnen und Arbeiten, ist eine gründliche Analyse des tatsächlichen Bedarfs an Ladeinfrastruktur erforderlich. Hier spielen Faktoren wie die Anzahl der Elektrofahrzeuge in einem Quartier, die täglichen Fahrstrecken, die Verfügbarkeit von privaten und (teil-)öffentlichen Lademöglichkeiten, die Auslastung der bestehenden Ladeinfrastruktur sowie die Verkehrsdichte eine wesentliche Rolle. Hierfür können beispielsweise auch Daten des Parkraummanagements herangezogen werden und mit weiteren Verkehrsdaten (beispielsweise durch Vehicle-to-X-Technologien erfasst) synchronisiert und anonymisiert den ladebedarfsplanenden Stellen zur Verfügung gestellt werden. Im Rahmen von partizipativen

Formaten und/oder Pilotprojekten können anonymisierte Daten zu Beschäftigungsverhältnissen, Tagesroutinen, zum individuellen Mobilitäts- und Ladeverhalten und weitere Bedarfe erhoben und validiert werden.

#### ■ Flächenpotenziale nach identifizierten Bedarfen entwickeln

Wie auch im PV-Bereich müssen bestehende Flächen hinsichtlich ihrer Potenziale für Ladeinfrastruktur analysiert werden. Beispielsweise Gewerbeparkflächen, Betriebshöfe, Kundenparkplätze, Park-and-Ride-Anlagen, ÖPNV-Haltestellen und Bahnhöfe müssen auf ihre Eignung hin zum Aufbau öffentlicher Ladeinfrastruktur geprüft werden. Insbesondere in dicht besiedelten urbanen Räumen gilt es, die Möglichkeit des Ladens auf (teil-)öffentlichen Flächen auch außerhalb der regulären Öffnungszeiten in Betracht zu ziehen. Auch im Kontext der kommunalen Flotten sowie des ÖPNV ist der Aufbau einer bedarfsorientierten Ladeinfrastruktur entscheidend, um ihre Elektrisierung entsprechend voranzutreiben. Auch hier sind die rechtlichen Rahmenbedingungen zu prüfen, Haftungs- und Versicherungsfragen zu klären und Anreize für Kooperation zu schaffen. Das Thema Laden am Arbeitsplatz ist in diesem Kontext gleichermaßen zu adressieren (siehe Kap. 3.2). Das können steuerliche Entlastungen und Vergünstigungen sein oder bestimmte Änderungen in den Vergabevoraussetzungen von Flächen in der kommunalen Bauleitplanung.

#### ■ Integriertes Lade- und Parkraummanagement aufbauen

Für eine bedarfsorientierte Ladeinfrastruktur kann ein integriertes Lade- und Parkraummanagement zielführend sein. Ein umfassendes Parkraummanagement kann helfen, die Verteilung von öffentlichem Raum zu planen und ggf. in diesem Bereich steuernd einzugreifen. Beispielsweise kann dem Ladevorgang auf öffentlichen Parkflächen Vorrang gegenüber dem „normalen“ Parken eingeräumt werden. Hierfür bedarf es neuer Möglichkeiten und Plattformen zur Datenerfassung und zum -austausch, ggf. muss der rechtliche Rahmen unter Berücksichtigung des Datenschutzes angepasst werden. Darüber hinaus kann ein integriertes Lade- und Parkraummanagement grundsätzlich auch bei der Erfassung von Bestandsparkplätzen im öffentlichen Raum dienlich sein und die weitere Infrastrukturplanung unterstützen. Demzufolge sollte das integrierte Lade- und Parkraummanagement als Ergänzung zu den Stell- und Ladeplatzregelungen im Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG) für den Parkflächenbestand verstanden werden.



## 2. Integration von mobilen Speichern ermöglichen

*Um den im Zuge des Markthochlaufs der Elektromobilität zu erwartenden steigenden Strombedarf decken zu können, können Elektrofahrzeuge durch das bidirektionale Laden (z. B. V2G- oder V2H-Anwendungen) als mobile Energiespeicher fungieren. Mobile Speicher ermöglichen eine dezentrale und flexible Energieversorgung, tragen zur Netzstabilität bei und gewährleisten somit eine widerstandsfähige und robuste Ladeinfrastruktur. Elektrofahrzeuge sind grundsätzlich geeignet, im Rahmen der Alltagsmobilität Spitzenlasten und punktuelle Energiebedarfe auszugleichen. Das bidirektionale Laden sichert damit nicht nur die eigene Mobilität in einem integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystem, sondern es können auch bei Störereignissen Elektrofahrzeuge als Energiequelle dienen und zur Wiederherstellung der Infrastruktur beitragen. Dies ermöglicht eine schnelle Reaktion und trägt zur Sicherheit und Stabilität des Gesamtsystems bei, schafft zusätzliche Redundanz und erhöht die Widerstandsfähigkeit des integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems gegenüber Ausfällen oder Störungen der Ladeinfrastruktur.*

### ■ Einsatz und Bereitstellung mobiler Speicher vorantreiben

Das Vorantreiben bidirektionaler Ladetechnologien ist nur dann zielführend, wenn diese auch im Zuge des Ausbaus erneuerbarer Energien und innovativer Speichertechnologien integrativ gedacht werden. Die Entwicklung intelligenter Steuerungssysteme ermöglicht eine effiziente Nutzung erneuerbarer Energien und die Optimierung des Energieflusses zwischen Elektrofahrzeugen, Netz und Energiespeichern. Spezielle Förderprogramme können zielgerichtete Forschungs- und Entwicklungsvorhaben ermöglichen, um neue Technologien und Standards für das bidirektionale Laden zu entwickeln: in Bezug auf die Optimierung der Ladeinfrastruktur, die Entwicklung von intelligenten Steuerungssystemen oder die Integration von erneuerbaren Energien und Speichertechnologien. Finanzielle Anreize und Subventionen richten sich an die Nutzer:innen und können den Markteintritt erleichtern.

### ■ Kooperationen stärken und regulatorischen Rahmen schaffen

Als Schnittstellentechnologie bedarf es zur Förderung und Entwicklung der bidirektionalen Ladeinfrastruktur einer verbindlichen Zusammenarbeit zwischen Netzbetreibern, Energieversorgern, Automobilherstellern, Ladeinfrastrukturherstellern

und -betreibern und von anderen relevanten Akteuren wie Forschungseinrichtungen, politischen Entscheidungsträgern und Kommunen. Analog zu den bestehenden „Digital Hubs“ in Baden-Württemberg könnten beispielsweise die Synergien der vielfältigen Akteurslandschaft für die Entwicklung und Implementierung von bidirektionalen Ladesystemen genutzt werden. Synergien können sich aus gemeinsamen interdisziplinären Pilotprojekten und Forschungsinitiativen ergeben und dazu beitragen, die Effizienz und Funktionalität von bidirektionalen Ladestationen weiter zu verbessern. Dies setzt aber voraus, dass der Ausbau nach einheitlichen technischen Standards erfolgt, die Genehmigungsverfahren vereinfacht und die Haftungsfragen geklärt sind. Demzufolge sollte zügig der regulatorische Rahmen hierfür geschaffen werden. Klare und transparente Vorschriften sind für potenzielle Investoren kalkulierbar. Dies führt zu einem erleichterten Ausbau von bidirektionaler Ladeinfrastruktur.

### ■ Geeignete Lade- und Entladestrategien für das bidirektionale Laden entwickeln

Das bidirektionale Laden von Elektrofahrzeugen erfordert nicht nur geeignete Fahrzeuge, sondern auch die entsprechende Ladeinfrastruktur (siehe Kap. 3.2). Intelligente Ladestationen ermöglichen die Integration in V2G-Systeme und damit das flexible Laden und Entladen je nach Bedarf bzw. Stromverfügbarkeit. Neben der Integration von V2G-Technologien sollte mittels finanzieller Anreize die Bereitschaft von Unternehmen, öffentlichen Einrichtungen und Privatpersonen, in Installation und Betrieb bidirektionaler Ladeinfrastruktur zu investieren, erhöht werden. Die Gewährung der finanziellen Anreize ist in Form von Zuschüssen, steuerlichen Vergünstigungen oder reduzierten Strompreisen für den bidirektionalen Ladevorgang denkbar. Durch gezielte Aufklärung bezüglich der technischen Möglichkeiten, wirtschaftlichen Vorteile und Umweltauswirkungen – beispielsweise im Rahmen von Informations- und Sensibilisierungskampagnen – kann das Interesse an bidirektionalen Ladestationen weiter gesteigert werden.

### ■ Grünen Wasserstoff und Power-to-X-Technologien fördern

Grüner Wasserstoff bzw. Power-to-X-Technologien, bei denen beispielsweise die Umwandlung von elektrischem Strom in Wasserstoff (Power-to-Hydrogen) stattfindet, haben nicht nur das Potenzial, zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors beizutragen, sondern können in Ergänzung zur batterieelektrischen Mobilität die Antriebsvielfalt erhöhen und eine wichtige

Rolle bei der Stromspeicherung aus erneuerbaren Energien spielen. Demzufolge sollten Forschung und Entwicklung sowie die (perspektivische) Integration von synthetischen Kraftstoffen (E-Fuels) weiter vorangetrieben werden. Dennoch sollte die Integration dieser Technologien schon allein aufgrund der knappen Ressource Wasserstoff mit Bedacht erfolgen und zunächst mit Blick auf Potenzial und realistischen Einsatzbedarfen jenen Sektoren vorbehalten sein, bei denen es weniger Alternativen zur Dekarbonisierung gibt (beispielsweise Industrie). Demzufolge sind für den Aufbau der Infrastruktur für grünen Wasserstoff zunächst die Einsatzbereiche von schweren Nutzfahrzeugen im Güterverkehr (Lkw) oder öffentlichen Personenverkehr (Busse) zu priorisieren.

## HANDLUNGSOPTIONEN MOBILITÄTSDIENSTLEISTUNGEN

### 3. Mobilitätswende integriert gestalten

*Um die Resilienz eines elektrifizierten Verkehrs- und Mobilitätssystems zu stärken, erfordert es die Gestaltung einer integrierten Mobilitätswende. Die reine Antriebswende reicht nicht aus, um den aktuellen Herausforderungen gerecht zu werden. Vielmehr muss die Antriebswende in ein ganzheitliches Konzept überführt werden. Das gegenwärtige Verkehrs- und Mobilitätssystem in Baden-Württemberg ist stark auf den motorisierten Individualverkehr (MIV) ausgerichtet, was verschiedene Problemstellungen in Bezug auf transformative Resilienz mit sich bringt. Obwohl die Umstellung auf elektrische Fahrzeuge im MIV lokale Emissionen reduziert, bleibt das Verkehrs- und Mobilitätssystem hier im Wesentlichen unverändert. Eine ganzheitliche Mobilitätswende hingegen ermöglicht es, ökologische, soziale und ökonomische Aspekte gleichermaßen zu berücksichtigen. Ihr Ziel besteht darin, ein robusteres und widerstandsfähigeres Verkehrs- und Mobilitätssystem zu schaffen, das nicht nur die Umweltbelastung reduziert, sondern sozial gerecht ist und die Mobilität aller Menschen gewährleistet. Die weitere Steigerung von Verkehrsmittelvielfalt, ein starker Umweltverbund, die Implementierung attraktiver und bedarfsgerechter Mobilitätsangebote sowie die Konzeption von Nahmobilitätsstrategien führen nicht nur zu einer größeren Resilienz der Städte, sondern ermöglichen auch die Entwicklung von resilienten suburbanen Räumen und ländlichen Regionen, die den neuen Vulnerabilitäten eines integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems standhalten.<sup>18</sup>*

### ■ Für ein zukunftsweisendes Mobilitätsverhalten sensibilisieren

Das Gelingen der integrierten Verkehrs- und Mobilitätswende setzt die Reduzierung des MIV und damit ein verändertes Mobilitätsverhalten der Bevölkerung voraus. Auch in Baden-Württemberg ist das Mobilitätsverhalten der Menschen eine wichtige Stellschraube einerseits zur Erreichung der Klimaneutralität 2040 und andererseits zur resilienten Gestaltung des Verkehrs- und Mobilitätssystems. Hierbei gilt es, gewohnte Pfadabhängigkeiten zu durchbrechen sowie neue Narrative und Visionen zu etablieren. Die Transformationsprozesse (Energie, Mobilität, Automobilindustrie) müssen kommunikativ begleitet werden. Hierfür braucht es die Sensibilisierung der Bevölkerung und die Möglichkeit der Partizipation. Angebote zum Austausch und zur Aushandlung kritischer Punkte der Transformation wie auch zur Thematik der Resilienz generell müssen entwickelt werden.

### ■ Vielfalt von Verkehrsmitteln und Mobilitätsangeboten stärken

Zur Stärkung der Verkehrsmittelvielfalt und der individuellen Bereitschaft, die eigenen Pfadabhängigkeiten zu verlassen, bedarf es neben dem Ausbau der entsprechenden Infrastruktur gezielter Maßnahmen zur Erhöhung der Attraktivität des Umweltverbunds. Ein starker Umweltverbund eröffnet nicht nur bei Störereignissen die Möglichkeit, ein Mindestmaß an Mobilität zu gewährleisten, er ist auch am flächeneffizientesten. So wird im Vergleich zum MIV für den Umweltverbund weniger Fläche benötigt, um eine größere Anzahl Personen zu transportieren. Die Umsetzung der bereits im Landeskonzept Mobilität und Klima BW verankerten Maßnahmen wie die Erhöhung der Fahrplankontaktung oder das weitere Vorantreiben der Elektrifizierung der Busflotten könnte den ÖPNV attraktiver gestalten. Die Erweiterung des klassischen ÖPNV um Mobilitätsplattformen ermöglicht die inter- und multimodale Anbindung an den ÖPNV (Konnektivität) und trägt damit zur Erhöhung der Verkehrsmittel- und Wegevielfalt bei: Verkehrsmittel werden bedarfsorientiert vernetzt, durch die niedrigschwellige Nutzung wird die Attraktivität erhöht und der reibungslose Ablauf (Bezahl- und Buchungssysteme) wird gewährleistet. Darüber hinaus gilt es, den Verkehrsraum neu aufzuteilen bzw. im Sinne einer Umweltverbund-freundlichen Verkehrsführung neu zu denken: Einrichtung von Busspuren, bedarfsorientierten

<sup>18</sup> | Siehe hierzu auch bereits bestehende „Shuttle-Projekte“ wie das Forschungsvorhaben „MobiQ“ in Baden-Württemberg.

Radschnellwegen, fußgängerfreundlichen Lichtsignalanlagen-schaltungen. Ein weitflächiges Parkraummanagement in Innenstädten (Externalisierung von Kosten für den öffentlichen Raum) sowie gesamtheitlich geplante bauliche und verkehrliche Maßnahmen können ebenfalls direkt zur attraktiven Gestaltung des Umweltverbundes beitragen.

Dabei muss im Zuge der integrierten Verkehrs- und Mobilitätswende die zügige Ausweitung bedarfsorientierter vielfältiger Mobilitätsangebote auch über die Stadtgrenzen hinaus gestaltet werden. Dies gewinnt vor allem vor dem Hintergrund der dezentralen Entwicklung und Niederlassung von Gewerbe und Unternehmen in Baden-Württemberg an Relevanz. Gleichermaßen gilt es, das Wohnen und Arbeiten in suburbanen und ländlichen Räumen – gerade auch mit Blick auf die Möglichkeit des mobilen Arbeitens unabhängig vom Standort des Arbeitgebers – attraktiv zu gestalten.

#### ■ MaaS als Ergänzung zum ÖPNV verstehen

MaaS-Systeme entfalten ihr ökologisches Potenzial und ihre Resilienzfördernde Wirkung nur, wenn sie im Zusammenhang mit dem ÖPNV gedacht werden und wenn sie auch durch ihn kontrolliert werden. MaaS trägt zur Nutzung vielfältiger Verkehrsmittel bei und ermöglicht inter- und multimodale Verkehrswege. Die Integration von MaaS im ÖPNV kann die Nutzerfreundlichkeit und Bedarfsorientierung durch die Vielfalt der verfügbaren Verkehrsoptionen deutlich erhöhen und damit die Bereitschaft der Nutzer:innen, Alternativen zum MIV in Anspruch zu nehmen. Auf der Basis bereitgestellter Echtzeitinformationen können verschiedene Verkehrsmitteloptionen angeboten werden, die es den Nutzer:innen ermöglichen, das Mobilitätsverhalten flexibel anzupassen. Wichtig ist hier die Verschränkung regionaler und nationaler Mobilitätsplattformen. Dabei kann die hohe Zuverlässigkeit und geringe Latenz von 5G-Systemen dazu beitragen, diese Anwendungen auch mobilfunkgestützt und damit anwenderfreundlich und bedarfsgerecht zu nutzen (siehe auch Handlungsoption 9).

#### ■ Konnektivität durch Datenaggregation ermöglichen

Das Bereitstellen einer optimalen Mobilitätsplattform setzt die Erhebung, Verarbeitung und Nutzung von Mobilitäts- und Verkehrsdaten voraus. Hierfür braucht es eine nachhaltigkeitsorientierte Datengovernance. Die Datensicherheit muss gewährleistet sein und es muss sichergestellt werden, dass die Bereitstellung der Daten der Mobilität für alle dient. Mit der Plattform MobiData BW ist in Baden-Württemberg die Grund-

lage geschaffen worden, Mobilitätsdaten datenschutzkonform zu sammeln, zu analysieren und nutzbar zu machen. Durch die Aggregation verschiedener Datenquellen können die Verkehrsströme und Verkehrsmuster analysiert und hieraus wichtige Erkenntnisse abgeleitet werden. Die gewonnenen Daten dienen beispielsweise der Optimierung des Verkehrsmanagements und ermöglichen schnelles Reagieren im Falle von Störeignissen. Die Plattform MobiData BW sollte daher weiter ausgebaut werden und es sollten verbindliche und zugleich flexible Kooperationen zwischen den MaaS-Anbietern und dem ÖPNV geschaffen werden. Darüber hinaus sollte die Integration von Daten der MaaS Anbieter möglich bleiben und die Datengovernance sollte durch die Umsetzung von beispielsweise Citizen-Science-Projekten, die der partizipativen Erfassung weiterer Verkehrs- und Mobilitätsdaten dienen, unterstützt werden.

#### ■ Nahmobilitätskonzepte integrieren

Nahmobilitätskonzepte funktionieren nur in entsprechenden städteplanerischen Kontexten. So stärkt beispielsweise das Konzept der 15-Minuten-Stadt die Resilienz, indem sie viele dezentrale Versorgungszentren schafft. Die kurzen Wege erleichtern im Falle von Krisen und Störeignissen eine koordinierte Zulieferung zur Gewährleistung der Versorgung der Bevölkerung. Die dezentrale Struktur ermöglicht eine leichtere Koordination der Versorgung in der Breite. Insgesamt ist die Dezentralität ein wesentliches Merkmal von Nahverkehrskonzepten und kann zur Resilienz eines integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems beitragen. Kurze Wege und Nahmobilität können die Abhängigkeit von zentralen Verkehrsknotenpunkten verringern und eine flexiblere und widerstandsfähigere Verkehrsinfrastruktur schaffen. Durch Integration verschiedener Mobilitätsalternativen und die Schaffung dezentraler Versorgungszentren wird das Verkehrssystem widerstandsfähiger gegenüber Störeignissen und Katastrophen.

## HANDLUNGSOPTIONEN VERKEHRSINFRASTRUKTUR

### 4. Mobilitätswende durch vielfältige Verkehrsträger fördern

*Durch die Dominanz des motorisierten (Individual-)Verkehrs im Personen- und Güterverkehr ergeben sich aus dem hohen Verkehrsaufkommen zahlreiche Herausforderungen für den Verkehrsträger Straße. Eine hohe Infrastrukturbelastung, die gerade im Kontext mit den witterungsbedingten Einflüssen zu einer starken Abnutzung des Verkehrsträgers Straße führt, kann ihn anfällig für klimatische Störereignisse machen. Durch die tragende Rolle der Straße in Baden-Württemberg ist das Verkehrs- und Mobilitätssystem damit insbesondere im Punkt der Verkehrsinfrastruktur vulnerabel. Neben den Beeinträchtigungen in der Alltagsmobilität (beispielsweise durch Stau und lange Wegezeiten) kann eine überlastete Infrastruktur im Krisenfall dazu führen, dass die Versorgung der Menschen nicht zeitnah ermöglicht werden kann, wenn Straßen voll und auf Grund fehlender Alternativen wenig Redundanzen möglich sind.*

#### ■ Umweltverbund stärker in Planwerke positionieren

Planwerke wie der Bundeswegeplan 2030 priorisieren Straßeninfrastrukturprojekte, der Ausbau beispielsweise der Schiene ist im Vergleich zurückhaltend. Durch die starke Bedeutung der Straße für die Mobilität und die Versorgungssicherheit der Menschen und Unternehmen in Baden-Württemberg ist eine Instandhaltung, Wartung und Sanierung der bestehenden Infrastruktur zweifelsohne notwendig, dennoch gilt es, Infrastrukturprojekte zu Schienen-, Rad- und Fußverkehr gleichwertig in Planwerke zu positionieren. Ziel einer auf die Mobilitätswende ausgerichteten Infrastrukturplanung sollte es sein, die Verkehrsmittelvielfalt infrastrukturseitig zu unterstützen. Hier bedarf es einer zielgerichteten und gleichwertigen Ausrichtung von Infrastrukturprojekten. Gleichzeitig sind Planwerke wie der Bundeswegeplan wenig agil und basieren auf einem langfristigen Planungshorizont. Es gilt zu prüfen, inwieweit Planungs- und Genehmigungsverfahren beschleunigt werden können und wie Planungsinstrumente wie der Bundeswegeplan neukonzipiert werden können, um auf die Herausforderungen des Klimawandels agiler und flexibler zu reagieren. Eine ressortübergreifende Zusammenarbeit ist anzustreben, um mögliche unklare Zuständigkeiten zwischen Bund und Ländern und innerhalb der Bundesländer sowie mögliche Interessenkonflikte zu vermeiden.

### ■ Potenzial- und Bedarfsanalysen zur Umsetzung von Bestandsinfrastruktur durchführen

Nach dem Motto „Erhaltung vor Um-, Aus- und Neubau“ bei der Straßeninfrastruktur sollte die Umnutzung von Bestandsinfrastrukturen als Weg zur gesteigerten Verkehrsmittelvielfalt geprüft werden. Zum Beispiel können Potenzial- und Bedarfsanalysen für stillgelegte Bahntrassen für den Rad- oder den Güterverkehr beauftragt werden. Insbesondere die Umnutzung der (meist eingleisigen) Bahntrassen als Radschnellwege ist aus Sicht der Anbindung ländlicher Regionen zu untersuchen. Das übergeordnete Ziel der Potenzial- und Bestandsanalysen besteht darin, Bestandsinfrastrukturen effektiv zu nutzen, um die Vielfalt von Verkehrsmitteln zu stärken.

### ■ Verkehrsträger als agiles Mobilitätselement verstehen

Anstatt neu zu bauen, kann auch die Option „Straße neu denken“ in Betracht gezogen werden, um vorhandene Infrastrukturen effizient und wirtschaftlich sinnvoll zu nutzen. Dabei steht die agile und flexible Nutzung von Straßen im Fokus. Das Straßennetz erweist sich aufgrund seiner Dichte und Verfügbarkeit als besonders flexibel und redundant. Neue Verkehrskonzepte, wie „Shared-Space“-Modelle, bei denen die Straße für alle Verkehrsteilnehmenden und -mittel gleichwertig zur Nutzung geöffnet wird, können verstärkt in urbanen Räumen umgesetzt werden. Die Verkehrsinfrastruktur kann somit beispielsweise der Güterverkehrsleistung entsprechend angepasst werden. Demnach kann ein agiler Verkehrsträger Straße zum integralen Bestandteil einer resilienten Stadt- und Raumplanung werden. Die Integration von Begrünung als natürliche Barriere und als Verkehrsleitsystem kann sichere Räume für Fußgänger:innen und Radfahrer:innen schaffen. Gleichzeitig wirkt Begrünung der Überhitzung von Städten entgegen und kann die Infrastruktur vor der Witterung schützen. Insgesamt gilt es, Straßeninfrastrukturen so zu gestalten, dass diese im Notfall auch für andere Verkehrsmittel wie beispielsweise Spezialfahrzeuge des THW genutzt werden können. So können beispielsweise Radschnellwege im Krisen- und Katastrophenfall zur Wiedererlangung der Versorgungssicherheit geöffnet werden.

### 5. Verkehrsinfrastruktur digitalisieren und Echtzeitdaten nutzen

*Verwendung von Echtzeitdaten beispielsweise durch Vehicle-to-X, indem Fahrzeuge untereinander und mit der Verkehrsinfrastruktur kommunizieren, eignen sich nicht nur zur effizien-*

ten Verkehrssteuerung, sondern ermöglichen es auch, dass Fahrzeuge in Echtzeit auf ihre Umwelt reagieren können. Datengovernance ist dabei der zentrale Steuerungsansatz für die resiliente und nachhaltige Gestaltung von Mobilitätssystemen.

#### ■ Intelligentes Verkehrsmanagement aufbauen und Vehicle-2-X-Kommunikation etablieren

Grundsätzlich können intelligente Systeme dabei helfen, die Infrastrukturen zu entlasten, auf Stressereignisse flexibel zu reagieren und damit Redundanzen und die Reaktionsfähigkeit des Verkehrs- und Mobilitätssystems zu erhöhen. Dafür braucht es allerdings die technischen sowie personellen Voraussetzungen. So muss die Ausstattung mit V2X-Technologien nicht nur infrastrukturell, sondern auch fahrzeugseitig erfolgen. Geeignete Förderprogramme für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie Investitionszuschüsse können die Marktdurchdringung von V2X weiterbefördern.

#### ■ 5G-Technologien im und für das Verkehrssystem einsetzen

Die hohe Performance von 5G-Systemen ermöglicht es, in Zukunft sicherheitskritische Anwendungen im Verkehrsbereich (z. B. autonomes Fahren) auch mobilfunkgestützt umzusetzen. Die 5G-Technologie verfügt über eine höhere Zuverlässigkeit als herkömmliche Systeme, weist eine sehr geringe Latenz auf und ist per se redundant aufgebaut. Durch die Organisation sicherheitskritischer Verkehrsanwendungen über die 5G-Technologie kann eine deutlich höhere Sicherheit erzielt und das Verkehrssystem insgesamt robuster gestaltet werden. Hierbei ist es wichtig, eine stabile Breitband- und Mobilfunkübertragung sicherzustellen, um bei Störereignissen Kommunikations- sowie Mobilitätsmöglichkeiten zu gewährleisten.

### 6. Verkehrsinfrastruktur an Stressereignisse anpassen

*Für ein resilientes Verkehrs- und Mobilitätssystem bedarf es einer robusten Verkehrsinfrastruktur. Gegenüber den Folgen des Klimawandels ist die Verkehrsinfrastruktur besonders vulnerabel. So können beispielsweise Hangrutschungen oder Überschwemmungen in Folge von Starkniederschlägen Straßen, Brücken und Wege massiv beschädigen und Straßen unpassierbar machen. Neben dem Einsatz von Spezialfahrzeugen kann im Katastrophenfall die Schiene zur Versorgungssicherheit der Bevölkerung beitragen bzw. mindestens zu einer Entlastung der verbleibenden intakten Verkehrsinfrastruktur*

*führen. Vor diesem Hintergrund sollten Potenziale stillgelegter Bahntrassen in Augenschein genommen werden. Aufgrund der Bedeutung für die Versorgungssicherheit und der starken Vulnerabilität rückt die Verkehrsinfrastruktur damit in den Fokus von Klimaschutz- und Anpassungsstrategien sowie der Resilienz.*

#### ■ Monitoring für Stressereignisse einführen

Für die umfassende Überwachung des Verkehrs- und Mobilitätssystems werden Verkehrs- und Infrastrukturdaten sowie Umweltdaten in einem Monitoring zentral zusammengeführt. Das regelmäßige Monitoring sollte zudem Straßenabschnitte mit einem hohen Risiko für Sturmschäden erfassen. Gleiches gilt für von Hochwasser bedrohte Straßen, die durch das Zusammenführen von Verkehrs- und Hochwasserkontrollen effizienter geschützt werden können. Perspektivisch kann im Zuge der Risikobewertung von Strecken geprüft werden, welche Rolle dabei die KI spielen kann. Zur Erhöhung der Cyberresilienz sollten von der CSBW auch Cyberangriffe auf die kritischen Infrastrukturen systematisch erfasst und die Wirksamkeit bereits durchgeführter Maßnahmen im Rahmen eines Monitorings überprüft werden. Über Risiko- und Vulnerabilitätsanalysen und sogenannte Penetrationstests (simulierte Angriffsversuche) können frühzeitig Risiken analysiert und bewertet sowie Schwachstellen wichtiger Infrastrukturelemente der Verkehrsinfrastruktur und digital basierter Mobilitätslösungen identifiziert werden, sodass auf dieser Basis weitere geeignete Maßnahmen zur Resilienzsteigerung abgeleitet und umgesetzt werden können.

#### ■ Bauliche Anpassungsmaßnahmen zur Minderung der Klimafolgen vornehmen und das Management anpassen

Ziel ist es, den Verkehrsträger Straße sowie die dazugehörige Infrastruktur an die bereits eingetretenen Folgen sowie die zu erwartenden Entwicklungen anzupassen, indem zum Beispiel neue Asphaltarten die Robustheit und Widerstandsfähigkeit der Straße erhöhen. Vor allem bei Maßnahmen mit prozessabhängiger Wirkungsweise (z. B. Vegetationswuchs) ist ein angepasstes Management notwendig. Hierzu gehören Unterhaltungsmaßnahmen, die in bestimmten zeitlichen Abständen immer wieder umgesetzt und wenn nötig auch kurzfristig angepasst werden können. Dies erfordert ein umfassendes Verständnis der hierfür erforderlichen Prozesse. In diesem Zusammenhang sollten auch bereits existierende Unterhaltungsmaßnahmen daraufhin geprüft werden, ob sie auch den zu erwartenden Klimaeinflüssen gerecht werden.

### ■ Kapazitäten vorhalten, um bei Störereignissen mit räumlichen und zeitlichen Verlagerungen reagieren zu können

Räumliche oder zeitliche Verlagerungen sind klassische Anpassungsmaßnahmen, wenn es zu Störereignissen kommt. Es gilt, die Kapazitäten entsprechend anzupassen, damit die Lösungen im Ernstfall von den Nutzer:innen flexibel gewählt werden können. Gerade bei dem Verkehrsträger Straße sind aufgrund der großen Redundanz im Verkehrsnetz Umleitungen in der Regel möglich.

## HANDLUNGSOPTIONEN ENERGIEVERSORGUNG

### 7. Ausbau erneuerbarer Energien voranbringen

*Der beschleunigte Ausbau erneuerbarer Energien ist nicht nur zur Erreichung des Ziels der Klimaneutralität 2040 zwingend erforderlich, sondern auch mit Blick auf den exponentiell steigenden Strombedarf unserer elektrifizierten und stark vernetzten Gesellschaft von elementarer Bedeutung. Der Ausbau verschiedener erneuerbarer Energien stärkt auch die Widerstandsfähigkeit und Robustheit der Energieinfrastruktur und kann dabei das Ausfallrisiko der Stromversorgung reduzieren und gleichzeitig die Abhängigkeit von fossilen Energieimporten minimieren. Darüber hinaus ermöglicht der flächendeckende Einsatz erneuerbarer Energien durch dezentrale Strukturen und Vielfalt in der Stromerzeugung eine resiliente Energieversorgung.*

#### ■ Erweiterte Flächenpotenziale identifizieren und weiterentwickeln

Auch wenn Baden-Württemberg im Bereich der Photovoltaik (PV) vergleichsweise gut aufgestellt ist, so genügt es nicht, sich bei dem beschleunigten Ausbau nur auf Windenergieanlagen zu konzentrieren. Vielmehr muss auch der Ausbau von Photovoltaikanlagen weiter vorangetrieben werden, um die installierte Leistung zu steigern. Um diesen Prozess entsprechend effizient zu gestalten, ist es notwendig, das Flächenpotenzial für Photovoltaik- und Windenergieanlagen zu identifizieren und den gesamten Bestand in die Flächennutzungspläne zu integrieren. In einem weiteren Schritt müssen die bestehenden Potenziale für beide Bereiche analysiert werden und die sich daraus ergebenden Grenzen, aber auch Möglichkeiten aufgezeigt werden. So könnte beispielsweise ermittelt werden, ob die im KlimaG BW festgeschriebene PV-Pflicht beim Neubau von Wohn- oder Nichtwohngebäuden sowie bei grund-

legenden Dachsanierungen auch auf den Bestand – insbesondere auf Industrieanlagen und Gewerbegebäuden – ausgeweitet werden kann. Gleiches gilt für die PV-Ausstattungspflicht bei der Neuerschließung von Parkflächen. Auch hier bedarf es der Prüfung möglicher PV-Potenziale von Parkflächen im Bestand insbesondere mit Blick auf das Vorhalten von Ladeinfrastruktur beispielsweise auf Kundenparkplätzen von Supermärkten.

#### ■ Neue kollaborative Formen der Energieerzeugung unterstützen

Durch neue Ansätze wie „Energy Sharing“, beispielsweise in Form von „Energie Communities“ zur Energieversorgung, können auch private Haushalte beitragen. In der Folge entsteht eine vielfältige und dezentrale Erzeugungslandschaft und das führt zu einem insgesamt robusteren und widerstandsfähigeren Energiesystem. Um die höhere Redundanz des Energiesystems effizient nutzen zu können, gilt es, die einzelnen Erzeugungsstrukturen mit Hilfe intelligenter Netztechnologien miteinander zu verbinden. So kann eine höhere Akzeptanz erreicht werden, die sich wiederum auf den kommunalen Ausbau erneuerbarer Energien positiv auswirken kann. Als sogenannte „Prosumer“ können Verbraucher:innen die selbst erzeugte Energie teilen, gemeinsam nutzen (Peer-to-Peer Energy Sharing) oder verkaufen (Peer-to-Peer Energy Trading) und damit beispielsweise ihre Stromkosten reduzieren bzw. durch den Handel weitere monetäre Vorteile erhalten.

#### ■ Regulatorische Rahmen anpassen

Die Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien setzt günstige Rahmenbedingungen voraus. So bedarf es beispielsweise einer zielgerichteten Anpassung von Bau- und Flächennutzungsverordnungen, um die Integration von Windkraft- und PV-Anlagen in die Planung von Gebäuden und Flächen zu erleichtern und die Balance zwischen den Interessen der Anwohner:innen und dem Ausbau der erneuerbaren Energien zu gewährleisten. Auch im Bereich der Windenergie gilt es unter anderem, Genehmigungsverfahren zu vereinfachen, bürokratische Hürden mindestens zu reduzieren und finanzielle Anreize für Investoren zu schaffen. Im Bereich der PV-Anlagen geht es insbesondere darum, Fördermaßnahmen über die PV-Pflicht für den Neubau von Wohn- und Nichtwohngebäuden sowie grundlegende Dachsanierungen hinaus zu erweitern. Aber auch die Überprüfung und Anpassung von beispielsweise Abstandsregelungen für Windenergieanlagen sind wichtige regulatorische Maßnahmen, um die Balance zwischen den Anwohnerinteressen und dem Ausbau erneuerbarer Energien nicht zu gefährden.



### ■ Akzeptanz durch Partizipation erhöhen

Zur Schaffung von Akzeptanz für den (beschleunigten) Ausbau erneuerbarer Energien ist eine aktive Sensibilisierung der Bevölkerung von großer Bedeutung. Darüber hinaus kann die Bevölkerung durch Bürgerbeteiligungsmodelle sowie kollaborative Formen der Energieerzeugung und Nutzung, wie etwa „Energy Communities“, aktiv an der Entwicklung und Umsetzung von Projekten zur Erzeugung erneuerbarer Energie teilhaben (Partizipation). In ihrer Stakeholder-Funktion (Bürgerenergiegenossenschaften, Bürgerfonds etc.) können sie Perspektiven, Bedenken und Vorschläge auf kommunaler Ebene wirkungsvoller einbringen und damit den Ausbau der erneuerbaren Energien aktiv unterstützen und beschleunigen.

## 8. Versorgungssicherheit durch Integration von Speichertechnologien steigern

*Durch die effektive Nutzung von Speichertechnologien kann der intermittierende Charakter erneuerbarer Energien ausgeglichen werden, d. h., überschüssige Energie wird in Zeiten hoher Erzeugung gespeichert und bei Bedarf abgerufen. Dadurch können die Potenziale erneuerbarer Energien vollständig ausgeschöpft werden, was in der Folge die Versorgungssicherheit gewährleistet. Demzufolge führt die Integration von Speichern in das Energienetz zu einer insgesamt „redundanteren“ Energieinfrastruktur, die die Netzstabilität und die stabile und kontinuierliche Energieversorgung unterstützt sowie robuster und widerstandsfähiger gestaltet.*

### ■ Speichertechnologien diversifizieren und dezentralisieren

Mit der Diversifizierung und Dezentralisierung der Energieversorgung im Zuge des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Sinne eines resilienten Energiesystems steigt nicht nur der Bedarf, sondern auch die Vielfalt an Speichertechnologien. Neben Batteriespeichern können verschiedene Technologien zum Einsatz kommen. Vielversprechend sind in diesem Kontext kleine dezentrale Speicherlösungen. So können die Batterien von E-Pkw durch bidirektionale Ladesysteme wie Vehicle-to-Grid oder Vehicle-to-home als mobile Speicher genutzt werden. Auch Power-to-X-Technologien eignen sich grundsätzlich für die saisonale Speicherung von Energie. So können erneuerbare Energien insbesondere in Sektoren, die bisher stark von fossilen Brennstoffen abhängig waren, integriert werden. Dies gilt neben dem Verkehrssektor vorrangig für den Industriesektor: Durch die Umwandlung überschüssigen erneuer-

baren Stroms in Wasserstoff (Power-to-Hydrogen) oder synthetisches Erdgas (Power-to-Gas) können diese Sektoren mit nachhaltiger Energie effizient versorgt werden. Insgesamt wird durch die Vielfalt an Speichertechnologien und den spezifischen Einsatz der jeweiligen Technologien in geeigneten Anwendungsfeldern die Redundanz erhöht, was zu einer robusten und widerstandsfähigeren Energieversorgung mit erneuerbaren Energien beiträgt.

### ■ Regulatorischen Rahmen schaffen

Der regulatorische Rahmen bedarf einer Überprüfung und Anpassung bestehender Gesetze und Verordnungen, um den Einsatz und Betrieb von Speichertechnologien zu vereinfachen. Dies umfasst beispielsweise die Aufnahme von Speichersystemen in das Energiewirtschaftsrecht sowie die Anpassung der bestehenden Netzanschluss- und Abrechnungsvorschriften. Darüber hinaus müssen klare Regeln für die Netzanbindung und das Netzmanagement definiert werden, sodass die Integration von Speichertechnologien in das Stromnetz reibungslos erfolgen kann. Um einen sicheren Betrieb von Speichern zu gewährleisten, müssen darüber hinaus Netzstabilität, Datenschutz, Haftung sowie die Sicherheit der Speichersysteme selbst geregelt werden.

### ■ Forschung und Entwicklung fördern und Anreize für Investitionen schaffen

Im Hinblick auf die erforderliche Diversifizierung der Speichertechnologien können spezifische Fördermechanismen für Forschung und Entwicklung zum beschleunigten Ausbau von Speichertechnologien beitragen. Durch finanzielle Anreize wie Investitionszuschüsse, Einspeisevergütungen oder Steuererleichterungen kann die Wirtschaftlichkeit der Speichertechnologien erreicht werden.

## 9. Intelligente Netze implementieren und gestalten

*Der Einsatz von intelligenten Netzen (Smart Grid) ermöglicht die effiziente Steuerung und Überwachung des Stromnetzes. Im Zuge der Energieerzeugung und Versorgung durch erneuerbare Energien führt dies zu einer höheren Flexibilität, Redundanz sowie Vernetzung des Energiesystems und damit insgesamt zu einer höheren Netzstabilität. Echtzeitdaten machen es möglich, flexibel auf Störereignisse zu reagieren und bei Ausfällen auf dezentrale Energiesysteme (Micro Grid) zurückzugreifen. Verbraucher:innen können mittels datenbasierter Energiemanagementsysteme wie Smart Meters detaillierte*

*Echtzeit-Informationen beispielsweise über ihren Stromverbrauch erhalten und so den Energieverbrauch gezielt überwachen und steuern. So können Spitzenlasten vermieden werden, indem Stromverbräuche flexibel auf Zeiträume mit niedrigerer Nachfrage verlagert werden.*

#### ■ **Smart Meter Gateway als zentrales Element von intelligenten Netzen ermöglichen**

Die Nutzung intelligenter Netztechnologien wie Smart Grid und Smart Meter bedingt den Zugriff auf Verbraucherdaten und führt damit zu neuen Sicherheitsrisiken beispielsweise durch Cyberangriffe. Um ein Smart Meter Gateway als zentrales Element in intelligenten Netzen zu etablieren und den Datenschutz sowie die Sicherheit zu gewährleisten, sind einheitliche Sicherheitsstandards erforderlich. Diese Standards müssen technische und organisatorische Maßnahmen beinhalten, um die Integrität, Vertraulichkeit und Verfügbarkeit der Daten sicherzustellen. Zudem gilt es, klare Datenschutzbestimmungen und -richtlinien zu entwickeln, die Prinzipien wie Datensparsamkeit, Zweckbindung und Transparenz berücksichtigen. Die Zusammenarbeit mit Akteur:innen aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft ist hierbei entscheidend, um bestehende regulatorische Hindernisse abbauen zu können. Durch regelmäßige Sicherheitsaudits und Zertifizierungen kann die Einhaltung der Sicherheitsstandards überprüft und folglich die Vertrauenswürdigkeit und Integrität der Smart Meter Gateways gewährleistet werden.

#### ■ **Regulatorischen Rahmen schaffen**

Um die breite Nutzung intelligenter Netze sowie den Smart Meter Rollout zu beschleunigen und ihre reibungslose Integration zu gewährleisten, ist die Schaffung bzw. Anpassung rechtlicher Rahmenbedingungen erforderlich. Um insbesondere Datensicherheit und Netzstabilität gewährleisten zu können, müssen Netzanbindung und Netzmanagement sowie die entstehenden Schnittstellen bezüglich Zuständigkeit, Verantwortung sowie Haftung und Datenschutz geregelt werden. Darüber hinaus müssen die Voraussetzungen für effiziente Genehmigungsverfahren und Zertifizierungsprozesse geschaffen werden, um unnötige zeitliche Verzögerungen und Kosten zu vermeiden. Auch die Einführung spezifischer Fördermechanismen wie finanzielle Anreize und Investitionszuschüsse kann den Smart Meter Rollout weiter unterstützen und die Wirtschaftlichkeit von Smart Grids weiter verbessern. All dies wird jedoch nur gelingen, wenn relevante Akteure wie Energieversorger, Hersteller von Smart Meters, Verbraucherorganisatio-

nen und Netzbetreiber entsprechend eingebunden werden, den regulatorischen Rahmen praxisnah und ausgewogen mitzugestalten.

#### ■ **Verbraucher:innen sensibilisieren und Mitarbeitende qualifizieren**

Eine verbindliche Datengovernance schafft Vertrauen und damit Akzeptanz für den Einsatz bzw. die Integration neuer Technologien in bestehende Systeme. Das gilt auch für die Errichtung intelligenter Netze. Es muss sichergestellt sein, dass Datenschutzrichtlinien und -bestimmungen eingehalten werden, um den Schutz der Verbraucherdaten und die Sicherheit des gesamten Systems zu gewährleisten. Dies beinhaltet auch die Schulung der Mitarbeitenden und entsprechende Sensibilisierungsmaßnahmen für die Verbraucher:innen. Es gilt, das Bewusstsein der Verbraucher:innen für Datensicherheit vor allem auch in ihrem privaten Umfeld zu stärken und sie auch für mögliche Formen von Cyberbedrohungen zu sensibilisieren. In der Verantwortung der Anbieter von Smart-Meter-Systemen, Netzbetreiber und Energieversorger liegt es, umfangreiche geeignete Maßnahmen zur Datengovernance zu implementieren. Hier kann das Aufsetzen eines Dialogs zwischen Verbraucher:innen, Energieversorgern und Netzbetreibern bezüglich der Verwendung individueller Daten förderlich sein. Mit der Einrichtung von Beratungsstellen und Kompetenzzentren können dauerhafte Informations- und Beratungsangebote geschaffen werden, die zur Aufklärung und zur Transparenz beitragen.

### **10. Weiteren Netzausbau vorausschauend und netzdienlich planen**

*Durch die steigende Nachfrage nach Strom sind der Ausbau von Übertragungsnetzen sowie die Modernisierung und Erweiterung der Verteilnetze zwingend erforderlich. Um die erneuerbaren Energien effizient integrieren zu können, müssen dabei vor allem die räumliche Verteilung dieser dezentralen Stromerzeugungsquellen sowie die Netzanbindung berücksichtigt werden. Gerade vor dem Hintergrund des angestrebten Markthochlaufs der Elektromobilität und gleichermaßen der Gewährleistung einer stabilen und zuverlässigen Stromversorgung dürfen der Netzausbau, die Erweiterung der Verteilnetze und der Aufbau der Ladeinfrastruktur nicht getrennt voneinander erfolgen. Die systemdienliche Einbindung der Ladeinfrastruktur in die Planungen für den Netzausbau macht das integrierte Verkehrs- und Mobilitätssystem insgesamt robuster und widerstandsfähiger.*



### ■ Netzausbaupläne vorausschauend und netzdienlich realisieren

Wie im Masterplan Ladeinfrastruktur II der Bundesregierung bereits festgehalten, bedarf es einer engen Abstimmung zwischen den Ressorts und den Infrastrukturbetreibern sowie einer verbindlichen Einbindung der umsetzenden Akteure aus Privatwirtschaft (beispielsweise der Mineralölwirtschaft oder Automobilwirtschaft) und Kommunen. Dies setzt insbesondere die Kooperation der Akteure und die Koordination der verschiedenen Maßnahmen im Kontext des Infrastrukturaufbaus voraus (beispielsweise Flächen-/Standorttool).

### ■ Sektorübergreifende Daten für einen integrierten Netzausbau nutzen

Die bedarfsorientierte Planung und Steuerung seitens der Netz- und Ladeinfrastrukturbetreiber kann auf der Grundlage entsprechender Energie- und Mobilitätsdaten ermöglicht werden. Auch hier ist es erforderlich, dass die verschiedenen Akteure sich ressortübergreifend abstimmen und eng zusammenarbeiten. So können über die für die Netzplanung sowie für eine bedarfsgerechte integrierte Ladeinfrastruktur erforderlichen Daten identifiziert und gegebenenfalls entsprechend erhoben bzw. bezogen werden. Gerade Daten zum Stromverbrauch und speziell zum Ladeverhalten der Bevölkerung, d. h. wann, wo und wie geladen wird, kann für die integrierte Netzplanung wichtig werden.

## HANDLUNGSOPTIONEN AKTEURSKONSTELLATIONEN

### 11. Starke Netzwerkstrukturen nutzen und ausbauen

*Die resiliente Gestaltung des integrierten Systems muss als gemeinsame Aufgabe begriffen werden. Hier ist Kollaboration erforderlich, die Interessenskonflikte abbaut und Prozesse vereinfacht und damit beschleunigt, nicht verstärkt oder noch mehr Bürokratie und Hierarchien aufbaut. Um die agile und zeitnahe Reaktions- und Regenerationsfähigkeit der Systeme zu erreichen, müssen die Netzwerke systemübergreifend agieren. Baden-Württemberg weist gute Voraussetzungen für eine erfolgreiche und resiliente Transformation des Verkehrs- und Mobilitätssystems auf. Die etablierte Automobil- und Zuliefer-*

*industrie trifft auf eine Hightech-Gründerszene. Hier liegen die Potenziale, um Partnerschaften beispielsweise für die Entwicklung von intelligenten Ladeinfrastruktursystemen und innovativen Ladelösungen neu zu gründen oder zu vertiefen.*

### ■ Expertennetzwerke auf- und ausbauen

Sowohl für die Integration von Krisenfrüherkennung und Foresight-Aktivitäten als auch für die Mobilitätsbeobachtung und -berichterstattung empfiehlt sich das Einsetzen eines Expertennetzwerks, vergleichbar dem BMVI-Expertennetzwerk „Wissen, Können, Handeln“.<sup>19</sup> Neben Vertretern der Wissenschaft sollten Politik, Wirtschaft sowie Kommunen und Regionen im Netzwerk vertreten sein. Die dauerhafte Institutionalisierung eines solchen Netzwerks sollte hierbei nicht im Vordergrund stehen. Vielmehr geht es darum, dass sich das Netzwerk an den Anforderungen zur Stärkung der transformativen Resilienz des Verkehrs- und Mobilitätssystems agil und flexibel orientiert und seine Zusammensetzung stetig zielgerichtet anpasst, um den Prozess entsprechend begleiten zu können.

### ■ Kooperationen zu kollaborativen Netzwerken weiterentwickeln

Die bestehende Vielzahl an Netzwerken und Institutionen in Baden-Württemberg muss enger miteinander vernetzt werden. Hier gilt es, agile und flexible Austauschformate zu etablieren, die eine schnelle Kommunikation erlauben, Lernerfahrungen ermöglichen und verschiedene Perspektiven einbeziehen. Dies könnte im Rahmen eines vertikal und horizontal aufgestellten „Resilienz-Monitorings“ erfolgen. Die Zusammenstellung des „Netzwerks der Netzwerke“ sollte sich am Modell des integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems orientieren.

<sup>19</sup> | Das 2016 gegründete BMVI-Expertennetzwerk „Wissen – Können – Handeln“ verfolgt das Ziel, das Verkehrssystem resilienter und umweltgerechter zu gestalten. In dem verkehrsträgerübergreifenden Expertennetzwerk arbeiten unter der Federführung des Bundesministeriums sieben Bundesoberbehörden mit Expert:innen zusammen. Ende 2021 wurde das Netzwerk im Zuge der Umbenennung des BMVI in „Bundesministerium für Digitales und Verkehr“ entsprechend in „BMDV-Expertennetzwerk“ umbenannt.

### ■ Institutionelle Resilienz und verbindliche Kooperationen stärken

Hierfür gilt es, Partnerschaften zwischen Wirtschaft, Industrie und Energieversorgern für eine branchenübergreifende Zusammenarbeit auf den Weg zu bringen. Darüber hinaus müssen weitere Akteursnetzwerke bzw. bestehende Strukturen ausgebaut werden, die zivilgesellschaftliche Akteure und Initiativen (wie Energy Communities) einbeziehen und damit neue Kollaborationsformen generieren. Hierfür sind die Optionen der digitalen Transformation dahingehend zu prüfen, wie sozio-technische Systeme zur Förderung der Nachhaltigkeit und Resilienz entwickelt werden können (Datengovernance). Die Zusammenarbeit zwischen den Akteuren aus den Systemen Verkehr und Mobilität, Energie und IKT müssen verstärkt werden; bis hin zu neuen institutionellen Formaten, die ein agiles und flexibles Handeln ermöglichen, um zu einer verbesserten Anpassungsfähigkeit zu gelangen.

## 12. Kommunikation transparent gestalten

*Zur weiteren Integration von Wirtschaft, Wissenschaft und den Kommunen gehören ressortübergreifend Maßnahmen der (Wissenschafts-)Kommunikation zur Sensibilisierung für die Problemlagen und Herausforderungen, aber auch für Möglichkeiten mit Blick auf die transformative Resilienz. In diesem Kontext sollte auch die Vernetzung mit den relevanten Akteuren vorangetrieben werden.*

### ■ Zielgerichtete Kommunikationsstruktur aufbauen

Gemeint sind weniger flächendeckende Aufklärungskampagnen, sondern eher institutionelle Aufklärungsarbeit, die mittels Planspielen, Simulationen oder Übungen relevante Akteure für mögliche Ereignisse sensibilisiert und übt, wie darauf zu reagieren ist. Bezüglich der aktuellen (politischen und gesellschaftlichen) Informationsbedarfe könnten regelmäßige Werkstattgespräche durchgeführt werden. Im Rahmen eines solchen niedrigschwelligen Formates können (Zwischen-)Ergebnisse präsentiert, Fragen direkt an Fachleute gestellt bzw. systemübergreifende Diskussionen geführt werden. Grundsätzlich sollten Konzepte der Resilienz in Bildungsplänen verankert werden. Dabei sollten auch bereits vorgehaltene Materialien, wie sie beispielsweise das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe bereitstellt, integriert werden. Neben Aufklärungsmaterial, Übungen und Projektarbeit sind Lernansätze mit Hilfe von Simulationsmodellen besonders vielversprechend.

### ■ Rolle der Regierungspräsidien und Kommunen stärken

Für Baden-Württemberg gilt es vor allem, die Rolle der Regierungspräsidien und Kommunen zu stärken, da diese die Umsetzung der Mobilitäts- und Energiewende tragen und damit zentrale Akteure in der resilienten Gestaltung des Verkehrs- und Mobilitätssystems sind. Den Regierungspräsidien kommt dabei eine exponierte Rolle zu. Sie wirken an der Schnittstelle zwischen Land und Kommune und haben ein hohes Gestaltungspotenzial. Mit der Umsetzung des KlimaG BW sollen die Regierungspräsidien gestärkt werden, damit sie die Belange des Klimaschutzes bei der Errichtung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien mit erheblicher Bedeutung für die Allgemeinheit auch einbringen können.

## 5.2 Gestaltungsansätze

### A. Strategischen Gesamtprozess aufsetzen

In einem strukturierten Prozess gilt es nun, die identifizierten Handlungsoptionen und Gestaltungsansätze zu validieren und in einen strategischen Gesamtprozess zu überführen. Hierfür kann u. a. eine moderierte Veranstaltungsreihe durchgeführt werden, die neben Wissenschaftler:innen, Expert:innen aus der jeweiligen Versorgungspraxis der drei Infrastruktursysteme (Verkehr und Mobilität, Energie sowie IKT), politischen Entscheidungsträgern, Kommunen, Land, Wirtschaft und ausgewählten Bürger:innen in thematischen Arbeitsgruppen (entlang der Resilienzanforderungen) zusammenführt.

- Strategien als zukunftsorientierte Vereinbarung innerhalb und zwischen Organisationen als Handlungspläne zur Erreichung bestimmter Ziele erstellen

Störereignisse oder Bedrohungslagen sind gegenwärtig und werden weiter zunehmen. Angesichts der ganzheitlichen Herausforderung Resilienz und der Vielzahl der Transformationsarenen in Baden-Württemberg (Strukturwandel Automobilindustrie, Energiewende, Mobilitätswende) sollte es sich nicht um eine Resilienzstrategie im engeren Sinne handeln. Vielmehr ist auf eine systemübergreifend integrierte Strategieentwicklung abzielen. Demzufolge muss die Strategieentwicklung auf den drei Säulen Integration, Kooperation und Koordination aufgebaut werden (BMI, 2022):

- Integration: Ergänzung, Verknüpfung und Neudefinition bestehender Strukturen und Systeme
- Kooperation: Verschiedene Akteure arbeiten kollaborativ zusammen
- Koordination: flexibles soziotechnisches Kommunikationsmanagement

Entsprechend diesen Säulen ist die Strategieentwicklung nicht nur ein Prozess mit einem Ergebnis, sondern auch Quelle von Ressourcen, Kreativität, Beteiligung und Lernen. Zu den zentralen Elementen der Strategie gehört daher die Beantwortung folgender Fragen (Porter, 1979).

- Plan: Was soll zur Stärkung der Resilienz getan werden?
- Umsetzung: Wie sollen Resilienzziele und -maßnahmen implementiert werden?
- Positionierung: Mit wem soll es geschehen?

- Perspektive: Wer sind wir als Organisation in diesem Prozess?

### B. Krisenfrüherkennung institutionell verankern

Die klassische Früherkennung von Störereignissen oder Bedrohungslagen und das vorgehaltene Katastrophenmanagement müssen um Prozesse und Werkzeuge des strategischen Foresight sowie eine Mobilitätsbeobachtung und -berichterstattung, die über die klassischen Verkehrsindikatoren hinausgeht, erweitert werden. Grundlage dieser Verknüpfung unterschiedlicher Beobachtungsverfahren sollte das integrierte Systembild des elektrifizierten Verkehrs- und Mobilitätssystems sein. Es geht nicht darum, einzelne Systeme zu beobachten, sondern vielmehr darum, die Aufmerksamkeit auf die Schnittstellen und Systemknotenpunkte (multisektorale Vorgehensweise) zu legen, also dahin, wo die Systeme ineinandergreifen und vernetzt sind. Diese integrative Vorgehensweise sichert ein sensibles und dauerhaftes Resilienz-Monitoring, das frühzeitig und proaktiv auf Störereignisse eingehen kann, Bedrohungslagen erkennt und die entsprechenden Präventivmaßnahmen ergreift.

- Krisenfrüherkennung und Foresight-Aktivitäten verschränken

Eine einfache indikatorenbasierte Früherkennung reicht als Resilienzperspektive zur Erfassung möglicher Krisen oder Störereignisse nicht aus. Vielmehr handelt es sich hier um ereignisbasierte Frühwarnsysteme, die mit relativ unspezifischen Daten und Beobachtungen auf mögliche Krisen schließen lassen. Dazu eignen sich neben Systemen, die auf Indikatoren basieren, auch Methoden der Zukunftsforschung und des strategischen Foresight. Sensitivitätsanalysen, Szenarien und Horizon-Scanning-Ansätze sind hierbei erfolgversprechend, da sie systemisch und holistisch vorgehen. Aber auch Simulationen und Modellierungen, wie sie bereits im Monitoringbericht 2020 (UM BW, 2020) angelegt sind, müssen weiter vertieft und vor allem auf das integrierte Verkehrs- und Mobilitätssystem ausgerichtet werden.

- Dauerhafte Mobilitätsbeobachtung und -berichterstattung als Instrument für die integrierte Verkehrsplanung

Mit einem Monitoring können nicht nur die Bedürfnisse der Bevölkerung und die klassischen Verkehrsdaten dynamisch erfasst, sondern auch die Klima- und Umweltziele berücksichtigt werden. Im Hinblick auf das künftige integrierte Verkehrs-

und Mobilitätssystem Baden-Württembergs muss ein solches Beobachtungs- und Monitoringinstrument erweitert und kontinuierlich fortentwickelt werden, um aus den Beobachtungen infrastrukturelle Konsequenzen zu ziehen sowie Simulationen und Modellierungen der Energiebedarfe und Speicherkapazitäten miteinzubeziehen. Auf dieser Datenbasis können Maßnahmen schnell und vorausschauend geplant und umgesetzt werden. So wird eine resiliente Verkehrsplanung möglich gemacht. Durchgeführte Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz sollten einer Wirksamkeitskontrolle unterzogen werden. Darüber hinaus sind ressortübergreifende Kooperationen von verschiedenen Fachämtern oder Ministerien (Verkehr, Stadtplanung, Gesundheit, Umwelt, Soziales) erforderlich. Es braucht die Definition klarer Zielkriterien, die neben dem Umweltschutz und der sozialen Gerechtigkeit auch Resilienz umfassen.

#### ■ Resilienz-Monitoring aufbauen

Die spezifische Bewertung der Daten aus Mobilitätsberichterstattungen sowie vergleichbare Daten aus anderen Systemen (Energie und IKT) entlang der Resilienz Kriterien ermöglicht einen systemischen und ganzheitlichen Blick. Die Kriterien, Methoden und Indikatoren zur Resilienzmessung müssen kollaborativ entwickelt werden. Seitens der Landesregierung sollten hierzu die Impulse gegeben werden. Hier kann es zielführend sein, ein übergreifendes Resilienz-Monitoring auf Landesebene zu installieren, das vertikal und horizontal aufgestellt ist. Vertikal meint die Vernetzung mit dem Bund und der kommunalen Ebene; die Integration der verschiedenen Systeme Energie, Verkehr und IKT hingegen erfolgt auf der horizontalen Ebene. Neben der systemischen Resilienzbeobachtung können technische und systemspezifische Beobachtungsinstrumente installiert werden. Die Einsetzung von Systemebeobachtungszentren, die durch Polizei oder das Innenministerium kontrolliert und betrieben werden, könnte zur Überwachung technischer Parameter und damit zur Erkennung von Gefahren und Störungen beitragen. Die klassische Früherkennung von Störereignissen oder Bedrohungslagen und das vorgehaltene Katastrophenmanagement müssen um Prozesse und Werkzeuge des strategischen Foresight sowie eine Mobilitätsbeobachtung und -berichterstattung, die über die klassischen Verkehrsindikatoren hinausgeht, erweitert werden. Dabei geht es nicht um die Beobachtung einzelner Systeme; vielmehr muss die Aufmerksamkeit auf die Schnittstellen und Systemknotenpunkte gelegt werden; d. h., der Fokus muss dort liegen, wo Systeme ineinandergreifen bzw. vernetzt sind. Als Grundlage für ein solches übergreifendes Beobachtungsverfahren dient das in-

tegrierte Systembild des elektrifizierten Verkehrs- und Mobilitätssystems. Durch diese integrative Vorgehensweise kann ein sensitives und dauerhaftes Resilienz-Monitoring gewährleistet werden.

#### **C. Krisen- und Katastrophenmanagement auf neue Vulnerabilitäten ausrichten**

*Gegenwärtig richtet sich der Fokus in Forschung, Entwicklung und Politik auf neu entstehende Vulnerabilitäten von Systemen und vor allem auf deren Interaktion und Vernetzung. Neben dem Verstehen und der Analyse dieser neuen Vulnerabilitäten (Risikoanalysen) müssen etablierte Handlungsprotokolle in Katastrophenfällen um neue Elemente und Handlungsketten ergänzt werden. Aufgrund der steigenden Koordinationsbedarfe und Komplexität der Einsatzfälle kommt es auch hier verstärkt auf die reibungslose und effiziente Zusammenarbeit und Integration der relevanten Akteure an. Um im Ergebnis neue Cybersicherheitsvorschriften im Sinne der BSI-KritisV (BSI, 2022a) auf den Weg zu bringen, müssen Blackout-relevante Akteure über Risikoszenarien identifiziert werden, um den Grundsatz „Security by Design“ zu realisieren. Es gilt, kleine Netzbetreiber gegen gleichzeitige Angriffe zu schützen sowie die entsprechenden Sicherheitsvorschriften für die relevanten Akteure anzupassen.*

#### ■ Neue Verkehrs- und Mobilitätsroutinen und Speichertechnologien einbinden

Zur Sicherstellung der Resilienz in einem integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystem ist es entscheidend, ein dezentrales und sicheres Stromnetz aufzubauen. Damit kann im Falle von Störereignissen oder politisch motivierten Cyberangriffen auf kritische Infrastrukturen (KRITIS) die Versorgungssicherheit gewährleistet werden. Dabei können Micro-Grids und Inselösungen verwendet werden, die intelligent miteinander vernetzt und gesteuert werden können; diese sind leicht und flexibel zu aktivieren, wenn Teile von Netzwerken beispielsweise aufgrund eines Cyberangriffs abgeschaltet werden müssen. Dies setzt ein adaptives Krisenmanagement im Bereich der Energieversorgung voraus sowie die Integration der für den Krisenfall neu zu definierenden Abläufe des Verkehrs- und Mobilitätssystems in das bestehende Katastrophenmanagement (u. a. kommunale Katastrophenpläne, Notfallübungen). Demzufolge ist es notwendig, die relevanten Akteure frühzeitig einzubinden und entsprechende Ablaufpläne partizipativ aufzustellen. Es gilt zu definieren, in welchen Bereichen beispielsweise mobile Speicher im Krisenfall eingesetzt werden können

bzw. müssen und wie die Inbetriebnahme reibungslos und schnell erfolgen kann. So könnten zur Aufrechterhaltung der Stromversorgung für die Bevölkerung sowie systemkritische Einrichtungen wie Krankenhäuser batterieelektrische Fahrzeuge beispielsweise durch Vehicle-to-Grid als mobile Speicher genutzt werden. Auch Wasserstoff sollte für den Krisen- und Katastrophenfall ergänzend zu diversen Speicherlösungen vorgehalten werden. In einer vollständig elektrifizierten Gesellschaft können durch nationale Wasserstoffreserven die Industrie sowie die Sektoren Gebäude und Verkehr bei Unterbrechungen der Stromversorgung weiter versorgt werden. Darüber hinaus könnten Spezialfahrzeuge wie die des THW mit Wasserstoff angetrieben und somit unabhängig vom Stromnetz betrieben werden.

#### ■ Umgang mit Sicherheitslücken prüfen

Risikoanalysen und -bewertungen bereits existierender Schutzkonzepte sind besonders wichtig, um auf mögliche klimabedingte Schadensereignisse im Verkehrssystem besser vorbereitet zu sein. Hierfür müssen geeignete Informations- und Bewertungsgrundlagen vorhanden sein, um ggf. einzelne Verkehrsinfrastrukturelemente in ihrer Funktion und beim Auftreten von Störereignissen und zeitkritischen Entscheidungssituationen auf der Basis von Verkehrsdaten priorisieren zu können (BMI, 2022). Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der Umgang mit Sicherheitslücken. Dieser betrifft staatlich gewollte Sicherheitslücken, bei denen es zu prüfen gilt, ob sie ein Risiko für die Versorgungssicherheit darstellen. Dabei muss vor allem das Risiko durch Sicherheitslücken von IKT-Komponenten in besonders kritischen Bereichen der Energieversorgung reduziert werden. Die Betreiber der verschiedenen Infrastrukturen sind entsprechend zu sensibilisieren und es sind Produkte verschiedener Hersteller einzusetzen. Überdies sollte ein Sicherheitsansatz für IT- und Operational-Technology-Systeme entwickelt werden. Wo es möglich und sinnvoll ist, müssen Systeme zur Absicherung klar voneinander getrennt werden. Die gegenseitigen und zugleich zunehmenden Abhängigkeiten zwischen Stromversorgung und den Kommunikationsnetzwerken müssen analysiert und zur Erreichung einer möglichst großen Redundanz entsprechend gestaltet werden (Haug et al., 2021). So können systemübergreifende Kooperationen von Netzbetreibern und Expert:innen Modellierungen und Rechnungen für spezifische Fälle des Netzausfalls oder der Unterbrechung des Energienetzes simulieren. Im Rahmen von „Ethical Hacking“ können kontrolliert gezielte Angriffe durchgeführt werden, um mögliche Schwachstellen zu identifizieren und die Reaktion der Systeme zu testen. Diese Er-

kenntnisse können dann in entsprechende Handlungspläne einfließen und so als Resilienzfördernde Maßnahmen wirken. Auch bereits eingetretene Schäden können aufgefangen und abgemildert werden, indem die Verlässlichkeit der Verkehrsinfrastruktur erhöht wird. Zur Ermittlung bereits eingetretener Schäden können künftig auch moderne Technologien wie Fernerkundung mit KI zur Bauwerkprüfung eingesetzt werden. Zudem können auch Technologien wie Augmented Reality und Virtual Reality dazu beitragen, die Inspektionsprozesse in der Instandhaltung der Infrastruktur zu verbessern.

#### ■ Stresstest für neue Vulnerabilitäten einführen

Durch verschiedene Verfahren zur Simulation oder Verdeutlichung eintretender Stör- und Katastrophenkonstellationen müssen Ereignisfälle geübt werden. Alle betroffenen und geforderten Akteure können über Erfahrungen in simulierten Situationen lernen und sich besser auf mögliche Ereignisse einstellen. Zusätzlich zu realweltlichen Übungen im Kontext des Katastrophenschutzes und des Krisenmanagement-Trainings können Lerneffekte und Erfahrungen auch über Planspiele, Stress-Szenarien oder Gamification-Ansätze erzielt werden.

**Elektromobilität**

**Mobilitätsdienstleistungen**

**Verkehrsinfrastruktur**

**Energieversorgung**

**Akteurskonstellationen**

**Gestaltungsansätze**

1. Ladeinfrastruktur bedarfsorientiert planen
  2. Integration von mobilen Speichern ermöglichen
  3. Mobilitätswende integriert gestalten
  4. Mobilitätswende durch vielfältige Verkehrsträger fördern
  5. Verkehrsinfrastruktur digitalisieren und Echtzeitdaten nutzen
  6. Verkehrsinfrastruktur an Stressereignisse anpassen
  7. Ausbau erneuerbarer Energien weiter voranbringen
  8. Versorgungssicherheit durch Integration von Speichertechnologien steigern
  9. Intelligente Netze implementieren und gestalten
  10. Weiteren Netzausbau vorausschauend und netzdienlich planen
  11. Starke Netzwerkstrukturen nutzen und ausbauen
  12. Kommunikation transparent gestalten
- A. Strategischen Gesamtprozess aufsetzen  
 B. Krisenfrüherkennung institutionell verankern  
 C. Krisen- und Katastrophenmanagement auf neue Vulnerabilitäten ausrichten

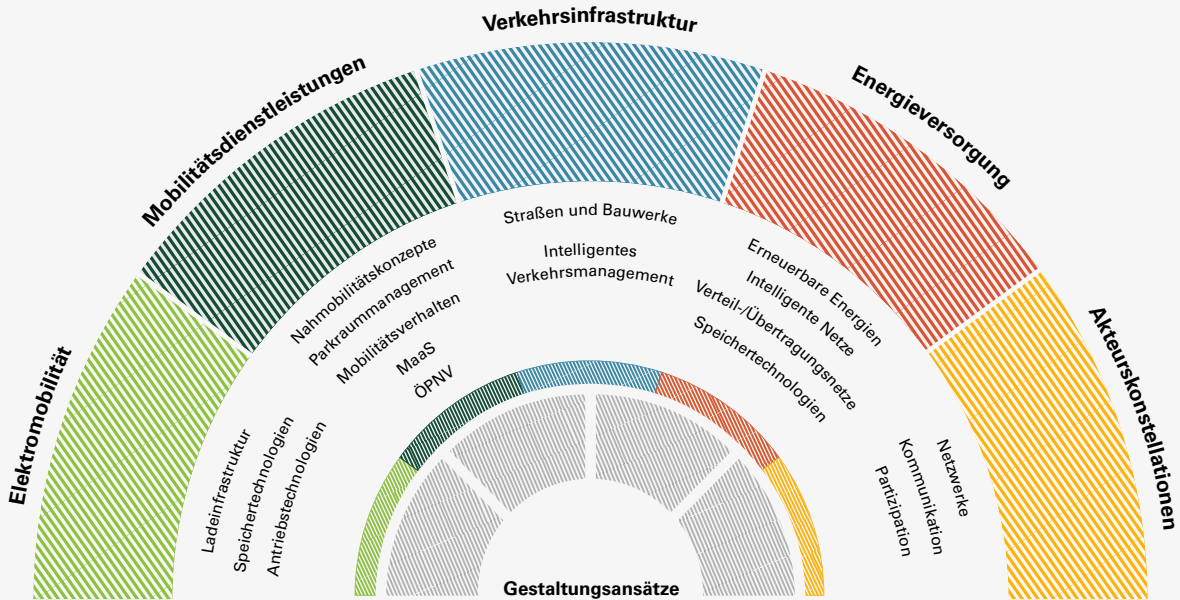


Abbildung 9: Handlungsoptionen und Gestaltungsansätze BW

Quelle: eigene Darstellung IZT

### 5.3 Fazit und Ausblick

Unter dem Titel „Resilienz als Hebel für Transformation“ wurde das Gestaltungskonzept der transformativen Resilienz vertieft behandelt. Ziel der Studie war es, die Beziehungen und Wechselwirkungen der unterschiedlichen Komponenten eines elektrifizierten Verkehrs- und Mobilitätssystems in Baden-Württemberg mit dem Fokus auf den Verkehrsträger Straße zu betrachten. Dabei galt es, die wesentlichen Eingriffs- und Steuerungspotenziale des Systemumfelds sowie das Zusammenspiel der drei Systeme Verkehr und Mobilität, Energie und Informations- und Kommunikationssystem (IKT) im Sinne eines integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems zu identifizieren. Es wurden die komplexen Zusammenhänge am Beispiel von ausgewählten Stressereignissen<sup>20</sup>, die für den Verkehrsträger Straße als besonders risikoreich eingeschätzt werden, in den Blick genommen und darauf aufbauend der Status quo in Baden-Württemberg analysiert. Die identifizierten Lücken dienen hierbei als Ausgangspunkte für die zukünftige Gestaltung eines resilienten elektrifizierten Verkehrs- und Mobilitätssystems in Baden-Württemberg.

Es sollte herausgearbeitet werden, in welcher Weise das Konzept der transformativen Resilienz als strategisches Mindset handlungsleitend für ein Verkehrs- und Mobilitätssystem der Zukunft sein kann. Es zeigte sich, dass es als Konzept geeignet ist, der Komplexität des integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystems analytisch und empirisch gerecht zu werden. Mit der Szenarioanalyse wurden mögliche resiliente Zukünfte des Verkehrs- und Mobilitätssystems in Baden-Württemberg dargestellt und mittels zuvor definierter Resilienz Kriterien wurden normative Szenarien für die Zeithorizonte 2030 und 2040 entwickelt. Auf dieser Basis konnten nicht nur der Status quo der Resilienz in Baden-Württemberg ermittelt, sondern auch konsistente Zukunftsbilder des Verkehrs- und Mobilitätssystems entwickelt werden. Zudem wurde eine Einschätzung getroffen, welche Herausforderungen und Chancen das integrierte Verkehrs- und Mobilitätssystem in Baden-Württemberg mit sich bringt. Hieraus ließen sich verallgemeinerte Handlungsoptionen und Gestaltungsansätze zur Stärkung der Resilienz ableiten.

Mit der Integration der Teilsysteme Energie, IKT und Verkehr wurde analytisch und empirisch Neuland betreten und dabei auf Resilienzanalysen zu den jeweiligen Systemen zurückge-

griffen. Diese Vorgehensweise impliziert eine integrierte Sichtweise und das systemische Zusammendenken komplexer Elemente. Dabei können Modelle und Konzepte die Realität nur in Teilen nachbilden. Die Studie erhebt daher keinen Anspruch auf eine vollständige Durchdringung der systemischen Zusammenhänge. Zumal sie auch „nur“ den Verkehrsträger Straße im Fokus hatte. Zudem bezogen sich die Analysen auf ein Bundesland und es ist zu prüfen, inwieweit das Konzept übertragbar und damit valide ist. Bezugnehmend auf den Verkehrsträger Straße hat sich gezeigt, dass entlang der fünf Handlungsfelder große Potenziale zur Resilienzsteigerung in Baden-Württemberg vorhanden sind. Angesichts der Transformationsherausforderung gibt es jedoch noch viel zu tun, um diese Potenziale zu nutzen und angemessene Maßnahmen umzusetzen, die dem Land gerade mit Blick auf die Automobilwirtschaft eine nachhaltige und resiliente Zukunft sichern.

So resultieren aus der kritischen Betrachtung des Geltungsbereichs der Studie weitere vertiefende Forschungsbedarfe bzw. Fragestellungen, die im Kontext transformativer Resilienz zu beantworten sind. Die Studie beinhaltet explizit weder Wild-Card-Analysen und -Szenarien (Black-out/Brown-out) noch klassische Risikoanalysen. Worst-Case-Analysen wie der Ausfall der Stromversorgung in der sogenannten „All electric Society“, in der Elektrizität die primäre Energieform ist, sind ebenfalls nicht Gegenstand der Untersuchung.

Die hier vorgeschlagenen Handlungsoptionen sind tiefer zu analysieren und konkreter auszuformulieren. Gerade auf der institutionellen Ebene ist es unumgänglich, gemeinsam mit den relevanten Stakeholdern daran zu arbeiten, wie die Vielzahl der Einzelinitiativen und Projekte, die unterschiedlichen Programme und Strategien gebündelt und die beteiligten Institutionen effektiv koordiniert werden können. Wie die Akteure künftig im Kontext der Nachhaltigkeitsbemühungen und der Transformation zu einem integrierten Verkehrs- und Mobilitätssystem miteinander agieren (müssen), muss Gegenstand weiterer Untersuchungen werden. Die erforderlichen Analysen sollten sowohl horizontal die Landesebene als auch vertikal die Abstimmungen zwischen Kommunen, Ländern und dem Bund betreffen. Die Vernetzung und die Kollaboration der Akteure müssen selbst resilient gestaltet werden. In diesem Kontext können beispielsweise auch die Resilienz Kriterien im kommunalen Kontext vertieft operationalisiert werden.

<sup>20</sup> | Cyberattacken, Hochwasserereignisse, Sturmereignisse und Hangrutschungen.



Weitere Forschungsbedarfe tun sich im Bereich der Governance auf – insbesondere bezüglich der Stärkung der sozialen Dimension, explizit der Mobilitätsgerechtigkeit. Letztere spielt gerade in Zeiten des tiefgreifenden Wandels eine elementare Rolle. Haben alle Bürger:innen Zugang zu Mobilität? Wie wirken sich Resilienzmaßnahmen auf diese Zugangsmechanismen aus? Diese Fragen zeigen die noch beträchtliche Forschungslücke: Welche Rolle spielt das Mobilitätsverhalten – eine wesentliche Stellschraube in der Entwicklung eines nachhaltigeren und resilienten Verkehrs- und Mobilitätssystems – im Kontext von Resilienz?

Viel stärker muss die Verschränkung der Transformation der Automobilwirtschaft in Baden-Württemberg mit der Gestaltung transformativer Resilienz erfolgen. Der Strukturwandel dieser Wirtschaftsregion wurde bereits vor geraumer Zeit angegangen und ist für das Bundesland und darüber hinaus existenziell. Auch hier empfiehlt es sich, die relevanten Akteure – insbesondere aus der Automobilwirtschaft – frühzeitig in die Planung und Umsetzung der Strategie zur Erreichung transformativer Resilienz mit einzubeziehen. Die der Automobilwirtschaft eigene Perspektive kann wichtige Impulse, Bedarfe und Vorschläge einbringen, gleichzeitig aber auch auf Herausforderungen für ein resilientes Verkehrs- und Mobilitätssystem hinweisen und so insgesamt zur eigenen Zukunftssicherung beitragen. Darüber hinaus sind die gesellschaftlichen Folgekosten von Resilienzmaßnahmen wie beispielsweise Beschäftigungseffekte bislang nicht konkret untersucht worden.

Als eine der Stärken der vorliegenden Studie wird die enge Verknüpfung mit den konkreten Nachhaltigkeitszielen von Baden-Württemberg eingeschätzt. Hieraus erwachsen jedoch auch weitere analytische Herausforderungen. Wie einleitend ausgeführt, stehen diese Gestaltungsziele in der Praxis in Konkurrenz und müssen immer wieder neu verhandelt werden. Demzufolge müssen die hieraus resultierenden Widersprüchlichkeiten und Paradoxe vertieft untersucht werden, um nicht kontraproduktiv zu agieren. Schließlich sind die Wechselwirkungen und Interdependenzen zwischen Verkehr, Energie und IKT bei weitem noch nicht umfassend analysiert. Mit Blick auf die hohen Vulnerabilitäten, aber auch auf das große Steuerungspotenzial muss der Untersuchungsfokus verstärkt auf den Schnittstellen der Systeme sowie der nachhaltigen wie resilienten Gestaltung des integrierten Gesamtsystems liegen.

Demzufolge gilt es nun, mit einem nachhaltigkeitsorientierten strategischen Mindset der transformativen Resilienz das elektrifizierte Mobilitätssystem in Baden-Württemberg integrativ zukunftsfähig zu gestalten.



## Literaturverzeichnis

acatech, Leopoldina; Akademienunion (2021)

Resilienz digitalisierter Energiesysteme.

Wie können Blackout-Risiken begrenzt werden?

Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung.

<https://www.acatech.de/publikation/rde/>

acatech, Leopoldina; Akademienunion (2020)

Zentrale und dezentrale Elemente im Energiesystem:

Der richtige Mix für eine stabile und nachhaltige Versorgung.

Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung.

[https://www.leopoldina.org/uploads/tx\\_leopublication/2020\\_ESYS\\_Stellungnahme\\_Energiesystem.pdf](https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2020_ESYS_Stellungnahme_Energiesystem.pdf)

AGEB, AG Energiebilanzen e. V. (2021)

Energieflussbild der Bundesrepublik Deutschland 2020.

[https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2021/09/Energieflussbild-2020\\_PJ\\_lang\\_DE\\_20220401.pdf](https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2021/09/Energieflussbild-2020_PJ_lang_DE_20220401.pdf)

Agora Energiewende; Agora Industrie (2022)

12 Thesen zu Wasserstoff: Impuls. [https://static.agora-energie-wende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021\\_11\\_H2\\_Insights/A-EW\\_258\\_12\\_Thesen\\_zu\\_Wasserstoff\\_WEB.pdf](https://static.agora-energie-wende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_11_H2_Insights/A-EW_258_12_Thesen_zu_Wasserstoff_WEB.pdf)

Agora Energiewende; Prognos; Consentec (2022)

Klimaneutrales Stromsystem 2035: Wie der deutsche

Stromsektor bis zum Jahr 2035 klimaneutral werden kann.

Agora Energiewende. [https://static.agora-energie-wende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021\\_11\\_DE\\_KNStrom2035/A-EW\\_264\\_KNStrom2035\\_WEB.pdf](https://static.agora-energie-wende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_11_DE_KNStrom2035/A-EW_264_KNStrom2035_WEB.pdf)

Agora Verkehrswende (2023)

Gesteuertes Laden. Warum es sich lohnt, beim Laden von

Elektrofahrzeugen auf Stromangebot und Netzauslastung zu

achten. Analyse. [https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2023/Gesteuertes-Laden/97\\_Analyse-Gesteuertes\\_Laden.pdf](https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2023/Gesteuertes-Laden/97_Analyse-Gesteuertes_Laden.pdf)

Agora Verkehrswende (2023a)

Gesteuertes Laden – kurz erklärt. Warum es sich lohnt, beim Laden von Elektrofahrzeugen auf Stromangebot und

Netzauslastung zu achten. Faktenblatt. [https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2023/Gesteuertes-Laden/96\\_Faktenblatt-gesteuertes-Laden.pdf](https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2023/Gesteuertes-Laden/96_Faktenblatt-gesteuertes-Laden.pdf)

Agora Verkehrswende (2022)

Elektro-Lkw schneller auf die Straße bringen. Schlussfolgerungen von Agora Verkehrswende in Kooperation mit T&E

auf Basis einer Studie von TNO. Agora Verkehrswende;

Transport and Environment. [https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Veranstaltungen/2022/Elektrische-Lkw/Elektro-Lkw\\_Agora-Schlussfolgerungen\\_20221012.pdf](https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Veranstaltungen/2022/Elektrische-Lkw/Elektro-Lkw_Agora-Schlussfolgerungen_20221012.pdf)

Agora Verkehrswende (2017)

Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern:

12 Thesen zur Verkehrswende. [https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2017/12\\_Thesen/Agora-Verkehrswende-12-Thesen\\_WEB.pdf](https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2017/12_Thesen/Agora-Verkehrswende-12-Thesen_WEB.pdf)

Agora Verkehrswende, Agora Energiewende; Regulatory Assistance Project (2019)

Verteilnetzausbau für die Energiewende – Elektromobilität

im Fokus. [https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2019/EV-Grid/Agora-Verkehrswende\\_Agora-Energiewende\\_EV-Grid\\_WEB.pdf](https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2019/EV-Grid/Agora-Verkehrswende_Agora-Energiewende_EV-Grid_WEB.pdf)

Baecker, D. (2007)

Studien zur nächsten Gesellschaft. 5. Auflage. Suhrkamp

Verlag. DOI: 978-3-518-29456-7.

BAST, Bundesamt für Straßenwesen (2023)

Verkehrsbarometer 2023: Entwicklung des Straßenverkehrs auf Bundesfernstraßen nach Monaten. 28.03.2023.

<https://www.bast.de/DE/Statistik/Verkehrsdaten/Verkehrsbarometer-2023.pdf;jsessionid=D1262DD3CF8F9566D13B3F83DEC3A603>

[live21321?\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bast.de/DE/Statistik/Verkehrsdaten/Verkehrsbarometer-2023.pdf;jsessionid=D1262DD3CF8F9566D13B3F83DEC3A603.live21321?_blob=publicationFile&v=5)

BAST, Bundesamt für Straßenwesen (2022)  
Verkehrsbarometer: Monatliche Entwicklungen des Straßenverkehrs auf Bundesfernstraßen und Auswirkungen der Corona-Pandemie. <https://www.bast.de/DE/Statistik/Verkehrsdaten/Verkehrsbarometer.html>

BAST, Bundesamt für Straßenwesen (Hrsg.) (2012)  
Abschätzung der Risiken von Hang- und Böschungsrutschungen durch die Zunahme von Extremwetterereignissen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Straßenbau, Heft S. 75. <https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/531/file/S75b.pdf>

BBK, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2023)  
Kritische Infrastrukturen. [https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/kritische-infrastrukturen\\_node.html](https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/kritische-infrastrukturen_node.html)

BBK, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2023a)  
Sektoren und Branchen KRITIS. [https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/Sektoren-Branchen/sectoren-branchen\\_node.html](https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/Sektoren-Branchen/sectoren-branchen_node.html)

BBK, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2023b)  
Naturgefahr: Hochwasser. [https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Risikomanagement/Baulicher-Bevoelkerungsschutz/Schutz-vor-Naturgefahren/Hochwasser/hochwasser\\_node.html](https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Risikomanagement/Baulicher-Bevoelkerungsschutz/Schutz-vor-Naturgefahren/Hochwasser/hochwasser_node.html)

BBK, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2023c)  
Naturgefahr: Sturm. [https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Risikomanagement/Baulicher-Bevoelkerungsschutz/Schutz-vor-Naturgefahren/Sturm/sturm\\_node.html](https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Risikomanagement/Baulicher-Bevoelkerungsschutz/Schutz-vor-Naturgefahren/Sturm/sturm_node.html)

BBK, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2023d)  
Geologische Gefahr: Hangrutschungen. [https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Risikomanagement/Baulicher-Bevoelkerungsschutz/Schutz-vor-geologischen-Gefahren/Hangrutschung/hangrutschung\\_node.html](https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Risikomanagement/Baulicher-Bevoelkerungsschutz/Schutz-vor-geologischen-Gefahren/Hangrutschung/hangrutschung_node.html)

BBK, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.) (2009)  
Vulnerabilität Kritischer Infrastrukturen. Forschung im Bevölkerungsschutz. Forschung im Bevölkerungsschutz, Band 4. <https://repository.publisso.de/resource/fri:6401770/data>

BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2013)  
Robustheit des Verkehrssystems. BBSR-Analysen KOMPAKT. [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2013/DL\\_11\\_2013.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2013/DL_11_2013.pdf?__blob=publicationFile&v=1)

BCS, Bundesverband Carsharing (2022)  
CarSharing-Förderkonzept für Baden-Württemberg. Vorstellung des Förderkonzepts Carsharing BaWü am 22.09.2022.

BDEW, Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2019)  
Netzintegration privater Ladeinfrastruktur. Ergebnisse einer BDEW-Umfrage zur Meldung von privater Ladeinfrastruktur an Netzbetreiber. Berlin, August 2019. [https://www.bdew.de/media/documents/Awh\\_20190820\\_Netzintegration-privater-Ladeinfrastruktur\\_mse1Rq4.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/Awh_20190820_Netzintegration-privater-Ladeinfrastruktur_mse1Rq4.pdf)

BDEW, Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2019a)  
Intelligente Netze für Elektromobilität. <https://www.bdew.de/energie/elektromobilitaet-dossier/intelligente-netze-fuer-elektromobilitaet/>

BDEW, Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2017)

Positionspapier – Elektromobilität braucht Netzinfrastruktur: Netzanschluss und -integration von Elektromobilität. Berlin. Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft e.V. [https://www.bdew.de/media/documents/Stn\\_20170615\\_Netzintegration-Elektromobilitaet.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/Stn_20170615_Netzintegration-Elektromobilitaet.pdf)

Beer, F.; Rammler, S. (2021)

Zwischen den Zeitenwenden. Transformative Resilienz als Leitbild der Zukunftsgestaltung. In Resiliente Zukünfte. Mut zum Wandel. Oekom Verlag. [https://www.oekom.de/files\\_media/zeitschriften/artikel/POE\\_2021\\_03\\_17.pdf](https://www.oekom.de/files_media/zeitschriften/artikel/POE_2021_03_17.pdf)

Behrendt, S. (2022)

Neue Krisen: Prospektive Analyse von Gefahren mit hohem Krisenpotenzial. Unveröffentlichtes Manuskript.

Benedikter, R.; Fathi, K. (2013)

Was ist eine resiliente Gesellschaft? Plädoyer für ein Konzept sozialer Zukunftssicherung in Krisenzeiten. In: Forschungsjournal Soziale Bewegungen, 26. Jg. 2/2013. Lucius & Lucius, Stuttgart.

Bertram, M.; Bongard, S. (2014)

Elektromobilität im motorisierten Individualverkehr: Grundlagen, Einflussfaktoren und Wirtschaftlichkeitsvergleich. Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint; Springer Vieweg.

Bitkom (2022)

Wirtschaftsschutz 2022. Berlin, 31.08.2022. [https://www.bitkom.org/sites/main/files/2022-08/Bitkom-Charts\\_Wirtschaftsschutz\\_Cybercrime\\_31.08.2022.pdf](https://www.bitkom.org/sites/main/files/2022-08/Bitkom-Charts_Wirtschaftsschutz_Cybercrime_31.08.2022.pdf)

BMDV, Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.) (2021)

Verkehr in Zahlen 2021/2022: 50. Jahrgang. <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2021-2022-pdf>

BMDV, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2016)

Das BMVI-Expertennetzwerk „Wissen – Können – Handeln“. Synthesebericht zur Forschungsphase 2016–2019. Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI-Expertennetzwerk Wissen – Können – Handeln)

BMI, Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (2022)

Deutsche Strategie zur Stärkung der Resilienz gegenüber Katastrophen. Umsetzung des Sendai Rahmenwerks für Katastrophenvorsorge (2015–2030) – Der Beitrag Deutschlands 2022–2030. Bundesministerium des Innern und für Heimat. Berlin. [https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bevoelkerungsschutz/BMI22017-resilienz-katastrophen.pdf;jsessionid=7656E4D85572A68C30293257DF4D3C64.1\\_cid322?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bevoelkerungsschutz/BMI22017-resilienz-katastrophen.pdf;jsessionid=7656E4D85572A68C30293257DF4D3C64.1_cid322?__blob=publicationFile&v=2)

BMI, Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (2022a)

Eckpunkte für das KRITIS-Dach gesetzt. G7 Germany 2022. [https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/nachrichten/2022/eckpunkte-kritis.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/nachrichten/2022/eckpunkte-kritis.pdf?__blob=publicationFile&v=1)

BNetzA, Bundesnetzagentur (2023)

Ladeinfrastruktur in Zahlen: Stand 1. Mai 2023. [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/E\\_Mobilitaet/Ladesaeuleninfrastruktur.html](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/E_Mobilitaet/Ladesaeuleninfrastruktur.html)

BNetzA, Bundesnetzagentur (2022)

Ladeinfrastruktur in Zahlen: Stand 1. August 2022. [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/E\\_Mobilitaet/Ladesaeuleninfrastruktur.xlsx?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/E_Mobilitaet/Ladesaeuleninfrastruktur.xlsx?__blob=publicationFile&v=3)

BNetzA, Bundesnetzagentur (2022a)

Genehmigung des Szenariorahmens 2023–2037/2045: Bedarfsermittlung 2023–2037/2045. Juli 2022. [https://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/Bedarfsermittlung/2037/SR/Szenariorahmen\\_2037\\_Genehmigung.pdf;jsessionid=386D063CFFA5A0660628639A67FD209C?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/Bedarfsermittlung/2037/SR/Szenariorahmen_2037_Genehmigung.pdf;jsessionid=386D063CFFA5A0660628639A67FD209C?__blob=publicationFile)

BNN, Badische Neueste Nachrichten (2022)

Regen sorgt für Hangrutsche und Überschwemmungen im AlbtaI. Schäden in Bad Herrenalb und Marxzell. <https://bnn.de/karlsruhe/ettlingen/bad-herrenalb/regen-sorgt-fuer-hangrutsche-und-uberschwemmungen-im-albtal>

Brinkmann, H.; Heinemann F.; Harendt, C.; Nover, J. (2017)  
 Ökonomische Resilienz – Schlüsselbegriff für ein neues  
 wirtschaftspolitisches Leitbild? Wirtschaftsdienst.  
 Zeitschrift für Wirtschaftspolitik. 97. Jahrgang, Heft 9,  
 S. 644–650. <https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2017/heft/9/beitrag/oekonomische-resilienz-schluesel-begriff-fuer-ein-neues-wirtschaftspolitisches-leitbild.html>

Bröckling, U. (2012)  
 Dispositive der Vorbeugung: Gefahrenabwehr, Resilienz,  
 Precaution. [https://zeithistorische-forschungen.de/sites/default/files/medien/material/2013-3/Broeckling\\_2012.pdf](https://zeithistorische-forschungen.de/sites/default/files/medien/material/2013-3/Broeckling_2012.pdf)

BSI, Bundesamt für Sicherheit in der  
 Informationstechnik (2023)  
 Redundanz – Modularität – Skalierbarkeit. <https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Informationen-und-Empfehlungen/Empfehlungen-nach-Angriffszielen/Hochverfuegbarkeit/Redundanz-Modularitaet-Skalierbarkeit/Redundanz-Modularitaet-Skalierbarkeit.html>

BSI, Bundesamt für Sicherheit in der  
 Informationstechnik (2022)  
 Die Lage der IT-Sicherheit in Deutschland 2022.  
[https://www.bsi.bund.de/DE/Service-Navi/Publikationen/Lagebericht/lagebericht\\_node.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Service-Navi/Publikationen/Lagebericht/lagebericht_node.html)

Bundesregierung (2023)  
 Ausbau erneuerbarer Energien massiv beschleunigen:  
 EEG 2023. Pressemitteilung. Mittwoch, 1. März 2023.  
<https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/novelle-ee-gesetz-2023-2023972>

Bundesregierung (2022)  
 Nicht weniger fortbewegen, sondern anders. Nachhaltige  
 Mobilität. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/eenergie-und-mobilitaet/nachhaltige-mobilitaet-2044132>

Bündnis 90/Die Grünen Baden-Württemberg;  
 CDU Baden-Württemberg (2021)  
 Jetzt für morgen. Der Erneuerungsvertrag für  
 Baden-Württemberg. Koalitionsvertrag 2021–2026, Bündnis  
 90/Die Grünen BW und CDU BW. [https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/dateien/PDF/210506\\_Koalitionsvertrag\\_2021-2026.pdf](https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/dateien/PDF/210506_Koalitionsvertrag_2021-2026.pdf)

bwegt (2023)  
 Der bwtarif: verbundübergreifend durch BaWü.  
 Alle Infos zum bwtarif. <https://www.bwegt.de/tickets-angebote/bwtarif>

Canzler, W.; Knie, A. (1998)  
 Möglichkeitsräume: Grundrisse einer modernen Mobilitäts-  
 und Verkehrspolitik. Verlag Böhlau.

civity (2020)  
 ÖPNV-Report Baden-Württemberg 2020 – Vergleichende  
 Analyse des ÖPNV und Ableitung von Potenzialen und  
 Handlungsempfehlungen: Ergebnisbericht – Langfassung.  
 civity; Management Consultants. [https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/%C3%96PNV\\_Report\\_Baden-W%C3%BCrttemberg\\_2020\\_%E2%80%93\\_Ergebnisbericht\\_-\\_Langfassung\\_M-Version\\_.pdf](https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/%C3%96PNV_Report_Baden-W%C3%BCrttemberg_2020_%E2%80%93_Ergebnisbericht_-_Langfassung_M-Version_.pdf)

Cyber Valley (2022)  
 Europas größtes KI-Forschungskonsortium.  
<https://cyber-valley.de/>

Dashboard Digitale Infrastruktur (2023)  
 Breitband Echtzeiten. Die digitale Infrastruktur in  
 Baden-Württemberg. Versorgung und Förderung.  
<https://digital-laend.de/breitband/#dashboard>

dena, Deutsche Energieagentur (2020)  
 Privates Ladeinfrastrukturpotenzial in Deutschland.  
 Herausforderungen bei der Entwicklung der privaten  
 Ladeinfrastruktur zur Beschleunigung des Markthochlaufs  
 der Elektromobilität in Deutschland. dena Studie.  
[https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2020/dena-STUDIE\\_Privates\\_Ladeinfrastrukturpotenzial\\_in\\_Deutschland.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2020/dena-STUDIE_Privates_Ladeinfrastrukturpotenzial_in_Deutschland.pdf)

DLR; IMU Institut; bridging IT (2019)  
 Strukturstudie BW e-mobil 2019: Transformation  
 durch Elektromobilität und Perspektiven der Digitalisierung.  
 Kurzfassung. DLR Deutsches Zentrum für Luft- und  
 Raumfahrt e.V.; IMU Institut; bridging IT.  
<https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Strukturstudie-Summary.pdf>

Edwards, C. (2009)

Resilient Nation. Demos. London. [https://demos.co.uk/wp-content/uploads/2023/03/Resilient\\_Nation\\_-\\_web-1.pdf](https://demos.co.uk/wp-content/uploads/2023/03/Resilient_Nation_-_web-1.pdf)

e-mobil BW (2023)

e-mobil BW Datenmonitor Dezember 2022. [https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Datenmonitor\\_Dezember\\_2022.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Datenmonitor_Dezember_2022.pdf)

e-mobil BW (2023a)

e-mobil BW Datenmonitor April 2023. [https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Broschueren/e-mobil\\_BW\\_Datenmonitor\\_April\\_2022.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Broschueren/e-mobil_BW_Datenmonitor_April_2022.pdf)

e-mobil BW (2023b)

Factsheet Bidirektionales Laden. Voraussetzungen, Anwendungsfälle, Ausblick. [https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Broschueren/Factsheet\\_Bidirektionales\\_Laden.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Broschueren/Factsheet_Bidirektionales_Laden.pdf)

e-mobil BW (2023c)

H2Rhein-Neckar: Spatenstich für Betriebshof mit H<sub>2</sub>-Tankstelle. Pressemitteilung. <https://www.e-mobilbw.de/service/meldungen-detail/h2rhein-neckar-spatenstich-fuer-betriebshof-mit-h2-tankstelle>

e-mobil BW (2022)

e-mobil BW Datenmonitor April 2022. [https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Broschueren/e-mobil\\_BW\\_Datenmonitor\\_April\\_2022.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Broschueren/e-mobil_BW_Datenmonitor_April_2022.pdf)

e-mobil BW (2022a)

E-Fahrzeuge als Ladebooster dank bidirektionalem Laden. Elektromobilität. Pressemeldung. 01.02.2022. <https://www.e-mobilbw.de/service/meldungen-detail/e-fahrzeuge-als-ladebooster-dank-bidirektionalem-laden>

e-mobil BW (2022b)

PiLaTes: Pilotinfrastruktur für H<sub>2</sub>- und BEV-Lkw: Ladeinfrastruktur. 10.08.2022. Pressemitteilung. <https://www.e-mobilbw.de/service/meldungen-detail/pilates-pilotinfrastruktur-fuer-h2-und-bev-lkw%20>

Erler, J.; Hancke, T.; Wnuck Lipinski, J. (2023)

Mobilität der Zukunft. Energie und Verkehr zusammen denken. Interview von Evelyn Stahl. DLR-Projektträger. [https://projekttraeger.dlr.de/de/themen/mobilitaet-der-zukunft-energie-und-verkehr-zusammen-denken?pk\\_campaign=top-thema&pk\\_kwd=eu-verbrenneraus&pk\\_source=press](https://projekttraeger.dlr.de/de/themen/mobilitaet-der-zukunft-energie-und-verkehr-zusammen-denken?pk_campaign=top-thema&pk_kwd=eu-verbrenneraus&pk_source=press)

EU, Europäische Union (2021)

Instrumentarium für die Cybersicherheit im Verkehrssektor. Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union. [https://transport.ec.europa.eu/system/files/2021-10/cybersecurity-toolkit\\_de.pdf](https://transport.ec.europa.eu/system/files/2021-10/cybersecurity-toolkit_de.pdf)

Europäische Kommission (Hrsg.) (2022)

Recovery and Resilience Facility. [https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/recovery-corona-virus/recovery-and-resilience-facility\\_en](https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/recovery-corona-virus/recovery-and-resilience-facility_en)

Europäische Kommission (2020)

Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität: Den Verkehr in Europa auf Zukunftskurs bringen. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Brüssel, 09.12.2020. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5e601657-3b06-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0003.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5e601657-3b06-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF)

FAZ (2017)

Weltweite Cyberattacke trifft Computer der Deutschen Bahn. Hacker-Angriff. Frankfurter Allgemeine. <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/hacker-angriff-weltweite-cyberattacke-trifft-computer-der-deutschen-bahn-15013583.html>

FIS, Forschungs-Informationssystem (2023)

Gesellschaftliche und individuelle Bedrohung. <https://fis.server.de/servlet/is/472543/?clsld0=276673&clsld1=276675&clsld2=276966&clsld3=0>

FIS, Forschungs-Informationssystem (2022)

Technische Systeme als Voraussetzung für automatisiertes und vernetztes Fahren. <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/502753/>

FIS, Forschungs-Informationssystem (2022a)

Infrastrukturschäden durch den Straßengüterverkehr.  
<https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/39816/>

Fokusgruppe Intelligente Mobilität (2017)

Roadmap Intelligente Mobilität. Empfehlungen für einen Handlungsplan. <http://roadmap-intelligente-mobilitaet.de/>

Forst BW (2023)

Geo-Daten. Forst Baden-Württemberg. <https://www.forstbw.de/produkte-angebote/geo-daten/>

G7 (2022)

2022 Resilient Democracies Statement. <https://www.g7germany.de/resource/blob/974430/2057608/61edf594f-5ca30fb7b2ae4b79d16f1e6/2022-06-27-g7-resilient-democracies-statement-data.pdf?download=1>

Gigabit Grundbuch (2022)

Mobilfunk-Monitoring Baden-Württemberg: Flächenversorgung nach Bundesland. Juli 2022.  
<https://gigabitgrundbuch.bund.de/GIGA/DE/MobilfunkMonitoring/Downloads/start.html>

Gigabitbüro des Bundes (2023)

Glossar. <https://gigabitbuero.de/glossar/>

Gordon, D.; Cole, M. (2021)

Come what may: Resilienz im vernetzten Mobilitätssystem. Whitepaper. <https://www.bayern-innovativ.de/de/seite/whitepaper-resilienz-im-vernetzten-mobilitaetssystem>

Großklaus, M. (2022)

Vom Modewort zum transformativen Hebel. Technical Report. Positionspapier 11, CO:DINA, Berlin, Germany. [https://codina-transformation.de/wp-content/uploads/CODINA\\_Positionspapier-11\\_Transformative-Resilienz.pdf](https://codina-transformation.de/wp-content/uploads/CODINA_Positionspapier-11_Transformative-Resilienz.pdf)

H2 Mobility (2022)

H2 Mobility erhält 110 Millionen Euro für Ausbau von deutschem Wasserstoff-Tanknetz. Ecomento. <https://ecomento.de/2022/03/30/h2-mobility-110-millionen-euro-fuer-ausbau-von-deutschem-wasserstoff-tanknetz/>

Hafner, S., Hehn, N.; Miosga, M. (2019)

Resilienz und Landentwicklung. Pfadwechsel: Vitalität und Anpassungsfähigkeit in ländlichen Kommunen stärken. Kurzfassung. [https://www.stmelf.bayern.de/mam/cms01/landentwicklung/dokumentationen/dateien/resilienz\\_und\\_landentwicklung.pdf](https://www.stmelf.bayern.de/mam/cms01/landentwicklung/dokumentationen/dateien/resilienz_und_landentwicklung.pdf)

Hänsel, S., Herrmann, C., Jochumsen, K., Klose, M., Nilson, E., Norpoth, M., Patzwahl, R.; Seiffert, R. (2020)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. [https://www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de/DE/Publikationen/TFSPtBerichte/TF1\\_3Auflage.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de/DE/Publikationen/TFSPtBerichte/TF1_3Auflage.pdf?__blob=publicationFile&v=5)

Haug, G. H., Spath, D.; Hatt, H. (2021)

Resilienz digitalisierter Energiesysteme: Wie können Blackout-Risiken begrenzt werden? Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V. – Nationale Akademie der Wissenschaften; acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.; Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V. <https://www.acatech.de/publikation/rde/download-pdf?lang=de>

Heinen, K. (2022)

70 Jahre Verkehr in Baden-Württemberg. Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg Nr. 3.

Hochwasser BW (2023)

Strategie zum Umgang mit Hochwasser in Baden-Württemberg. Erfordernisse zur Verringerung von Risiken bei Hochwasser- und Starkregenereignissen. Hochwasser Risikomanagement Baden-Württemberg. <https://www.hochwasser.baden-wuerttemberg.de/documents/20122/39136/Strategie-zum-Umgang-mit-Hochwasser-in-BW.pdf>

IEKK (2014)

Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg (IEKK): Stand 15. Juli 2014. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (Hrsg.). [https://www.energieatlas-bw.de/documents/24384/24483/integriertes\\_Energie\\_und\\_Klimaschutzkonzept\\_BW/237b8fd3-85d0-4444-9287-f35124add081](https://www.energieatlas-bw.de/documents/24384/24483/integriertes_Energie_und_Klimaschutzkonzept_BW/237b8fd3-85d0-4444-9287-f35124add081)

IM BW, Ministerium des Inneren, für Digitalisierung und Kommunen Baden-Württemberg (2023)

Breitbandbilanz 2022. <https://im.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse-und-oeffentlichkeitsarbeit/pressemitteilung/pid/breitbandbilanz-2022>

IM BW, Ministerium des Inneren, für Digitalisierung und Kommunen Baden-Württemberg (2023a)

Cybersicherheitsagentur Baden-Württemberg. Sicherheit im Digitalen Raum. <https://im.baden-wuerttemberg.de/de/digitalisierung/cybersicherheitsagentur>

IM BW, Ministerium des Inneren, für Digitalisierung und Kommunen Baden-Württemberg (2022)

Die Digitalisierungsstrategie im Überblick. <https://im.baden-wuerttemberg.de/de/digitalisierung/digitalisierungsstrategie/strategie-im-ueberblick>

IM BW, Ministerium des Inneren, für Digitalisierung und Kommunen Baden-Württemberg (2022a)

Digitalisierungsstrategie der Landesregierung Baden-Württemberg. <https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/dateien/PDF/Digitalisierungsstrategie-BW.pdf>

IM BW, Ministerium des Inneren, für Digitalisierung und Kommunen Baden-Württemberg (2021)

Cybersicherheitsstrategie Baden-Württemberg: Perspektive 2026. <https://digital-laend.de/wp-content/uploads/2023/01/Cybersicherheitsstrategie-BW-%E2%80%93-Perspektive-2026-Dezember-2021.pdf>

infas (2018)

Tabellarische Grundauswertung Baden-Württemberg: Mobilität in Deutschland. [https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/MiD2017\\_Baden-Wuerttemberg.pdf](https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/MiD2017_Baden-Wuerttemberg.pdf)

infas (2018a)

Ergebnistelegamm Baden-Württemberg: September 2018. Mobilität in Deutschland. [https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/MiD\\_2017\\_BW\\_Ergebnistelegamm\\_BW.pdf](https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/MiD_2017_BW_Ergebnistelegamm_BW.pdf)

infas (2018b)

Ergebnisbericht: Mobilität in Deutschland – MiD. [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/mid-ergebnisbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/mid-ergebnisbericht.pdf?__blob=publicationFile)

Kagermann, H.; Süssenguth, F.; Körner, J.;

Liepold, A.; Behrens, J. H. (2021)

Resilienz als wirtschafts- und innovationspolitisches Gestaltungsziel (acatech IMPULS), München 2021.

KBA, Kraftfahrt-Bundesamt (2023)

Bestand nach Zulassungsbezirken: FZ 1. Produkte der Statistik. [https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz1\\_b\\_uebersicht.html?nn=3514348](https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz1_b_uebersicht.html?nn=3514348)

KBA, Kraftfahrt-Bundesamt (2023a)

Bestand nach ausgewählten Merkmalen: FZ 27. Produkte der Statistik. [https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz27\\_b\\_uebersicht.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz27_b_uebersicht.html)

Kemmler, A.; Wünsch, A.; Burret, H. (2021)

Entwicklung des Bruttostromverbrauchs bis 2030: Berechnungsergebnisse aus dem Szenario 1. Kurzpapier. Prognos; Fraunhofer ISI; Öko-Institut e.V. [https://www.prognos.com/sites/default/files/2021-11/20211116\\_Kurzpaper\\_Bruttostromverbrauch2018-2030.pdf](https://www.prognos.com/sites/default/files/2021-11/20211116_Kurzpaper_Bruttostromverbrauch2018-2030.pdf)

Klaas, K. (2021)

Mobilität von Frauen für Frauen: Warum eine ökologische Verkehrswende auch feministisch sein muss: Soziale Aspekte der Verkehrswende. VCD Verkehrsclub Deutschland e.V. <https://www.vcd.org/artikel/feministische-verkehrspolitik%20/>

Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz

Baden-Württemberg vom 7. Februar 2023 (2023)

<https://www.landesrecht-bw.de/jportal/jsessionid=5B041608E1C2EFFD84B5CCACAE3D7F04.jp81?quelle=jlink&query=KlimaSchG+BW&psml=bsbawueprod.psml&max=true&aiz=true#jlr-KlimaSchGBW2023pP21>

Klingler, A. L.; Schnabel, F.; Groos, U.; Hebling, C.;

Schaadt, A.; Smolinka, T.; Döscher, H.; Kimpeler, S.;

Wietschel, M.; Dönitz, E.; Neuwirth, M. (2020)

Wasserstoff-Roadmap Baden-Württemberg: Klimaschutz und Wertschöpfung kombinieren. Fraunhofer ISI.

KLIWA, Klimaveränderung und Wasserwirtschaft (2021)

Monitoringbericht 2021. Klimawandel in Süddeutschland. Veränderungen von meteorologischen und hydrologischen Kenngrößen. Klimamonitoring im Rahmen der Kooperation KLIWA. Arbeitskreis KLIWA (Hrsg.). [https://www.kliwa.de/download/KLIWA\\_Monitoringbericht\\_2021.pdf](https://www.kliwa.de/download/KLIWA_Monitoringbericht_2021.pdf)



KLIWA, Klimaveränderung und Wasserrwirtschaft (2016)  
Monitoringbericht 2016. Klimawandel in Süddeutschland.  
Veränderungen von meteorologischen und hydrologischen  
Kenngrößen. Klimamonitoring im Rahmen der Kooperation  
KLIWA. Arbeitskreis KLIWA (Hrsg.). [https://www.kliwa.de/download/KLIWA\\_Monitoringbericht\\_2016.pdf](https://www.kliwa.de/download/KLIWA_Monitoringbericht_2016.pdf)

Koska, T.; Jansen, U.; Reutter, O.; Schäfer-Sparenberg, C.;  
Spitzner, M.; Ulrich, A. (2020)  
Praxis kommunaler Verkehrswende: Ein Leitfaden (Schriften  
zur Ökologie).

Landesfrauenrat (2021)  
Pressemitteilung des Landesfrauenrates Baden-Württem-  
berg zum Equal Care Day am 1. März 2021. Landesfrauenrat  
Baden-Württemberg. <https://www.lfrbw.de/2021/03/pressemitteilung-des-landesfrauenrates-baden-wuerttemberg-zum-equal-care-day-am-1-maerz-2021/>

LGRB, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und  
Bergbau (2023)  
Hangrutschungen (Rutschungen). Massenbewegungen.  
LGRB Wissen. <https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/ingenieurgeologie/massenbewegungen/hangrutschungen-rutschen>

Lohrengel, A.-F.; Brendel, C.; Herrmann, C.; Kirsten, J.;  
Forbriger, M.; Klose, M.; Stube, K. (2020)  
Klimawirkungsanalyse des Bundesverkehrssystems im  
Kontext gravitativer Massenbewegungen – Schlussbericht  
des Schwerpunktthemas Hangrutschungen (SP-105) im  
Themenfeld 1 des BMVI-Expertenetzwerks.  
[https://www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de/DE/Publikationen/TFSPTRichte/SPT105.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de/DE/Publikationen/TFSPTRichte/SPT105.pdf?__blob=publicationFile&v=6)

LUBW, Landesanstalt für Umwelt  
Baden-Württemberg (2022)  
Tief- und Überflutungsgebiete. Daten- und Kartendienste  
der LUBW. <https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/pages/home/index.xhtml>

LUBW, Landesanstalt für Umwelt  
Baden-Württemberg (2019)  
Kommunales Starkregenrisikomanagement.  
Anhang 6 – Risikoanalyse. Stand November 2019.

Meyer, C.; Brunekreeft, G. (2021)  
Resilienz digitalisierter Energiesysteme. Blackout-Risiken  
verstehen, Stromversorgung sicher gestalten Analyse des  
Akademienprojekts „Energiesysteme der Zukunft“.  
[https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/PDFs/ESYS\\_Analyse\\_Digitalisierung.pdf](https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/PDFs/ESYS_Analyse_Digitalisierung.pdf)

Mutzbauer, J. (2022)  
84 Prozent der Unternehmen sind von Cyberattacken  
betroffen. CSO Deutschland. <https://www.csoonline.com/de/a/84-prozent-der-unternehmen-sind-von-cyberattacken-betroffen,3674133>

Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (2023)  
Ladeinfrastruktur nach 2025/2030: Szenarien für den  
Markthochlauf. Studie im Auftrag des BMVI.  
[https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/11/Studie\\_Ladeinfrastruktur-nach-2025-2.pdf](https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/11/Studie_Ladeinfrastruktur-nach-2025-2.pdf)

Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (2022)  
Öffentliche Ladeinfrastruktur: Report der Nationalen  
Leitstelle Ladeinfrastruktur. Juli 2022. [https://nationale-leitstelle.de/wp-content/uploads/2022/09/oeLIS\\_Report\\_2022\\_Juli.pdf](https://nationale-leitstelle.de/wp-content/uploads/2022/09/oeLIS_Report_2022_Juli.pdf)

Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (2020)  
BMDV-Förderlandschaft Ladeinfrastruktur im Alltag.  
Stand Mai 2023. [https://nationale-leitstelle.de/wp-content/uploads/2023/06/Fo%CC%88rderlandschaft-DE\\_Stand\\_Mai23.png](https://nationale-leitstelle.de/wp-content/uploads/2023/06/Fo%CC%88rderlandschaft-DE_Stand_Mai23.png)

Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (2020a)  
Ladeinfrastruktur nach 2025/2030: Szenarien für den  
Markthochlauf. <https://nationale-leitstelle.de/wp-content/pdf/broschuere-lis-2025-2030-final.pdf>

Norf, C. (2020)  
Vulnerabilität und Resilienz als Trends der Risikoforschung.  
Eine Rekonstruktion ihrer quantitativen und qualitativen  
Entwicklung und Verbreitung in der Risikoforschung und in  
ihren Perspektiven von 1973 bis 2017 auf der Basis einer  
disziplinübergreifenden Internetanalyse. Hg. v. Fakultät  
Wirtschafts- und Sozialwissenschaften der Universität  
Stuttgart. Stuttgart.

NOW (2023)

Auswertungen KBA-Zahlen: Dezember 2022. NOW.  
[https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2023/01/KBA\\_Report\\_12-2022.pdf](https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2023/01/KBA_Report_12-2022.pdf)

NOW (2023a)

Datenfinder: Neuzulassungen nach Fahrzeugklassen.  
Neuzulassungen für Pkw, Lkw und Bus mit alternativen Antrieben. NOW. <https://www.now-gmbh.de/datenfinder/neuzulassungen-pkw-lkw-bus-zugmaschinen/>

NOW (2022)

Auswertung KBA-Zahlen: Oktober 2022.  
[https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2022/11/KBA\\_Report\\_10-2022.pdf](https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2022/11/KBA_Report_10-2022.pdf)

NPM, Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2020)  
Factsheet „Vehicle to Grid“ – Kundennutzen und Netzintegration. Berlin. [https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/10/201012\\_NPM\\_AG5\\_V2G\\_final.pdf](https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/10/201012_NPM_AG5_V2G_final.pdf)

OECD (2021)

Building resilience: New strategies for strengthening infrastructure resilience and maintenance (OECD Public Governance Policy Papers No. 5).  
<https://doi.org/10.1787/14e1c5e8-en-fr>

Olsson, L.; Jerneck, A.; Thoren, H.; Persson, J.; O'Byrne, D. (2015)  
Why resilience is unappealing to social science: Theoretical and empirical investigations of the scientific use of resilience. In: Science Advances 1 (4), 1-11. DOI: 10.1126/sciadv.1400217

Plattform H2BW (2023)

Wasserstoff für Baden-Württemberg. Landesweite konzertierte Aktion zur H<sub>2</sub>-Bedarfsermittlung als Basis für eine zukunftssteife Infrastrukturplanung.  
<https://www.plattform-h2bw.de/h2-bedarf>

Plattform H2BW (2021)

Wasserstoffland Baden-Württemberg: Große Potenziale für den führenden Industrie- und Technologiestandort.  
[https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Broschueren/Wasserstoffland\\_Baden-Wuerttemberg\\_Plattform\\_H2BW.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Broschueren/Wasserstoffland_Baden-Wuerttemberg_Plattform_H2BW.pdf)

Plattform H2BW; ZSW;

Strategiedialog Automobilwirtschaft BW (2023)  
Ergebnisse des Fachdialogs Wasserstoffinfrastruktur. Juni 2023. [https://www.plattform-h2bw.de/fileadmin/media/Publikationen/Ergebnisse\\_aus\\_dem\\_Fachdialog\\_Wasserstoffinfrastruktur\\_Mai\\_2023\\_nicht\\_barrierefrei.pdf](https://www.plattform-h2bw.de/fileadmin/media/Publikationen/Ergebnisse_aus_dem_Fachdialog_Wasserstoffinfrastruktur_Mai_2023_nicht_barrierefrei.pdf)

Plöger, J.; Lang, T. (2013)

Resilienz als Krisenfestigkeit: Zur Anpassung von Bremen und Leipzig an den wirtschaftlichen Strukturwandel. In: Informationen zur Raumentwicklung, Heft 4.2013.

Plötz, P.; Gnann, T.; Wietschel, M.; Kluschke, P.; Doll, C.; Hacker, F.; Blanck, R.; Kühnel, S.; Jöhrens, J.; Helms, H.; Lambrecht, U.; Dünnebeil, F. (2018)  
Alternative Antriebe und Kraftstoffe im Straßengüterverkehr – Handlungsempfehlungen für Deutschland. Öko-Institute. V.; ifeu; Fraunhofer ISI.

Porter, M. (1979)

How competitive forces shape strategy, Harvard Business Review, 57 (2), S. 137–145.

Prognos (2022)

Wasserstoffbedarf und -Erzeugungspotenzial in Baden-Württemberg. <https://www.prognos.com/de/projekt/wasserstoffbedarf-und-erzeugungspotenzial-baden-wuerttemberg>

Prognos; Sphera (2022)

Analyse der aktuellen Situation des H<sub>2</sub>-Bedarfs und -Erzeugungspotenzials in Baden-Württemberg. prognos AG; Sphera GmbH.

PwC network (2022)

Bis 2025 wollen 80% der Lkw-Flottenbetreiber Brennstoffzellen-Trucks anschaffen. München, 22. Juni 2022. Pressemitteilung. <https://www.strategyand.pwc.com/de/de/presse/2022/pr-commercial-vehicle-ereadiness.html>

Rammler, S.; & Schwedes, O. (2018)

Mobilität für alle! Gedanken zur Gerechtigkeitslücke in der Mobilitätspolitik. Forum Berlin. Friedrich-Ebert-Stiftung, Berlin.

Rammler, S.; Thomas, D.; Kollosche, I.; Flores, S. (2022)  
 Mobilitätsgerechtigkeit als Leitkonzept der Verkehrspolitik.  
 Die sozial-ökologische Transformation der Mobilität gerecht  
 und inklusiv gestalten. IZT – Institut für Zukunftsstudien und  
 Technologiebewertung gemeinnützige GmbH. Berlin.

Rammler, S.; Thomas, D.; Uhl, A.; Beer, F. (2021)  
 Resiliente Mobilität: Ansätze für ein krisenfestes und  
 soziales Verkehrssystem. FES-Diskurs. Friedrich-Ebert-  
 Stiftung, Abteilung Analyse, Planung und Beratung.

Regionalszenarien Südwest (2023)  
 Planungsregion Südwest. Regionalszenario 2023.  
[https://vnbdigital.de/gateway/  
 files?serviceName=vnb&fileId=649bcfc39b70ff2eb-  
 cf83e0c&preview=1](https://vnbdigital.de/gateway/files?serviceName=vnb&fileId=649bcfc39b70ff2ebcf83e0c&preview=1)

Roth, F.; Warnke, P.; Niessen, P.; Edler, J. (2021)  
 Systemische Resilienz – Einsichten aus der Innovationsfor-  
 schung. Policy Brief. DOI:10.24406/publica-fhg-301410

RP BW, Regierungspräsidien Baden-Württemberg (2023)  
 Sanierungsoffensive 2023: Mehr als 400 Millionen Euro  
 für den Erhalt von Straßen im Land. 09.03.2023.  
 Aktuelle Meldung – Regierungspräsidium Stuttgart.  
 Pressemitteilung. [https://rp.baden-wuerttemberg.de/rps/  
 seiten/aktuellemeldung/  
 sanierungsoffensive-2023-mehr-als-400-millionen-euro-fuer-  
 den-erhalt-von-strassen-im-land/](https://rp.baden-wuerttemberg.de/rps/seiten/aktuellemeldung/sanierungsoffensive-2023-mehr-als-400-millionen-euro-fuer-den-erhalt-von-strassen-im-land/)

RP Stuttgart, Regierungspräsidium Stuttgart (2021)  
 L 1136: Sanierung Hangrutschung Leonberg – Höfingen  
 (Landkreis Böblingen). Pressemitteilung. 04.11.2021.  
[https://rp.baden-wuerttemberg.de/rps/presse/artikel/  
 l1136-sanierung-hangrutschung-leonberg-hoefingen-land-  
 kreis-boeblingen/](https://rp.baden-wuerttemberg.de/rps/presse/artikel/l1136-sanierung-hangrutschung-leonberg-hoefingen-land-kreis-boeblingen/)

Rudloff, B. (2022)  
 Wirtschaftliche Resilienz: Kompass oder Catchword?  
 Welche Fallstricke und Folgeeffekte die EU im  
 Krisenmanagement beachten muss.  
<https://doi.org/10.18449/2022S01>

Rusche, C. (2021)  
 Die Effekte der Corona-Pandemie auf den Onlinehandel in  
 Deutschland: IW-Kurzbericht 87/2021. IW Institut der  
 Deutschen Wirtschaft. [https://www.iwkoeln.de/fileadmin/  
 user\\_upload/Studien/Kurzberichte/PDF/2021/IW-Kurzbe-  
 richt\\_2021-E-Commerce.pdf](https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Kurzberichte/PDF/2021/IW-Kurzbericht_2021-E-Commerce.pdf)

SAFE BW (2022)  
 Ein Elektro-Ladenetz für das ganze Land: Projekt SAFE.  
<https://safe-bw.net/>

Saleth, S.; Escher, R.; Mätzke, G. (2021)  
 Mobilität für alle – Nachhaltige Mobilität und soziale  
 Teilhabe in Baden-Württemberg: GesellschaftsReport BW.  
 Ausgabe 2–2021. FaFo Familien Forschung Baden-Württem-  
 berg. [https://www.statistik-bw.de/FaFo/Familien\\_in\\_BW/  
 R20212.pdf](https://www.statistik-bw.de/FaFo/Familien_in_BW/R20212.pdf)

Sauter, V.; Speth, D.; Plötz, P.; Signer, T. (2021)  
 A charging infrastructure network for battery electric trucks  
 in Europe. <https://doi.org/10.24406/PUBLICA-FHG-301099>

Schelewsky, M.; Canzler, W. (2017)  
 Vulnerabilität und Resilienz im Verkehrssektor.  
 Ökologisches Wirtschaften – Fachzeitschrift, 32(4), 25–26.  
<https://doi.org/10.14512/OEW320425>

Schwedes, O. (Hrsg.) (2021)  
 Öffentliche Mobilität. Voraussetzungen für eine  
 menschengerechte Verkehrsplanung, Wiesbaden:  
 Springer Fachmedien.

Schwedes, O.; Daubitz, S.; Rammert, A.;  
 Sternkopf, B.; Hoor, M. (2018)  
 Kleiner Begriffskanon der Mobilitätsforschung.  
 IVP-Discussion Papers. [https://www.static.tu.berlin/  
 fileadmin/www/10002265/Discussion\\_Paper/  
 DP1-2\\_Schwedes\\_et\\_al.pdf](https://www.static.tu.berlin/fileadmin/www/10002265/Discussion_Paper/DP1-2_Schwedes_et_al.pdf)

Schweizer, P. J.; Renn, O. (2019)  
 Governance of systemic risks for disaster prevention and  
 mitigation. Disaster prevention and management:  
 an international journal, 28(6), 862–874. doi:10.1108/  
 DPM-09-2019-0282

SmartGrids BW (2022)

Smart Grids-Roadmap Baden-Württemberg 2.0. Smart Grid Plattform Baden-Württemberg e.V. <https://smartgrids-bw.net/public/uploads/2022/11/221130-Smart-Grids-Roadmap-2-0-Onlineversion1.pdf>

Solar Cluster BW (2022)

Solarpflicht für neue Wohngebäude in Baden-Württemberg am 1. Mai 2022 in Kraft getreten. 02.05.2022. Pressemitteilung. <https://solarcluster-bw.de/de/news/news-einzelansicht/solarpflicht-fuer-neue-wohngebäude-in-baden-wuerttemberg-am-1-mai-2022-in-kraft-getreten>

Staatsministerium Baden-Württemberg (2023)

Geographie in Baden-Württemberg: Vielfältige Landschaften. Unser Land. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/unser-land/land-und-leute/geografie>

Staatsministerium Baden-Württemberg (2023a)

Photovoltaik-Pflicht für alle neuen Wohngebäude ab 1. Mai. Pressemitteilung. Stuttgart. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/photovoltaik-pflicht-fuer-alle-neuen-wohngebäude-ab-1-mai-1/>

Staatsministerium Baden-Württemberg (2023b)

Ausbau der Stromleitungen von Nord nach Süd radikal beschleunigen. Energie. Pressemitteilung. 21.04.2023. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/ausbau-der-stromleitungen-von-nord-nach-sued-radikal-beschleunigen>

Staatsministerium Baden-Württemberg (2023c)

Auftakt zum „Runden Tisch Glasfasernetze“. 19.01.2023. Pressemitteilung. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/runder-tisch-glasfasernetze-eingerichtet>

Staatsministerium Baden-Württemberg (2023d)

Bericht aus dem Kabinett vom 11. Juli 2023. Landesregierung. 11.07.2023. Pressemitteilung. <https://stm.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/meldung/pid/bericht-aus-dem-kabinett-vom-11-juli-2023>

Staatsministerium Baden-Württemberg (2022)

Umfassende Strategien gegen Hochwasser, Starkregen und Wassermangel. Pressemitteilung. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/umfassende-strategien-gegen-hochwasser-starkregen-und-wassermangel>

Staatsministerium Baden-Württemberg (2022a)

Die Energiewende beschleunigen. Task Force Erneuerbare Energien. <https://stm.baden-wuerttemberg.de/de/themen/task-force-erneuerbare-energien>

Staatsministerium Baden-Württemberg (2022b)

Zentrale Anlaufstelle für Ausbau Erneuerbarer Energien. 14.12.2022. Pressemitteilung. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/zentrale-anlaufstelle-fuer-ausbau-erneuerbarer-energien>

Staatsministerium Baden-Württemberg (2022c)

Land strebt deutlichen Photovoltaik-Ausbau an. 20.10.2022. Erneuerbare Energien. Pressemitteilung. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/land-strebt-deutlichen-photovoltaik-ausbau-an-1/>

Staatsministerium Baden-Württemberg (2021)

Rund 83,5 Millionen Euro für Hochwasserschutz und Gewässerökologie. Gewässerschutz. Pressemitteilung. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/rund-835-millionen-euro-fuer-hochwasserschutz-und-gewässerökologie>

Staatsministerium Baden-Württemberg (2021a)

Land fördert Hochwasserrückhaltebecken in Biberach an der Riß. Hochwasserschutz. Pressemitteilung. 16.12.2021. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/land-foerdert-hochwasserrueckhaltebecken-in-biberach-an-der-riss>

Staatsministerium Baden-Württemberg (2021b)

Unwetter und Starkregen in Baden-Württemberg. Pressemitteilung. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/unwetter-und-starkregen-in-baden-wuerttemberg-1/>

Staatsministerium Baden-Württemberg (2013)  
Sanierung der Hangrutschungen an der L 385 bei  
Mössingen. Verkehr. Pressemitteilung. 21.06.2013.  
<https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/sanierung-der-hangrutschungen-an-der-l-385-bei-moessingen>

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023)  
Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) auf den  
Außerortsstraßen und Ortsdurchfahrten seit 1985. Kfz und  
Verkehrsbelastung. <https://www.statistik-bw.de/Verkehr/KFZBelastung/DTV.jsp>

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023a)  
Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) auf den  
Außerortsstraßen und Ortsdurchfahrten seit 1985:  
Autobahnen. <https://www.statistik-bw.de/Verkehr/KFZBelastung/DTV.jsp>

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023b)  
Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) auf den  
Außerortsstraßen und Ortsdurchfahrten seit 1985:  
Bundesstraßen. <https://www.statistik-bw.de/Verkehr/KFZBelastung/DTV.jsp>

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023c)  
Fahrleistungen im Straßenverkehr: Jahresfahrleistungen im  
Straßenverkehr seit 1985 nach Straßenkategorien und  
Fahrzeugarten in Baden-Württemberg. <https://www.statistik-bw.de/Verkehr/KFZBelastung/v5c01.jsp>

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023d)  
Personenverkehr mit Bussen und Bahnen in  
Baden-Württemberg seit 2004. Personenverkehr mit Bussen  
und Bahnen. Personen- und Güterverkehr. <https://www.statistik-bw.de/Verkehr/PersGueterverk/v5b07.jsp>

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023e)  
Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen: Kfz und Verkehrs-  
belastung. <https://www.statistik-bw.de/Verkehr/KFZBelastung/KfzNeu.jsp>

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022)  
Pkw-Dichte im Jahr 2021 auf Rekordhoch in Baden-Würt-  
temberg – Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.  
Pressemitteilung. <https://www.statistik-bw.de/Presse/Pressemitteilungen/2022253>

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022a)  
Energiebericht 2022. <https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Querschnittsveroeffentlichungen/806122002.pdf>

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2017)  
Leichte und schwere Nutzfahrzeuge. Glossar.  
<https://www.statistik-bw.de/Glossar/524>

Stryi-Hipp, G.; Leuchtner, J.; Longo, F. (2023)  
Praxisleitfaden zur Photovoltaik-Pflicht: Ein Ratgeber für Ihre  
solare Zukunft. Fraunhofer ISE; Triolog; Karpenstein Longo  
Nübel Rechtsanwälte.

Stuttgarter Zeitung (2022)  
Erdbeben bei Wangen im Allgäu: Hang rutscht auf einer  
Länge von 80 Metern ab. Stuttgarter Zeitung Verlagsgesell-  
schaft mbH. <https://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt/erdbeben-bei-wangen-im-allgaeu-hang-rutscht-auf-einer-laenge-von-80-metern-ab.45ebd3fb-0f38-45e7-a6ce-89834ed3317f.html>

Stuttgarter Zeitung (2019)  
Rückblick auf einen Jahrhundert-Sturm. Orkan Lothar im  
Jahr 1999. Stand 20.12.2019. <https://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.rueckblick-auf-das-sturmtief-lothar-im-jahr-1999-der-15-minuten-jahrhundert-orkan.1ed1af12-0580-4c4b-a65d-5020a0eccc0b.html>

SWR (2023)  
Sturm in BW: Blechschäden und umgestürzte Bäume.  
Wetterdienst warnte vor Orkanböen. Stand 11.03.2023.  
<https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/sturmboeen-schwarzwald-unwetter-orkan-100.html>

SWR (2023a)  
Unwetter über BW: Verletzte und größere Schäden.  
Weitere Unwetter im Süden erwartet. Stand 12.07.2023.  
<https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/schwere-unwetter-bw-100.html>

SWR (2021)  
BW stark betroffen: 2021 höchste Unwetterschäden in der  
Geschichte. Acht Mal so viele Schäden durch Starkregen  
und Überschwemmungen. Stand 18.05.2022. <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/unwetterschaeden-baden-wuerttemberg-2021-100.html>

SWR (2021a)

Nach Sturm „Hendrik“ in Baden-Württemberg: Lage hat sich beruhigt. Südwestrundfunk. <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/unwetter-baden-wuerttemberg-104.html>

TAF BW (2018)

Testfeld Autonomes Fahren: Umfassendes Reallabor für Ihre Technologien. <https://taf-bw.de/das-testfeld/zielsetzung>

Tanriverdi (2017)

Hacker entdeckt Sicherheitslücke an E-Tankstellen. Internet-Kriminalität. Süddeutsche Zeitung. <https://www.sueddeutsche.de/digital/internet-kriminalitaet-hacker-entdeckt-sicherheitsluecke-bei-e-tankstellen-1.3804473>

Transnet BW (2022)

TransnetBW macht Elektrofahrzeuge zum Ladebooster. Stand 28.01.2022. <https://www.transnetbw.de/de/newsroom/presseinformationen/transnetbw-macht-elektrofahrzeuge-zum-ladebooster>

Transport & Environment (2022)

Cheaper, stronger, further: by 2035, all new electric freight trucks will beat diesel. <https://www.transportenvironment.org/discover/cheaper-stronger-further-by-2035-all-new-electric-freight-trucks-will-beat-diesel/>

Transport & Environment (2022a)

Electric trucks take charge. <https://www.transportenvironment.org/discover/electric-trucks-take-charge/>

UBA, Umweltbundesamt (2023)

Emissionsdaten. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#tremod>

UBA, Umweltbundesamt (2022)

Car-Sharing. Stand 18.03.2022. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/nachhaltige-mobilitaet/car-sharing#umweltvorteile-von-car-sharing>

UBA, Umweltbundesamt (2022a)

Verkehr – Entwicklung von quartalsbezogenen Indikatoren zu den Treibhausgasemissionen des Verkehrs im Jahr 2022: Zusammenstellung von Daten für das erste, zweite und dritte Quartal. Stand 05.12.2022. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/366/dokumente/q1q2q3\\_2022\\_quartalsbezogene\\_indikatoren\\_thg-emissionen\\_strassenverkehr\\_uba.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/366/dokumente/q1q2q3_2022_quartalsbezogene_indikatoren_thg-emissionen_strassenverkehr_uba.pdf)

UBA, Umweltbundesamt (2020)

Energieversorgung. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung>

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und

Energiewirtschaft Baden-Württemberg (Hrsg.) (2023) Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Baden-Württemberg. Fortschreibung. Entwurf, Stand Februar 2023. [https://beteiligungsportal.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/beteiligungsportal/UM/Anpassungsstrategie\\_Klima/Gesamtentwurf\\_AnpassungsstrategieBW-2023.pdf](https://beteiligungsportal.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/beteiligungsportal/UM/Anpassungsstrategie_Klima/Gesamtentwurf_AnpassungsstrategieBW-2023.pdf)

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und

Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2023a) Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Baden-Württemberg. Fortschreibung. [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4\\_Klima/Klimawandel/AnpassungsstrategieBW-2023.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimawandel/AnpassungsstrategieBW-2023.pdf)

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und

Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2023b) Land unterstützt Aufbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft. Pressemitteilung. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/land-unterstuetzt-aufbau-einer-gruenen-wasserstoffwirtschaft>

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und

Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2023c) Förderprogramm „Modellregion Grüner Wasserstoff“. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/energiewende/wasserstoffwirtschaft/foerdermoeglichkeiten/modellregion>

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2023d)  
Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg: Gesetzlicher Rahmen. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimaschutz-in-bw/klimaschutz-und-klimawandelanpassungsgesetz-baden-wuerttemberg>

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2023e)  
Klima-Maßnahmen-Register (KMR): Konzeptionelle Grundlage. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimaschutz-in-bw/klima-massnahmen-register-kmr>

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2023f)  
Erste Abschätzung: Baden-Württemberg liegt beim Zubau von Photovoltaik bundesweit auf Platz vier. 19.01.2023. Erneuerbare Energien. Pressemitteilung. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/presse-service/presse/pressemitteilung/pid/erste-abschaetzung-baden-wuerttemberg-liegt-beim-zubau-von-photovoltaik-bundesweit-auf-platz-vier>

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, UM BW (2023g)  
Smart Grids – Intelligente Energieversorgung für eine nachhaltige Zukunft im Land. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/versorgungssicherheit/smart-grids>

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2023h)  
Landesstrategie Green IT: Ressourcenschonende IT-Infrastruktur. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/ministerium/aufgaben-organisation/nachhaltige-landesverwaltung/green-it/kompetenzstelle-green-it/die-landesstrategie>

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2022)  
Geologisch bedingte Naturgefahren. Geogefahren. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/geologie-rohstoffe-und-bergbau/naturgefahren>

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2022a)  
Wasserstoff – Energieträger der Zukunft. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/energiewende/wasserstoff-wirtschaft/energietraeger-wasserstoff/>

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2022b)  
Speicherkapazitäten für Erneuerbare. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/versorgungssicherheit/energiespeicher/>

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2022c)  
Energiewende und Klimaschutz: Energiewende kurz erklärt. Klimawissen. <https://klimaschutzland.baden-wuerttemberg.de/energiewende>

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2022d)  
Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2021. [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2\\_Presse\\_und\\_Service/Publikationen/Energie/Erneuerbare-Energien-2021-barriere-frei.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Erneuerbare-Energien-2021-barriere-frei.pdf)

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2022e)  
Teilbericht zu Klimaschutzzielen vorgestellt. Klimaschutz. Pressemitteilung. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/teilbericht-zu-klimaschutzzielen-vorgestellt/>

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, UM BW (2021)  
Wasserstoff-Roadmap für Baden-Württemberg: Fahrplan. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/energiewende/wasserstoffwirtschaft/roadmap>

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2021a)  
Zukunftsprogramm Wasserstoff Baden-Württemberg. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/energiewende/wasserstoffwirtschaft/foerdermoeglichkeiten/zukunftsprogramm-wasserstoff-bw>



UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2021b)  
Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2020.  
[https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2\\_Presse\\_und\\_Service/Publikationen/Energie/Erneuerbare-Energien-2020-erste-Ab-schaetzung-barrierefrei.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Erneuerbare-Energien-2020-erste-Ab-schaetzung-barrierefrei.pdf)

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2020)  
Monitoring der Energiewende in Baden-Württemberg.  
Statusbericht 2020. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/presse-service/publikation/did/monitoring-der-energiewende-in-baden-wuerttemberg-statusbericht-2020>

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2019)  
Landesstrategie Green IT in der öffentlichen Verwaltung Baden-Württemberg: Kurzbericht zum 2. Zwischenbericht. 11.10.2019. [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/1\\_Ministerium/Aufgaben\\_und\\_Organisation/Green-IT/191122-Kurzbericht-Landesstrategie-Green-IT.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/1_Ministerium/Aufgaben_und_Organisation/Green-IT/191122-Kurzbericht-Landesstrategie-Green-IT.pdf)

UM BW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2015)  
Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg. Vulnerabilitäten und Anpassungsmaßnahmen in relevanten Handlungsfeldern. Klimaschutz in Baden-Württemberg. [https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4\\_Klima/Klimawandel/Anpassungsstrategie.pdf](https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimawandel/Anpassungsstrategie.pdf)

United Nations (2020)  
UN Common Guidance on Helping Build Resilient Societies. <https://unsdg.un.org/sites/default/files/2021-09/UN-Resilience-Guidance-Final-Sept.pdf>

Unternehmen Cybersicherheit (2023)  
Hackerangriff: Fahrzeug-Zulieferer Fritzmeier Group teilweise lahmgelegt. Hackerangriff aktuell. Januar. <https://unternehmen-cybersicherheit.de/hackerangriff-fahrzeug-zulieferer-fritzmeier-group-teilweise-lahmgelegt/>

Unternehmen Cybersicherheit (2022b)  
Cyber-Attacke: Shell-Zulieferer kann keine Tankwagen mehr beladen. <https://unternehmen-cybersicherheit.de/cyber-attacke-shell-zulieferer-kann-keine-tankwagen-mehr-beladen/>

Unternehmen Cybersicherheit (2022a)  
Allianz Risikobarometer 2022: Cyberangriffe sind die größte Gefahr. Hackerangriff aktuell. Januar. <https://unternehmen-cybersicherheit.de/allianz-risikobarometer-2022-cyberangriffe-sind-die-groesste/>

Unternehmen Cybersicherheit (2022)  
Industrie in Gefahr: 90 Prozent der deutschen Unternehmen von Cyberangriffen betroffen. Hackerangriffe aktuell. Juni. <https://unternehmen-cybersicherheit.de/industrie-in-gefahr-90-prozent-der-deutschen-unternehmen-von-cyberangriffen-betroffen/>

Verordnung zur Bestimmung Kritischer Infrastrukturen nach dem BSI-Gesetz (BSI-Kritisverordnung – BSI-KritisV) (2016) <https://www.gesetze-im-internet.de/bsi-kritisv/BJNR095800016.html>

VM BW, Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (2023)  
Ziele für Verkehrswende in Baden-Württemberg. Klimaschutz. <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/politik-zukunft/nachhaltige-mobilitaet/klimaschutz-und-mobilitaet/rahmenbedingungen-und-ziele/>

VM BW, Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (2023a)  
Die Landesinitiative Elektromobilität III. <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/politik-zukunft/elektromobilitaet/landesinitiative-iii/>

VM BW, Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (2022)  
Ministerrat beschließt Eckpunkte zum Landesmobilitätskonzept. Pressemitteilungen. <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/ministerrat-beschliesst-eckpunkte-zum-landesmobilitaets-konzept>

VM BW, Ministerium für Verkehr  
Baden-Württemberg (2022a)  
Eckpunkte der Landesregierung zum Landeskonzept  
Mobilität und Klima (LMK). Beschlossen im November 2022.  
[https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/221111\\_Eckpunktepapier\\_Landeskonzept\\_Mobilit%C3%A4t\\_und\\_Klima\\_barrierefrei\\_01.pdf](https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/221111_Eckpunktepapier_Landeskonzept_Mobilit%C3%A4t_und_Klima_barrierefrei_01.pdf)

VM BW, Ministerium für Verkehr  
Baden-Württemberg (Hrsg.) (2022b)  
ÖPNV-Strategie 2030 für Baden-Württemberg:  
Gemeinsam die Fahrgastzahlen im ÖPNV verdoppeln.  
[https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/220516\\_%C3%96PNV-Strategie2030\\_Stand\\_10.05.22.pdf](https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/220516_%C3%96PNV-Strategie2030_Stand_10.05.22.pdf)

VM BW, Ministerium für Verkehr  
Baden-Württemberg (2022c)  
ÖPNV-Strategie 2030: Gemeinsam die Fahrgastzahlen  
im ÖPNV verdoppeln. Mobilität und Lebensqualität.  
Für Stadt und Land.

VM BW, Ministerium für Verkehr  
Baden-Württemberg (2022d)  
Ladeinfrastruktur für Baden-Württemberg.  
<https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/politik-zukunft/elektromobilitaet/ladeinfrastruktur>

VM BW, Ministerium für Verkehr  
Baden-Württemberg (2021)  
Regiobuslinien als Ergänzung zur Schiene.  
<https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/mobilitaet-verkehr/bus-und-bahn/regiobusse-und-buergerbusse/regiobusse>

VM BW, Ministerium für Verkehr  
Baden-Württemberg (2021a)  
Verkehrsministerium fördert 2021 elf neue Regiobuslinien.  
<https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/verkehrsministerium-foerdert-2021-elf-neue-regiobuslinien>

VM BW, Ministerium für Verkehr  
Baden-Württemberg (Hrsg.) (2021b)  
Mobilitätssäulen für Baden-Württemberg:  
Ein Zeichen für Vielfalt in der Mobilität.  
<https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/service/publikation/did/mobilitaetssaehlen-fuer-baden-wuerttemberg>

VM BW, Ministerium für Verkehr  
Baden-Württemberg (Hrsg.) (2020)  
Digitale Mobilität: Nachhaltig und digital unterwegs in  
Baden-Württemberg. [https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/Broschueren\\_Publikationen/200625\\_MfV\\_Bro\\_Digitale\\_Mobilita%CC%88t\\_A4\\_56S\\_WEB.pdf](https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/Broschueren_Publikationen/200625_MfV_Bro_Digitale_Mobilita%CC%88t_A4_56S_WEB.pdf)

VM BW, Ministerium für Verkehr  
Baden-Württemberg (2019)  
Personenverkehr in Stadt und Land: Befragungsergebnis  
Mobilitätsverhalten 2017. [https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/Broschueren\\_Publikationen/Personenverkehr-Befragung\\_Brosch%C3%BCre\\_191031.pdf](https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/Broschueren_Publikationen/Personenverkehr-Befragung_Brosch%C3%BCre_191031.pdf)

VM BW, Ministerium für Verkehr  
Baden-Württemberg (2017)  
Verkehrsinfrastruktur 2030: Ein Klimaschuttszenario für  
Baden-Württemberg. Mobilität und Lebensqualität.  
Für Stadt und Land. [https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/Broschueren\\_Publikationen/Klimaschutzszenario\\_10-2017\\_web.pdf](https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/Broschueren_Publikationen/Klimaschutzszenario_10-2017_web.pdf)

VM BW, Ministerium für Verkehr  
Baden-Württemberg; bwegt (2021)  
Elektrisch in die Zukunft: Zahlen-Fakten-Informationen.

VM BW, Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg;  
SDA (2020)  
Strategie Ladeinfrastruktur. [https://stm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/dateien/PDF/SDA\\_BW/200917\\_SDA\\_Strategie\\_Ladeinfrastruktur\\_LIS.pdf](https://stm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/dateien/PDF/SDA_BW/200917_SDA_Strategie_Ladeinfrastruktur_LIS.pdf).

Voß, M.; Kahlenborn, W.; Porst, L.; Dorsch, L.; Nilson, E.; Rudolph, E.; Lohrengel, A. F. (2021) Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021: Teilbericht 4: Klimarisiken im Cluster Infrastruktur (Climate Change; 23/2021). Umweltbundesamt. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/kwra2021\\_teilbericht\\_4\\_cluster\\_infrastruktur\\_bf\\_211027\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/kwra2021_teilbericht_4_cluster_infrastruktur_bf_211027_0.pdf)

Weichenhain, U.; Lange, S.; Koolen, J.; Benz, A.; Hartmann, S.; Heilert, D.; Henninger, S.; Kallenbach, T. (2020) Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie in Baden-Württemberg. Roland Berger; IPE Institut für Politikevaluation GmbH. [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/6\\_Wirtschaft/Ressourceneffizienz\\_und\\_Umwelttechnik/Wasserstoff/200724-Potentialstudie-H2-Baden-Wuerttemberg-bf.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/6_Wirtschaft/Ressourceneffizienz_und_Umwelttechnik/Wasserstoff/200724-Potentialstudie-H2-Baden-Wuerttemberg-bf.pdf)

Wieler, A. (2023) Deshalb müssen Ladestationen Cyberfestungen sein. Cybersicherheit von Wallboxen und Ladestationen. <https://www.security-insider.de/deshalb-muessen-ladestationen-cyberfestungen-sein-a-55cb506fbf0f0e9957bf8819022b68d/>

Willkomm, M.; Emons, M.; Mescheder, A.; Spiegel, A. (2022) Gigabit-Studie zur Ermittlung des Investitions- und Fördermittelbedarfs für einen flächendeckenden Gigabit-Netzausbau in Baden-Württemberg. IM BW (Hrsg.). <https://digital-laend.de/wp-content/uploads/2023/01/Gigabit-Studie-2022.pdf>

WM BW, Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg (2023) IKT-Standort mit internationaler Bedeutung: Informationstechnik und Telekommunikation. <https://wm.baden-wuerttemberg.de/de/innovation/schlueseltechnologien/informationstechnik-und-telekommunikation/>

WM BW, Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg (2022a) Innovation Park Artificial Intelligence (Ipa) gewinnt weiter an Dynamik. <https://wm.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse-und-oeffentlichkeitsarbeit/pressemitteilung/pid/innovation-park-artificial-intelligence-ipai-gewinnt-weiter-an-dynamik?highlight=ipai>

WM BW, Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg (2022b) Das Digital Hub-Netzwerk Baden-Württemberg. <https://wm.baden-wuerttemberg.de/de/innovation/initiative-wirtschaft-40-baden-wuerttemberg/digital-hubs-baden-wuerttemberg/>

Wojtczak, S. (2023) Angriff mit Ransomware: Hacker legen Ticketverkauf des Nahverkehrs in Hannover lahm. Der Spiegel. <https://www.spiegel.de/netzwelt/web/ransomware-hacker-legen-ticket-verkauf-des-nahverkehrs-in-hannover-lahm-a-be6ce5e0-57a7-4a3b-a31b-3e008ca919c1>

Wolking, C. (2021) Öffentliche Mobilität und neue Mobilitätsdienstleistungen – Rahmenbedingungen und Gestaltungsperspektiven. In O. Schwedes (Hrsg.), Öffentliche Mobilität. Voraussetzungen für eine menschengerechte Verkehrsplanung, Wiesbaden: Springer Fachmedien (S. 105–139).

WSL, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (2017) Pflanzenvielfalt schützt vor Hangrutschungen. Stand 28.06.2017. <https://www.wsl.ch/de/news/hangrutschungen-pflanzenvielfalt-bietet-schutz/>

X2Energy (2021) E-Auto Ladezeiten: Wie lange dauert der Ladevorgang an einer Wallbox/Ladestation? X2Energy. <https://x2energy.de/ratgeber/fachwissen/wallbox-ladesaeule/e-auto-ladezeiten-wie-lange-dauert-der-ladevorgang-an-einer-wallbox-ladestation>

ZSW; ifeu; Öko-Institut e. V.; Fraunhofer ISI; HIR (2017) Energie- und Klimaschutzziele 2030: Förderkennzeichen: BWKS 16001 – BWKS 16004. [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4\\_Klima/Klimaschutz/170928\\_Endbericht\\_Energie-und\\_Klimaschutzziele\\_2030.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimaschutz/170928_Endbericht_Energie-und_Klimaschutzziele_2030.pdf)

ZSW; Öko-Institut e. V.; HIR; Fraunhofer ISI (2022) Sektorziele 2030 und klimaneutrales Baden-Württemberg 2040: Teilbericht Sektorziele 2030. Juni 2022.



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Dimensionen transformativer Resilienz .....	13
Abbildung 2: Kernsystem Verkehr und Mobilität und Mobilitätsumfelder .....	15
Abbildung 3: Integriertes Verkehrs- und Mobilitätssystem .....	16
Abbildung 4: Risiko für Cyberattacken .....	26
Abbildung 5: Tief- und Überflutungsgebiete BW .....	29
Abbildung 6: Waldgebiete BW .....	31
Abbildung 7: Risikogebiete Hangrutschungen BW .....	32
Abbildung 8: Verkehrs- und Mobilitätssystem: Handlungsfelder und Schlüsselfaktoren transformativer Resilienz .....	78
Abbildung 9: Handlungsoptionen und Gestaltungsansätze BW .....	93

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Potenzielle Stressereignisse für das integrierte Verkehrs- und Mobilitätssystem .....	18
Tabelle 2: Ordnungsebenen transformativer Resilienz .....	20
Tabelle 3: Resilienzkriterien und Wirkungen auf das integrierte Verkehrs- und Mobilitätssystem .....	21
Tabelle 4: Maßnahmenkatalog des Landeskongzeptes Mobilität und Klima .....	35
Tabelle 5: Handlungsfelder und Schlüsselfaktoren .....	63

# Abkürzungsverzeichnis

acatech	Deutsche Akademie der Technikwissenschaften	FIS	Forschungs-Informations-System
AGEB	AG Energiebilanzen e. V.	FuE	Forschung und Entwicklung
APT	Advanced Persistent Threat	GBit	Gigabit
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen	GEIG	Gebäude-Elektromobilitäts- infrastruktur-Gesetz
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung	GW	Gigawatt
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft	GWh	Gigawattstunde
BEV	Battery Electric Vehicle (batterieelektrisches Fahrzeug)	G7	Gruppe der Sieben, informeller Zusammen- schluss bedeutsamer Industriestaaten der westlichen Welt
BBK	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe	H <sub>2</sub>	Wasserstoff
BMI	Bundesministerium des Inneren und für Heimat	HPC	High Power Charging
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr	IEKK	Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur	IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
BNetzA	Bundesnetzagentur	IM BW	Ministerium für Inneres und Digitales Baden-Württemberg
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik	IoT	Internet of Things
BSI-KritisV	BSI-KRITIS Verordnung	ISMS	Informationssicherheitsmanagementsystems
BW	Baden-Württemberg	IT	Informationstechnologien
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid	KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
CSBW	Cybersicherheitsagentur Baden-Württemberg	Kfz	Kraftfahrzeuge
CSF	CyberSicherheitsForum	KI	Künstliche Intelligenz
dena	Deutsche Energieagentur	KlimaG BW	Klimaschutz- und Klimawandelanpassungs- gesetz Baden-Württemberg
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt	KLIWA	Klimaveränderung und Wasserwirtschaft
DSS	Dynamic Spectrum Sharing	KMU	Kleinere und mittlere Unternehmen
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke	KMR	Klima-Maßnahmen-Register
EEV	Endenergieverbrauch	kW	Kilowatt
ENISA	European Union Agency for Cybersecurity (Agentur der Europäischen Union für Cybersicherheit)	kWh	Kilowattstunde
E-Fahrzeuge	Elektrofahrzeuge (Personenkraftwagen und Nutzfahrzeuge)	KRITIS	Kritische Infrastrukturen
E-Pkw	Elektro-Pkw (BEV und PHEV)	Lkw	Lastkraftwagen
ESYS	Energiesysteme der Zukunft	LMK	Landeskonzept Mobilität und Klima
EU	Europäische Union	LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (Brennstoffzellenfahrzeug)	LP	Ladepunkt
		LUBW	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
		m	Meter
		MaaS	Mobility-as-a-Service
		Mbit/s	Megabit pro Sekunde
		MdL	Mitglied des Landtages

MiD	Mobilität in Deutschland	WSL	Eidgenossenschaftliche Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
Mio.	Million	ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
MIV	Motorisierter Individualverkehr	ÖV	Öffentlicher Verkehr
Mrd.	Milliarden	ZPH2	Zukunftsprogramm Wasserstoff Baden-Württemberg
MW	Megawatt	ZSW	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung
NLP	Normalladepunkte		
N.N.	Normalnull		
NOW	Nationale Organisation Wasserstoff		
NPM	Nationale Plattform Zukunft Mobilität		
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development Organisation (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)		
PEV	Primärenergieverbrauch		
PJ	Petajoule		
Pkw	Personenkraftwagen		
PV	Photovoltaik		
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Plugin-Hybrid-Elektrofahrzeuge)		
RP	Regierungspräsidien		
SDA	Strategiedialog Automobilwirtschaft		
SLP	Schnellladepunkte		
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge		
SPNV	Schienenpersonennahverkehr		
t	Tonne		
TAF BW	Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg		
THG	Treibhausgase		
THW	Technisches Hilfswerk		
TW	Terawatt		
TWh	Terawattstunde		
UBA	Umweltbundesamt		
UM BW	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg		
VM BW	Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg		
V2G	Vehicle-to-Grid		
V2V	Vehicle-to-Vehicle		
V2X	Vehicle-to-X		
WEA	Windenergieanlage		
WM BW	Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg		

## Entdecken Sie weitere Publikationen der e-mobil BW (Auswahl)



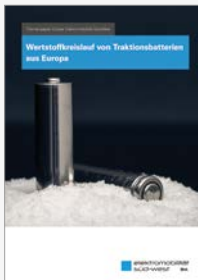
### Strukturstudie BW 2023

Mit der Strukturstudie BW 2023 untersucht die Landesagentur e-mobil BW, wie sich die Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie in Baden-Württemberg durch Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung transformiert.



### Servicemarkt 2040: Perspektiven und Strategien für freie Werkstätten

Das wirtschaftliche Rückgrat der freien Kfz-Werkstätten in Deutschland ist das Werkstatt- und Teilegeschäft. Rückläufige Wartungs- und Reparaturintensitäten je Fahrzeug reduzieren jedoch das Auftragsvolumen im freien Servicemarkt, sodass die Geschäftsmodelle im Kfz-Gewerbe grundsätzlich angepasst – vielmehr sogar neu gedacht – werden müssen. Wie genau, das untersucht die Studie „Servicemarkt 2040: Perspektiven und Strategien für freie Werkstätten“. Sie zeigt Szenarien für das Marktvolumen und die Beschäftigung im freien Aftersales des Kfz-Gewerbes.



### Wertstoffkreislauf von Traktionsbatterien aus Europa

Unternehmen der Automobilwirtschaft in Europa benötigen in den nächsten Jahren in großem Maßstab Zugriff auf Materialien für die Herstellung von Energiespeichern. Doch werden Lithium, Nickel, Mangan und Kobalt heute von einigen wenigen Lieferanten mit Sitz außerhalb der Europäischen Union bereitgestellt. Es ist daher sinnvoll, mittels Recycling von Traktionsbatterien einen Beitrag zur zuverlässigen Versorgung der Unternehmen der Automobilwirtschaft zu leisten.



### H<sub>2</sub>-Infrastruktur für Nutzfahrzeuge im Fernverkehr – aktueller Entwicklungsstand und Perspektiven

Die Studie der Plattform H2BW analysiert, wie eine H<sub>2</sub>-Infrastruktur für schwere Nutzfahrzeuge im Fernverkehr aufgebaut werden kann. Wie kann der benötigte H<sub>2</sub>-Kraftstoff bereitgestellt werden? Welche H<sub>2</sub>-Kraftstoffoptionen und Betankungsprozesse spielen künftig eine Rolle? Die Studie gibt einen Überblick über den aktuellen Entwicklungsstand der hierfür notwendigen Kraftstofftechnologien und der erforderlichen Hauptkomponenten der Tankstellen und beleuchtet zudem, welche H<sub>2</sub>-Kraftstoffkosten mittelfristig zu erwarten sind.



### Digitalisierung in der Mobilitätswirtschaft – Erfolgsfaktoren der Daten- und Plattformökonomie

Die Mobilitätswirtschaft befindet sich inmitten eines tiefgreifenden Wandels hin zu einer immer stärkeren Vernetzung. Dabei versprechen Daten ein enormes Monetarisierungspotenzial. Vor diesem Hintergrund untersucht die Studie Auswirkungen und Erfolgsfaktoren der Daten- und Plattformökonomie auf die deutsche Mobilitätswirtschaft. Neben der Ausarbeitung von Relevanz und Entwicklungsstand der Digitalisierung im Mobilitätskontext werden auch Handlungsoptionen für Akteure aus Baden-Württemberg abgeleitet.



### Beschäftigungseffekte im Kfz-Gewerbe 2030/2040

Die Studie der e-mobil BW betrachtet die Auswirkungen der Elektrifizierung und Digitalisierung von Fahrzeugen und die Neugestaltung der Geschäftsprozesse auf die Beschäftigtenstrukturen im Kfz-Gewerbe. Die Handlungsempfehlungen befähigen das Kfz-Gewerbe sowie Stakeholder zur Ableitung entsprechender Maßnahmen.





### Analyse der aktuellen Situation des H<sub>2</sub>-Bedarfs und -Erzeugungspotenzials in Baden-Württemberg

Die neue Studie der Plattform H2BW, die von e-mobil BW koordiniert wird, analysiert, wie hoch der Wasserstoffbedarf und wie groß das Wasserstofferzeugungspotenzial in Baden-Württemberg sind. Im Jahr 2035 werden 16,6 Terawattstunden, also rund 550.000 Tonnen Wasserstoff, im Land benötigt.



### Zukunftsfähige Lieferketten und neue Wertschöpfungsstrukturen in der Automobilindustrie

Wie verändern sich die Lieferbeziehungen zwischen Herstellern und Zulieferern in der Automobil- und Maschinenbauindustrie? Welche Auswirkungen haben die Covid-19-Pandemie und der Krieg in der Ukraine auf die Lieferketten? Die Studie „Zukunftsfähige Lieferketten und neue Wertschöpfungsstrukturen in der Automobilindustrie“ zeigt Lösungselemente auf, die das Ziel verfolgen, Lieferketten kostengünstig und krisensicher zu gestalten.



### Automotive Cybersecurity

Das digitale Auto macht Cybersecurity zunehmend zu einem zentralen Bestandteil des nachhaltigen Erfolgs in der Automobilwirtschaft. Das Themenpapier des Clusters Elektromobilität Süd-West analysiert Einfallstore der Cyberkriminalität und formuliert Handlungsempfehlungen für Cybersecurity.



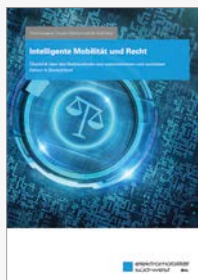
### Wirtschaftsfaktor Ladeinfrastruktur – Potenziale für Wertschöpfung in Baden-Württemberg

Die Studie der e-mobil BW analysiert den Hochlauf der globalen Elektromobilität, leitet daraus die Entwicklungen des Ökosystems des öffentlichen und privaten Ladens ab und zeigt Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte für Baden-Württemberg auf.



### Systemvergleich Wasserstoffverbrennungsmotor und Brennstoffzelle im schweren Nutzfahrzeug

Die Studie der e-mobil BW analysiert Pro und Contra des Wasserstoffverbrennungsmotors (H<sub>2</sub>-Motor) und der Brennstoffzelle (H<sub>2</sub>-BZ) im Schwerlastverkehr.



### Intelligente Mobilität und Recht

Das Themenpapier des Clusters Elektromobilität Süd-West gibt einen Überblick über den Rechtsrahmen zum automatisierten und vernetzten Fahren in Deutschland.

**Die wichtigsten Kennzahlen zur**

**Elektromobilität und zu Automotive auf einen Klick:**

**der e-mobil BW Datenmonitor und das**

**Datencenter**



**Zahlen. Daten. Fakten.**

Der Datenmonitor der e-mobil BW liefert in regelmäßigen Abständen aktuelle Informationen, Grafiken und Kennzahlen zur Entwicklung der Elektromobilität und der Automobilwirtschaft.

Im e-mobil BW Datencenter stehen die Daten und Grafiken übersichtlich aufbereitet zum Download bereit:

[www.e-mobilbw.de/service/datencenter](http://www.e-mobilbw.de/service/datencenter)

**e-mobil**  **BW** 

# Strukturstudie BW 2023

Transformation der Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie  
in Baden-Württemberg durch Elektrifizierung,  
Digitalisierung und Automatisierung



**e-mobil** <sup>BW</sup>  
Landesagentur für neue Mobilitätslösungen  
und Automotive Baden-Württemberg

Mit der Strukturstudie BW 2023 untersucht die Landesagentur e-mobil BW, wie sich die Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie in Baden-Württemberg durch Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung transformiert.



Vollversion der Studie



Kernergebnisse und Handlungsempfehlungen



# Impressum

## Herausgeber

e-mobil BW GmbH – Landesagentur für neue  
Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg

## Autor:innen

IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung  
gemeinnützige GmbH  
Dr. Dirk Thomas, Ingo Kollosche, Lisa Steck,  
Sabine Flores Tràn

Mitarbeit: Friederike Ruge, Yulia Aster

## Redaktion und Koordination der Studie

e-mobil BW GmbH  
Michael Ruprecht, Philipp Prinz, Caroline Geltz,  
Susila Bhagavathula

## Layout/Satz/Illustration

markentrieb  
Die Kraft für Marketing und Vertrieb

## Fotos

Umschlag © Weiquan Lin/gettyimages  
Die Quellennachweise aller weiteren Bilder befinden  
sich auf der jeweiligen Seite.

## Druck

Karl Elser Druck GmbH  
Kißlingweg 35  
75417 Mühlacker

## Auslieferung und Vertrieb

e-mobil BW GmbH  
Leuschnerstraße 45  
70176 Stuttgart  
Telefon +49 711 892385-0  
Fax +49 711 892385-49  
info@e-mobilbw.de  
[www.e-mobilbw.de](http://www.e-mobilbw.de)

## Genereller Hinweis

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird bei  
zusammengesetzten personenbezogenen Hauptwörtern  
in dieser Studie die männliche Form verwendet.  
Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der  
Gleichbehandlung grundsätzlich für alle Geschlechter.  
Die verkürzte Sprachform hat nur redaktionelle Gründe  
und beinhaltet keine Wertung.

## Disclaimer

Die Erstellung dieser Studie erfolgte mit großer Sorgfalt auf  
Basis wissenschaftlicher Methodik und unter Zuhilfenahme  
der angegebenen Quellen. Für die Korrektheit der Daten  
kann gleichwohl keine Haftung übernommen werden.  
Die Aussagen in diesem Gutachten mit prognostischem  
Charakter wurden auf Basis der vorliegenden Informationen  
getroffen, die derzeit als realistisch angenommen werden  
können. Dennoch könnten derzeit nicht absehbare, exogene  
Schocks (z. B. in Form einer lang andauernden Wirtschafts-  
krise mit massiven Einkommenseinbußen in wichtigen  
Automobilmärkten oder drastische Veränderungen in der  
Einschätzung der noch vorhandenen fossilen Rohstoffe) zu  
anderen Entwicklungen führen.

**Dezember 2023**

## © Copyright liegt bei den Herausgebern

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk ist einschließlich seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Für die Richtigkeit der Herstellerangaben wird keine Gewähr übernommen.



[www.e-mobilbw.de](http://www.e-mobilbw.de)

**e-mobil BW GmbH**

Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und  
Automotive Baden-Württemberg

Leuschnerstraße 45 | 70176 Stuttgart

Telefon +49 711 892385-0 | Fax +49 711 892385-49

[info@e-mobilbw.de](mailto:info@e-mobilbw.de)

