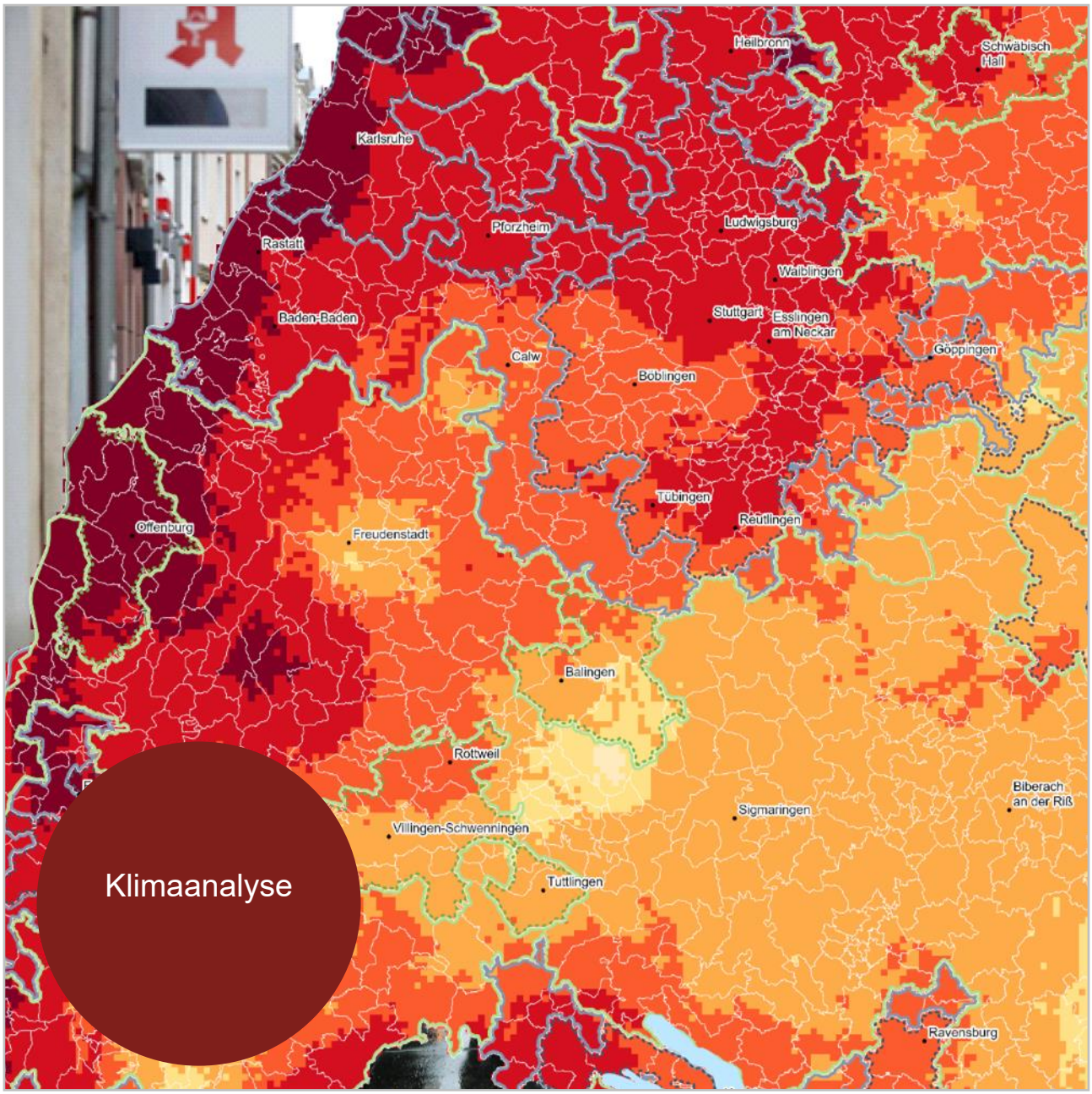
ireus | Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung

Raumanalyse Baden-Württemberg: Klimaresilienz und Klimaanpassung

Kurzbericht Nr. 5



Andrea Cristina Ramirez Herrera, Jörn Birkmann (2025)

Universität Stuttgart | ireus Institut für Raum und Entwicklungs | iswa | IER | ILPÖS Research gGmbH

Zahlen, Daten und Fakten sind eine wichtige Grundlage für die Landesentwicklungsplanung. Im Rahmen der Neuaufstellung des Landesentwicklungsplans hat das Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen Baden-Württemberg ein Gutachten zur Erstellung einer umfassenden Raumanalyse in Auftrag gegeben. Hierin werden die aktuellen räumlichen Strukturen in Baden-Württemberg sowie die Raumentwicklung seit dem Jahr 2000 und zukünftige Trends in den Blick genommen. Die Inhalte werden in verschiedenen Berichten zur Raumentwicklung festgehalten. Diese fließen neben vielen weiteren Erkenntnissen in den Abwägungsprozess bei der Neuaufstellung des Landesentwicklungsplans ein.

Bearbeitung	Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung (IREUS) Universität Stuttgart Pfaffenwaldring 7 70569 Stuttgart +49 (0)711 685 66332 +49 (0)711 685 66965 info@ireus.uni-stuttgart.de www.ireus.uni-stuttgart.de
Autorinnen und Autoren	Andrea Cristina Ramirez Herrera Prof. Dr. Jörn Birkmann (Projektleiter)

Der Bericht wurde im Auftrag des Landes Baden-Württemberg vertreten durch das Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen erstellt. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Stuttgart, Juni 2025

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung 1

2 Erläuterung zu Definitionen und Analyseeinheiten 2

3 Risikobetrachtung Hitze 8

4 Exposition von Kritischen und Sensiblen Infrastrukturen gegenüber Hitze 14

5 Risikobetrachtung Hochwasser 16

6 Exposition von Kritischen und Sensiblen Infrastrukturen gegenüber Hochwasser 25

7 Literaturverzeichnis 28

8 Anhang 30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Veränderung der Anzahl heißer Tage 1990 – 2019 9
Abbildung 2: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) 10
Abbildung 3: Risiko gegenüber Hitze (auf Basis der relativen sozialen Verwundbarkeit) 12
Abbildung 4: Risiko gegenüber Hitze (auf Basis der absoluten sozialen Verwundbarkeit) 13
Abbildung 5: Hitze exponierte Krankenhäuser mit Notfallversorgung, Betrachtung Veränderung heißer Tage und PET 15
Abbildung 6: Anteil der HQ-100 Fläche an der Gemeindefläche (Gemarkungsfläche) 18
Abbildung 7: Anteil der HQ-extrem Gebiete an der Gemeindefläche (Gemarkungsfläche) 19
Abbildung 8: Siedlungslast im HQ-extrem Gebiet 22
Abbildung 9: Siedlungsflächenanteil im HQ-extrem Gebiet 23
Abbildung 10: Risiko gegenüber Hochwasser (auf Basis der relativen sozialen Verwundbarkeit) 24
Abbildung 11: KRITIS - Umspannwerke und Krankenhäuser mit Notfallversorgung auf HQ-extrem Gebiet 26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen (SuV) im Zeitraum 2000 – 2021 in den Raumkategorien nach LEP 2002 21
Tabelle 2: Krankenhäuser mit Notfallversorgung auf HQ-extrem 27

1 Zusammenfassung

Die Stärkung von Klimaresilienz und Klimaanpassung durch räumliche Planung ist für Baden-Württemberg eine zentrale Zukunftsaufgabe. Neben kommunalen Ansätzen, werden dabei zunehmend regionale und landesweite Strategien und Konzepte notwendig, da sowohl beim Thema Hitzestress als auch bei den Themen Hochwasser und Starkregen die funktionalen Zusammenhänge vielfach über Gemeindegrenzen hinweg reichen. Planerische Steuerungsansätze für die Sicherung von Kaltluftschneisen oder den Wasserrückhalt und Schutz Kritischer Infrastrukturen in Flusseinzugsgebieten erfordern daher überkommunale Ansätze. Um das gesamte Ausmaß des Risikos eines Extremereignisses für die Bevölkerung und die Infrastruktur zu bestimmen, muss neben der Verteilung der Gefahren und der Exposition von Bevölkerung und Siedlungsräumen auch die unterschiedliche Verwundbarkeit und Empfindlichkeit von Raumnutzungen und Raumnutzenden erfasst werden. Die Ergebnisse der folgenden Raumanalyse zeigen wichtige Handlungsbedarfe und räumlich unterschiedliche Wirkungen von sog. Klimagefahren, Verwundbarkeitsstrukturen und Risiken auf. Vor dem Hintergrund des neuen Klimaanpassungsgesetzes, aber auch neuerer rechtlicher Grundlagen im Bereich der räumlichen Planung, wie dem Bundesraumordnungsplan Hochwasserschutz, ergeben sich neue Anforderungen auch an die Landes- und Regionalplanung. Die Raumanalyse zeigt wichtige Unterschiede bezogen auf die thermische Belastung von Verdichtungsräumen und ländlichen Räumen auf. Ebenso werden die Belange von Kritischen und sensiblen Infrastrukturen in der Raumanalyse zur Klimaresilienz thematisiert und für Planungsfragen konkretisiert. Zudem zeigt die Expositionsanalyse von Siedlungsflächen gegenüber Hochwassergefahren, dass auch hier bestimmte Räume besonders betroffen sind und neben dem 100 jährlichen Hochwasser zukünftig Extrem-Hochwasser eine stärkere Aufmerksamkeit erfordern. Auch bei der Betrachtung welche Siedlungsräume besonders stark durch ein HQ-extrem betroffen wären, zeigen sich deutliche räumliche Muster, die für die weitere planerische Ziel- und Strategieentwicklung von Bedeutung sind. In dieser Hinsicht können die Befunde der Raumanalyse eine gute Argumentationshilfe für ausgewählte Ziele und Grundsätze des zukünftigen Landesentwicklungsplans bieten.

2 Erläuterung zu Definitionen und Analyseeinheiten

Der nachfolgende Kurzbericht behandelt im Rahmen der Raumanalyse Baden-Württemberg die Folgen des Klimawandels für die Städte und Gemeinden des Bundeslands. Da die Analyseeinheit das Bundesland Baden-Württemberg ist, werden die Raumkategorien als Untereinheit verwendet, um die Ergebnisse zusammenzufassen und für den spezifischen Fokus der Raumordnung und Landesplanung zu verdichten. Die Raumkategorien sind Gebiete mit ähnlichen strukturellen und funktionalen Merkmalen. Vier Kategorien wurden zuletzt im LEP 2002 definiert: Verdichtungsräume, Randzonen um die Verdichtungsräume, Verdichtungsbereiche im Ländlichen Raum und Ländlicher Raum im engeren Sinne. Diese Kategorien sind für die Priorisierung von unterschiedlichen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel relevant. Zum Beispiel ist das Thema extreme Hitzebelastung insbesondere für Verdichtungsräume sehr relevant. Auch für Maßnahmen des planerischen Hochwasserschutzes haben Raumkategorien eine direkte und indirekte Bedeutung. So ist beispielsweise die Schaffung neuer, größerer Retentionsräume und Polder tendenziell in den Verdichtungsräumen aufgrund des höheren Anteils an bereits für Siedlungszwecke genutzten Fläche schwieriger als im Ländlichen Raum im engeren Sinne. Unbeschadet dessen spielen natürlich auch andere Faktoren hier eine zentrale Rolle, wie bspw. die Topographie.

Im Bericht werden aufbauend auf den mit dem Klimawandel verbundenen Gefährdungen die Verwundbarkeiten für verschiedene Bereiche auf Gemeindeebene analysiert und bewertet. Die dabei genutzten Definitionen greifen die im Weltklimarat (IPCC 2022) im fünften und sechsten Sachstandbericht genutzten Konzeptionen und Determinanten des Risikos auf (siehe u.a. IPCC 2022), da diese ausgearbeiteten Definitionen als wichtiger, international anerkannter Standard in vielen Ländern dienen.

Ziel der Raumanalyse ist es diesbezüglich, die Gemeinden zu identifizieren, die eine hohe räumliche Ausgesetztheit gegenüber Hitzestress und Hochwassergefahren aufweisen und zudem auch einen hohen Anteil an verwundbarer Bevölkerung vorweisen. Überschwemmungen werden auch durch starke Regenfälle verursacht. Dieses Phänomen ist wichtig und sollte auch auf regionaler Ebene berücksichtigt werden. Leider war eine Analyse auf Landesebene aufgrund mangelnder Daten nicht möglich. Das Thema Exposition Kritischer Infrastruktur wird ebenfalls beleuchtet, da nach dem Raumordnungsgesetz (ROG) auch die

Raumordnung den Auftrag hat, die besonderen Schutzanforderungen Kritischer Infrastrukturen im Rahmen von Planungen zu berücksichtigen. Des Weiteren umfasst die Raumanalyse auch ausgewählte Risikokarten für das Thema Hitze-Risiken, die die Hitzebelastung, die unterschiedliche Exposition und Verwundbarkeit zusammenführen. Damit bietet die Raumanalyse im Vergleich zu detaillierteren Untersuchungen von Hitzestress oder Hochwassergefahren eine spezifische Aufbereitung zentraler Determinanten von Klima-Risiken (Gefahren, Exposition, Verwundbarkeit) für räumliche Planungsfragen auf der Ebene der Landesplanung – unter besonderer Berücksichtigung von Raumkategorien.

Das Hauptziel dieses Berichts ist es, Räume zu identifizieren, die stark exponiert sind und in denen eine hohe Zahl bzw. ein hoher Anteil besonders verwundbarer Bevölkerung lebt. Auch für den Beitrag der räumlichen Planung zur Klimaanpassung ist diese erweiterte Perspektive wichtig, da Raumordnung und Bauleitplanung nicht allein die Veränderung der Temperatur oder Wasserhöhe zu überwachen haben sollten, sondern sich insbesondere auch mit der Frage der Exposition von Menschen, Infrastrukturen und Siedlungsflächen sowie der unterschiedlichen Empfindlichkeit von Raumnutzungen (Bundesraumordnungsplan Hochwasserschutz) und der Verwundbarkeit von Menschen und Infrastrukturen zu befassen haben. Die in diesem Bericht genutzten Definitionen werden im Folgenden kurz erläutert.

Gefahren/Klimagefahren

Gefahren beziehen sich überwiegend auf physische Phänomene, wie beispielsweise ein Hochwasserereignis, eine Hitzewelle oder ein Starkregenereignis (IPCC 2022). In diesem Bericht werden die beiden Gefahren – extreme Hitze und Hochwasser – näher analysiert. In Bezug auf Hitzebelastungen wurden zwei unterschiedliche Studien und Parameter für die Gefahrenbeurteilung und die räumliche Analyse von Hitzestress herangezogen. Der erste Parameter ist die physiologisch äquivalente Temperatur (PET). Dabei handelt es sich um einen thermischen Index zur Bewertung der thermischen Belastung für den Menschen (z. B. Wärmebelastung). Dieser stellt die Wärmebelastung basierend auf dem Wissen zur Wechselwirkung zwischen meteorologischen Einflüssen und der menschlichen Energiebilanz dar (Kuttler, 2013; Oke et al., 2017). Die PET berücksichtigt hierbei nicht nur die Lufttemperatur, sondern auch weitere meteorologische Einflüsse wie die Strahlungstemperatur (Kuttler, 2013; Oke et al. 2017). In vielen kommunalen und landesweiten thermischen Analysen wird die PET mittlerweile standardmäßig herangezogen, da der Index die thermische Belastung vereinfacht in Grad Celsius ausdrückt und daher eine unkomplizierte Interpretation ermöglicht (Henninger and Weber, 2019).

Die PET-Werte wurden von GeoNet im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW 2024, Durchführung einer landesweiten Klimaanalyse) für ganz Baden-

Württemberg für den Tag (Temperaturen um 14 Uhr) modelliert und räumlich differenziert dargestellt (LUBW 2023). Als zweiter davon unabhängig berechneter Indikator wird die Veränderung der Hitzetage (Deutscher Wetterdienst) herangezogen. Als heiße Tage werden Tage definiert, deren Lufttemperatur ≥ 30 °C Lufttemperatur beträgt. Damit werden auch Hinweise auf die zunehmende Belastung durch Hitze im Zeitverlauf möglich. Die räumliche Analyse der Hitzetage zeigt, welche Räume in Baden-Württemberg mit einer Zunahme von Tagen mit mehr als 30 °C konfrontiert sind. Die höheren Temperaturen betreffen Menschen, Infrastrukturen und Ökosysteme. In der durchgeführten Raumanalyse wurde die Veränderung der Hitzetage in den unterschiedlichen Raumkategorien untersucht sowie die Exposition von ausgewählten Infrastrukturen gegenüber Hitze bestimmt. Gerade für Kritische und sensible Infrastrukturen ist dies ein zunehmend wichtiges Thema im Sinne der Sicherung der Funktionsfähigkeit und gesunder Arbeitsverhältnisse.

Verwundbarkeit

Verwundbarkeit befasst sich mit der unterschiedlichen Prädisposition, in negativer Weise von den Einwirkungen von Klimagefahren betroffen sind. Beispielsweise ist die unterschiedliche Verwundbarkeit gegenüber Hitzestress bezogen auf verschiedene Altersgruppen wissenschaftlich bereits nachgewiesen. Damit bezeichnet Verwundbarkeit einen Zustand oder Prozess durch den Menschen oder Systeme (z. B. Infrastrukturen) anfälliger gegenüber den Einwirkungen von Gefahren und Extremereignissen zu sein. Verwundbarkeit ist vielfach nur über Proxy-Indikatoren erfassbar und hängt auch in Teilen vom zu betrachtenden Gefahrentyp sowie dem regionalen und lokalen Kontext ab. Für die Betrachtung der unterschiedlichen Verwundbarkeit von Menschen, Infrastrukturen und Raumnutzungen spricht allerdings die Tatsache, dass die bisherige Abgrenzung von Risikoräumen entsprechend bestimmter Hochwasserlinien (HQ-100) oder Temperaturen bei Hitzebelastung für die Priorisierung von Anpassungs- und Risikoreduktionsmaßnahmen zu undifferenziert ist.

Die soziale Verwundbarkeit wird in dieser Untersuchung für die Gefahren Hitze und Hochwasser gleichermaßen konzipiert, da in beiden Fällen die demographische und sozioökonomische Struktur der Bevölkerung von Bedeutung ist. Auf Grundlage einer Literaturauswertung (Birkmann, 2007; Bucherie et al., 2022; Chan et al., 2022; Chang et al., 2021; Fekete and Rufat, 2023; García and Hernandez, 2023; Khajehei et al., 2020; Maragno et al., 2020; Müller et al., 2011) und der tatsächlichen Verfügbarkeit von Daten auf Gemeindeebene für alle Gemeinden Baden-Württembergs, werden für die Analyse der sozialen / gesellschaftlichen Verwundbarkeit der Anteil der älteren Bevölkerung (>65 Jahre) betrachtet sowie die absolute Anzahl von älteren Menschen (siehe Abbildung A.1 und A.2 im Anhang). Das Alter bringt strukturelle und dauerhafte Anfälligkeiten mit sich, die in der Regel nicht reversibel sind. Ältere Menschen sind aufgrund ihrer physischen Konditionen tendenziell

stärker anfällig gegenüber Hitzestress und benötigten daher besondere Aufmerksamkeit. Die Alterung der Bevölkerung ist ein wichtiger Trend mit räumlicher Differenzierung.

Damit wird eine relative und absolute Betrachtung vorgenommen. Die Verschneidung dieser Informationen beispielsweise für den Bereich Hitzerisiken zeigt, dass die Anzahl besonders verwundbarer Menschen und die thermische Belastung in den Verdichtungsräumen im Land Baden-Württemberg signifikant höher ist als im Ländlichen Raum im engeren Sinne. Bei der landesweiten Analyse wurden die entsprechenden Mittelwerte für die Gemeinden bezogen auf Raumkategorien zusammengefasst.

An der Schnittstelle zwischen Verwundbarkeit und Exposition sind Kritische und sensible Infrastrukturen von Bedeutung. Die Sicherung von Leistungen Kritischer Infrastrukturen, wie die Stromversorgung oder Krankenhausversorgung, ist vielfach für das Funktionieren sog. moderner Gesellschaften notwendig. Nach der nationalen Verordnung bezüglich kritischer Infrastrukturen (BSI-Kritisverordnung - BSI-KritisV 2016) werden Infrastrukturen aus verschiedenen Bereichen bzw. Sektoren nur dann als kritisch eingestuft, wenn sie bestimmte Bedingungen erfüllen. Viele dieser Bedingungen – beispielsweise eine hohe Anzahl der vollstationären Fallzahlen bei Krankenhäusern (30.000 vollstationäre Fallzahlen) – treffen jedoch nicht auf die unterschiedliche Situation von Verdichtungsräumen versus Ländlichen Raum zu. Daher wurden diese Bedingungen angepasst, um die Definition von Kritischen Infrastrukturen auch gerade für ländliche Räume passgenauer zu machen. Die entsprechenden Erläuterungen finden sich in den Kapiteln Risikobetrachtung gegenüber Hitze und Risikobetrachtung gegenüber Hochwasser. Die Bedeutung der Kritischen Infrastrukturen „Strom“ (Beispiel Umspannwerke als wichtige Schnittpunkte in größeren Netzen) und „Krankenhäuser“ wurde des Weiteren durch eine Literaturrecherche und Experteninterviews fundiert bzw. unterstrichen.

Exposition

Um die Exposition von Menschen genauer bestimmen zu können, wurden Siedlungsflächen mit PET-Werten gleich oder höher 29,1 °C (mäßige bis extreme Hitzebelastung) sowie mit Informationen zur durchschnittlichen Bevölkerung (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg) je Siedlungsfläche (ATKIS) verschnitten. Dabei wurden ATKIS und Bevölkerungsdaten auf Gemeindeebene verwendet. Das Ergebnis ist ein Durchschnittswert, der Aussagen zur Hitzeexposition und Bevölkerungsexposition je Siedlungsfläche bietet. Dadurch wird der Fehler vermieden, dass nicht besiedelten Gebieten, z. B. Wäldern, Bevölkerungsdaten zugeordnet werden.

In Bezug auf Hochwasser wurde die Bevölkerungsexposition durch die Verschneidung der HQ-extrem Überschwemmungsgebiete mit den Bevölkerungsdaten ermittelt. Auch hier

wurde auf ATKIS-Siedlungsflächen und auf die Bevölkerungsdaten je Gemeinde zurückgegriffen.

Des Weiteren wurde auch die Exposition ausgewählter Kritischer Infrastrukturen gegenüber Hochwasser und Hitzestress ermittelt. Dabei wurden in Bezug auf Hochwasser die unterschiedlichen Expositionsgrade für die Bemessungshochwasser HQ-100 und HQ-extrem berechnet. Risiken gegenüber Klima- und Naturgefahren werden nicht nur durch die direkte Exposition der Bevölkerung, sondern auch zunehmend durch die indirekten Wirkungen des Ausfalls von Kritischen Infrastrukturen beeinflusst. Demzufolge ist die Ermittlung ausgewählter Expositionsmuster für die Raumordnung und Bauleitplanung von Interesse.

Beispielsweise kann der Ausfall von Kritischen Infrastrukturen zur Freisetzung gefährlicher Stoffe führen (Krausmann et al., 2019) oder massive Auswirkungen auf die Grund- und Notfallversorgung haben (Vamvakeridou-Lyroudia et al., 2020). Im Falle von Baden-Württemberg gibt es keine offizielle Liste von Kritischen Infrastrukturen mit räumlicher Lage für die regionale Ebene. Aus diesem Grund wurde die Analyse dieser Infrastrukturen auf der Grundlage von Open Street Map-Daten (Geofabrik 2023) durchgeführt. In diesem Kurzbericht wurde besonderer Wert auf die Stromversorgung (Umspannwerke) und die Krankenhausversorgung, als zwei besonders relevante Kritische Infrastrukturen, gelegt.

Risiko

Risiko ist nach dem IPCC (2022) das Ergebnis der Interaktion zwischen Klima-/Naturgefahren, Exposition und Verwundbarkeit. Demzufolge erfolgte die Berechnung des Risikos unterschiedlicher Räume auf der Zusammenführung der Gefährdung und Verwundbarkeit und Exposition. Zu diesem Zweck wurden räumliche Analysemethoden (z. B. Weighted Overlay) in einem Geoinformationssystem (GIS) angewandt.

Zur Erstellung der Risikokarten in Bezug auf Hitzestress wurde die Methode des Weighted Overlay (dt. Gewichtete Überlagerung) angewendet. Bei einer gewichteten Überlagerung, häufig auch im Rahmen einer Multikriterienanalyse angewendet, handelt es sich um ein Kombinationsverfahren, das auf der Addition von verschiedenen Ausgangskriterien beruht (Malczewski and Rinner, 2015). Die verschiedenen Kriterien müssen hierzu in einem einheitlichen räumlichen Maßstab vorliegen und werden anhand der Wichtigkeit jedes Kriteriums, ausgedrückt durch die Zuweisung eines Bedeutungsgewichts, bezüglich des Untersuchungsgegenstandes miteinander kombiniert. Die daraus resultierende Ergebniskarte zeigt, basierend auf der Kombination der Werte der Ausgangskriterien, verschiedene Bewertungswerte für das Untersuchungsgebiet (Rinner, 2007). Diese Art der Überlagerung ist in GIS besonders einfach umzusetzen und wird daher oftmals zur Bewertung von verschiedenen Sachverhalten (z. B. des Gesundheitszustands, Lebensqualität) sowie zur

räumlichen Entscheidungsfindung, beispielsweise Standortfindung, eingesetzt (Malczewski, 2000; Rinner, 2007). Mit dieser Methode wurden in dieser Studie sowohl das Hitze- als auch das Überschwemmungsrisiko untersucht. Hinsichtlich des Hitzerisikos wurden Daten über a) die Gefährdung (PET-Temperaturen, die nach Matzarakis und Mayer entsprechend dem Grad der Hitzebelastung klassifiziert sind (Matzarakis & Mayer 1996)), b) die Exposition der Bevölkerung (die besiedelten Gebiete klassifiziert über ATKIS-Siedlungsflächen) und c) die soziale Verwundbarkeit (Personen über 65 Jahre) überlagert. Um das Überschwemmungsrisiko zu betrachten, wurden hingegen die drei Parameter soziale Verwundbarkeit, HQ-extrem Gebiete sowie Siedlungs- und Verkehrsfläche kombiniert. In beiden Fällen, für Hitzestress und Überschwemmung, wurden die Gewichte gleichmäßig verteilt, da die Zuordnung der Gewichte sehr subjektiv wäre. Das bedeutet, dass die Siedlungs- und Verkehrsfläche, die Gefahr und die verwundbare Bevölkerung bei der Berechnung der Risikokarten die gleichen Gewichte aufweisen.

Diese Risikobetrachtung kann keine Besonderheiten innerhalb einer Gemeinde ablichten, aber die Karten zeigen gewisse Konzentrationen von Risiken in Bezug auf Hitzestress und Hochwasserextremereignisse auf, die auch für die planerische Vorsorge auf der Ebene der Raumordnung des Landes interessante Befunde darstellen.

3 Risikobetrachtung Hitze

Die globale Temperatur steigt nun seit Jahrzehnten belegbar an. Dieser Prozess spiegelt sich in Baden-Württemberg in der Zunahme der Hitzetage (Tage, an denen die Höchsttemperatur gleich oder höher als 30 °C war) wider. Am stärksten betroffen sind die infrastrukturell und bevölkerungsmäßig stark besiedelten Verdichtungsräume und ihre Randzonen. Darüber hinaus haben sich auch die Räume entlang des Rheins in den letzten Jahren deutlich erwärmt. Hitzebelastungen in Baden-Württemberg sind erheblich und nehmen tendenziell eher zu, beispielsweise bezogen auf den Anstieg der Anzahl heißer Tage zwischen 1990 und 2019. Diesbezüglich sind signifikante räumliche Unterschiede erkennbar. So ist auf 81 % der Fläche der Verdichtungsräume, im Durchschnitt eine Erhöhung der Anzahl heißer Tage zwischen 1990 bis 2019 von 11 bis 24 zusätzlichen Tagen zu verzeichnen (siehe Abbildung 1). Demgegenüber ist der Anstieg an heißen Tagen in den Ländlichen Räumen deutlich geringer. Rund 53 % der Fläche des Ländlichen Raumes (im engeren Sinne) verzeichnet im selben Zeitraum einen Anstieg von 6 bis 10 Tagen und weitere 27 % einen Anstieg von 11 bis 15 Tagen sowie rund 15 % der Flächen des Ländlichen Raumes einen nur moderaten Anstieg von 0 bis 5 Tagen. Damit sind, bezogen auf die Betrachtung von Raumkategorien, die Verdichtungsräume eindeutig als besonderer thermischer Belastungsraum anzusehen.

Neben den heißen Tagen als Indikator kann die Hitzebelastung insbesondere auch mit der Physiologischen Äquivalent Temperatur (PET) erfasst werden. Die PET gibt die Wärmbelastung für die Bevölkerung unter Berücksichtigung verschiedener meteorologischer Parameter (z. B. Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur etc.) in Grad Celsius an (Kuttler 2013). Nach neueren Berechnungen für Baden-Württemberg auf Basis einer Studie von GeoNet für die LUBW (siehe Abbildung 2) sind 25 % der Fläche des Verdichtungsraums und 20 % der Randzonen als Räume klassifiziert, in denen die thermische Belastung als stark empfunden wird (35-41 °C). Der Ländliche Raum ist ebenfalls von Hitze betroffen, allerdings in weitaus geringerem Maße: nur 12 % der Gesamtfläche sind Temperaturen von mehr als 35 °C ausgesetzt (PET).

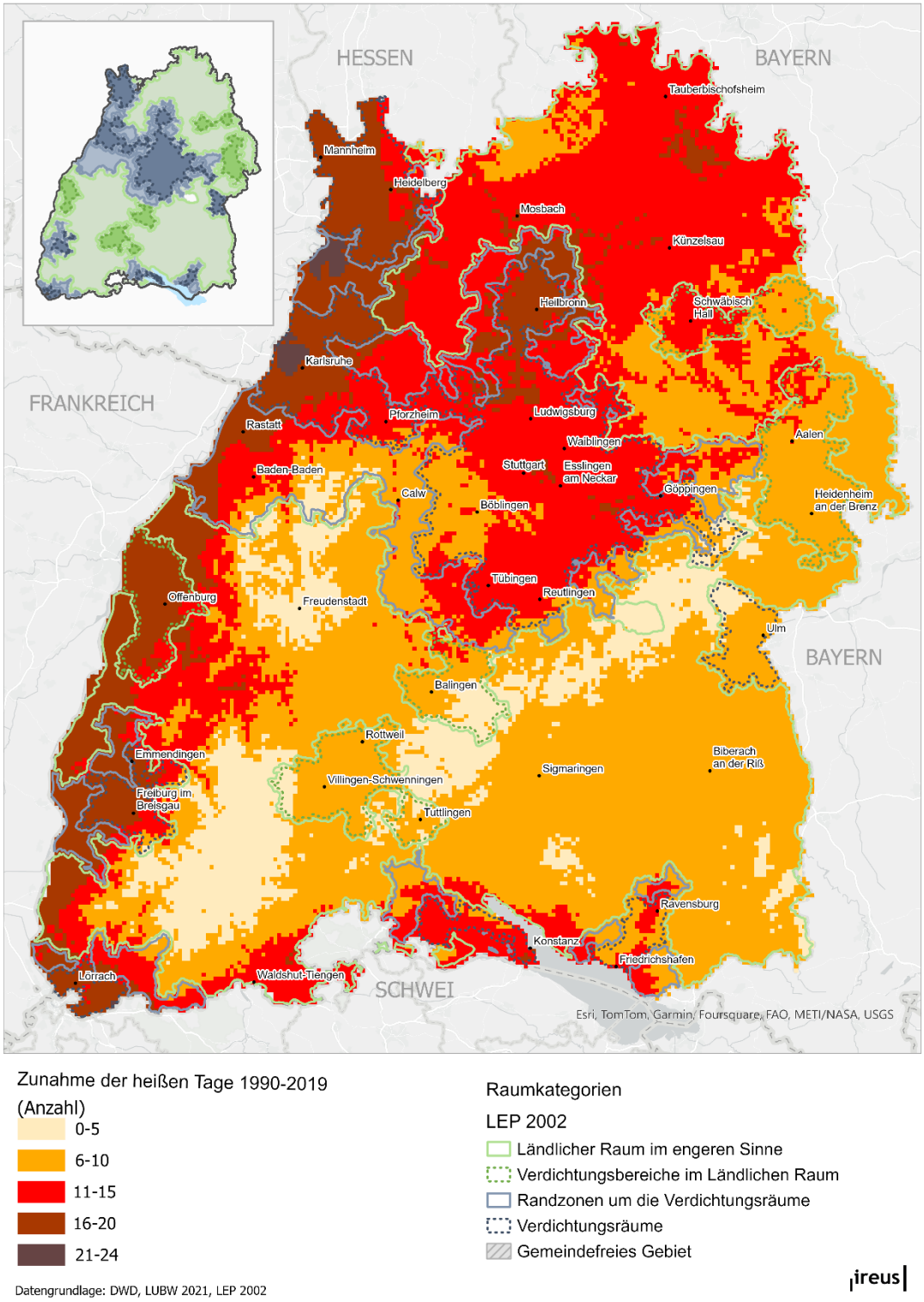


Abbildung 1: Veränderung der Anzahl heißer Tage 1990 – 2019

Datenquelle: Deutscher Wetterdienst 2022, Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg 2021, Landesentwicklungsplan Baden-Württemberg 2022

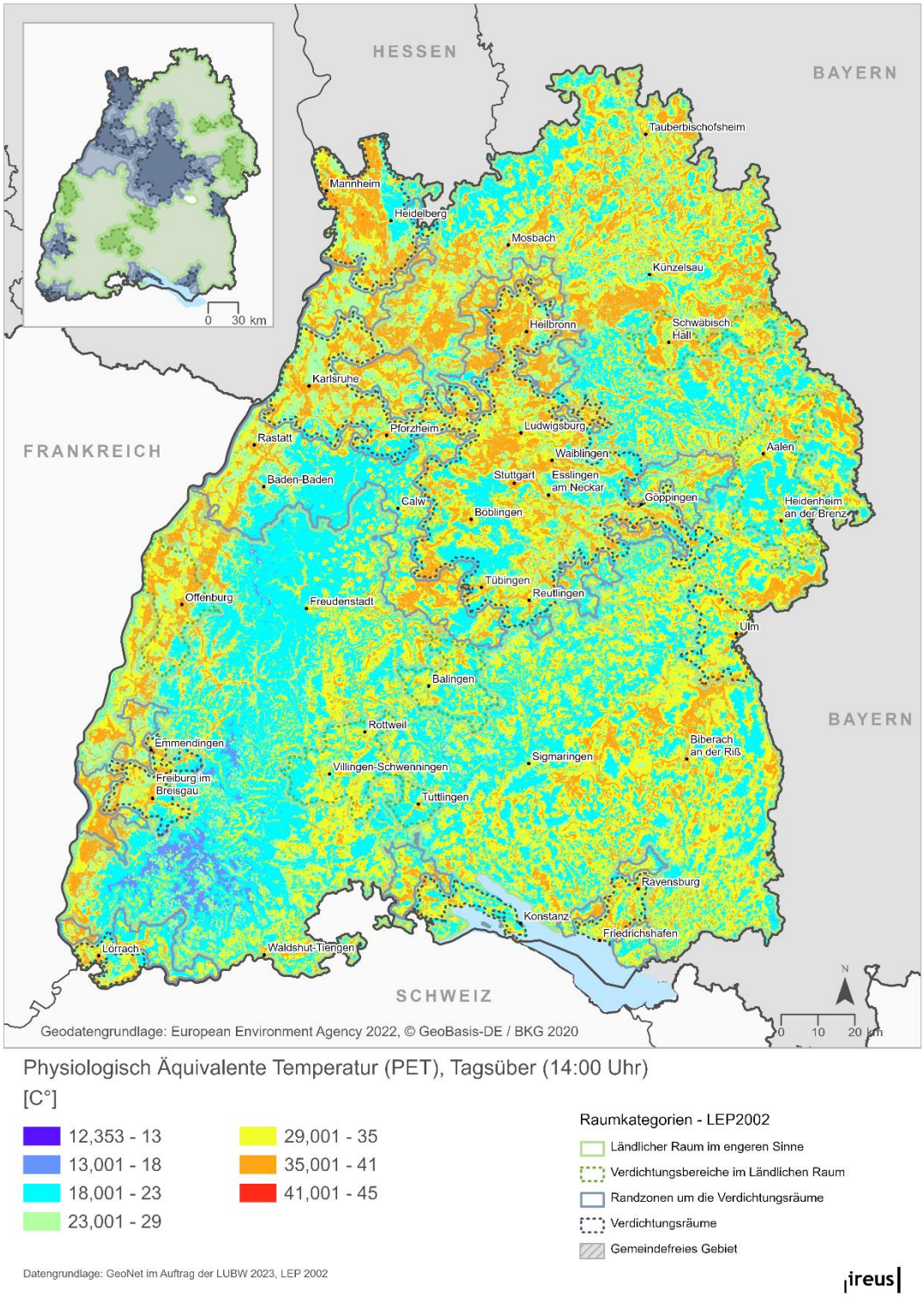


Abbildung 2: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET)

Datenquelle: GEO-NET im Auftrag von der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Landesentwicklungsplan Baden-Württemberg 2022

Bei der weiteren Risikobetrachtung zeigt sich, dass bezogen auf die relative verwundbare Bevölkerung die Verdichtungsräume als besondere Herausforderung anzusehen sind (Abbildung 3). Ähnliche Ergebnisse zeigt die Betrachtung der absoluten älteren Bevölkerung. Auch das absolute Risiko gegenüber Hitze ist in den Verdichtungsräumen hoch (Abbildung 4). Die Verdichtungsräume sowohl in Bezug auf die thermische Belastung, als auch in Bezug auf die absolute Anzahl an verwundbaren Menschen als Prioritätsräume anzusehen. Als besondere Hotspots fallen dabei in der Raumanalyse folgende Städte besonders auf: Stuttgart, Mannheim, Karlsruhe, Heilbronn, Freiburg, Reutlingen, Tübingen, Böblingen, Ludwigsburg, Waiblingen und Esslingen. Diesen Städten ist gemein, dass sie allen Bestandteil von Verdichtungsräumen sind (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4). Die meisten dieser Städte können allerdings nur durch Stadt-Umland Kooperationen den Funktionsraum abdecken, um hinreichend den Schutz von Kaltluftschneisen abzusichern. D.h. in Stuttgart (Verband Region Stuttgart 2005) und Böblingen (Stadt Böblingen 2019) sowie in vielen anderen Städten liegen wichtige Kaltluftentstehungsgebiete oder auch wichtige Teile der Kaltluftschneisen außerhalb der eigenen Gemeindegrenzen.

Bedenkt man zudem, dass gewisse Bereiche/Gemeinden des Ländlichen Raums und der Randzonen um die Verdichtungsräume, insbesondere im Raum zwischen Heilbronn, Heidelberg und Karlsruhe bzw. Mannheim, einen erheblichen Bevölkerungszuwachs in den vergangenen Jahren verzeichnet haben, bestätigt sich ebenfalls, dass der Verdichtungsraum in der Gesamtbetrachtung des Landes eine überproportionale thermische Belastung aufweist (siehe Abbildung 4). Zudem befinden sich – wie oben skizziert – im Verdichtungsraum absolut gesehen die meisten Menschen, die als besonders vulnerabel zu klassifizieren sind. In dieser Hinsicht zeigt die Verknüpfung von Hitzegefahren und Vulnerabilität (vulnerable Bevölkerung) im Rahmen der Risikobetrachtung (siehe Abbildung 3), dass die Kernbereiche der Verdichtungsräume bezogen auf Hitzerisiken eine besondere Aufmerksamkeit benötigen.

Insgesamt sollten für die Verdichtungsräume daher spezifische Ziele und Grundsätze formuliert werden, die Hitzerisiken mindern. Auch der urbane Hitzeinseleffekt ist tendenziell in den Verdichtungsräumen stärker ausgeprägt als in anderen Raumkategorien, so dass dem Thema Entsiegelung, Durchlüftung und Zugang zu verschattetem Grün in dieser Raumkategorie ein besonders hoher Stellenwert zukommt. Während auf kommunaler oder Bauobjektebene Ansätze, wie Dach- und Fassadenbegrünungen gewisse Kühlungspotenziale aufweisen, ist es unabdingbar auch auf der Ebene der Landes- und Regionalplanung entsprechende Ziele und Grundsätze zu formulieren, da beispielsweise die Funktionsräume von Kalt- und Frischluftschneisen oftmals über die kommunalen Grenzen hinaus reichen

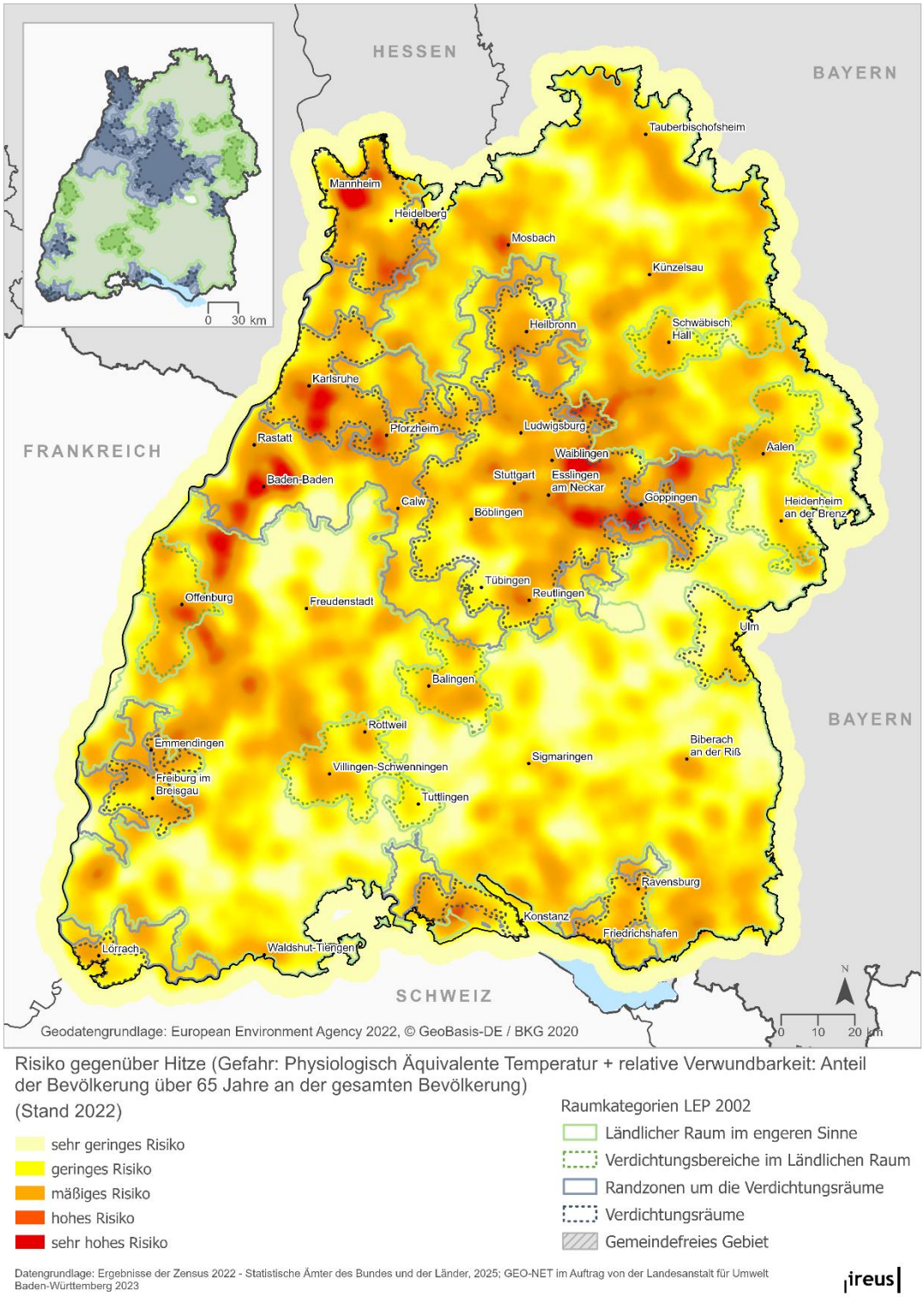


Abbildung 3: Risiko gegenüber Hitze (auf Basis der relativen sozialen Verwundbarkeit)

Datengrundlage: GEO-NET im Auftrag von der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2023

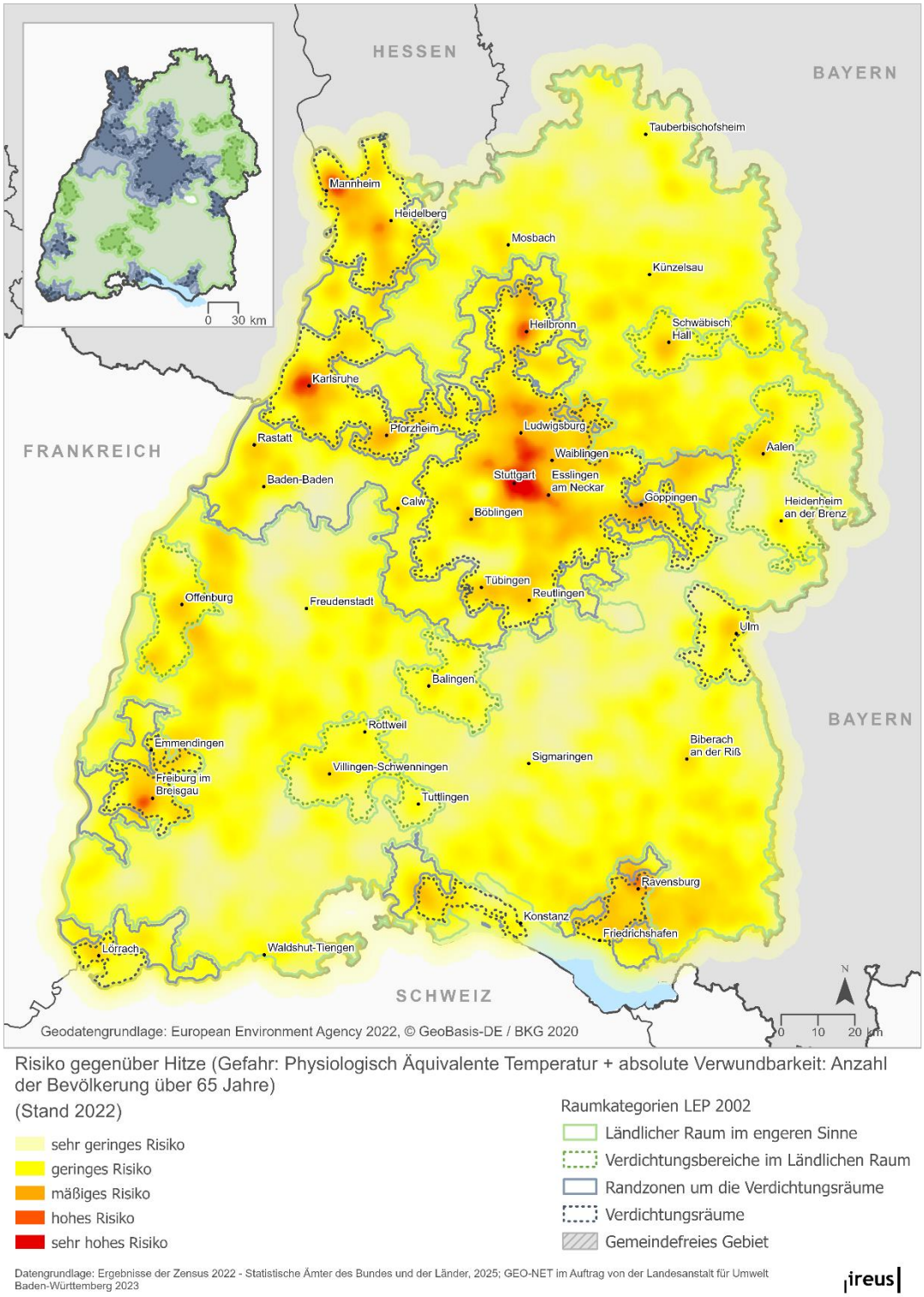


Abbildung 4: Risiko gegenüber Hitze (auf Basis der absoluten sozialen Verwundbarkeit)

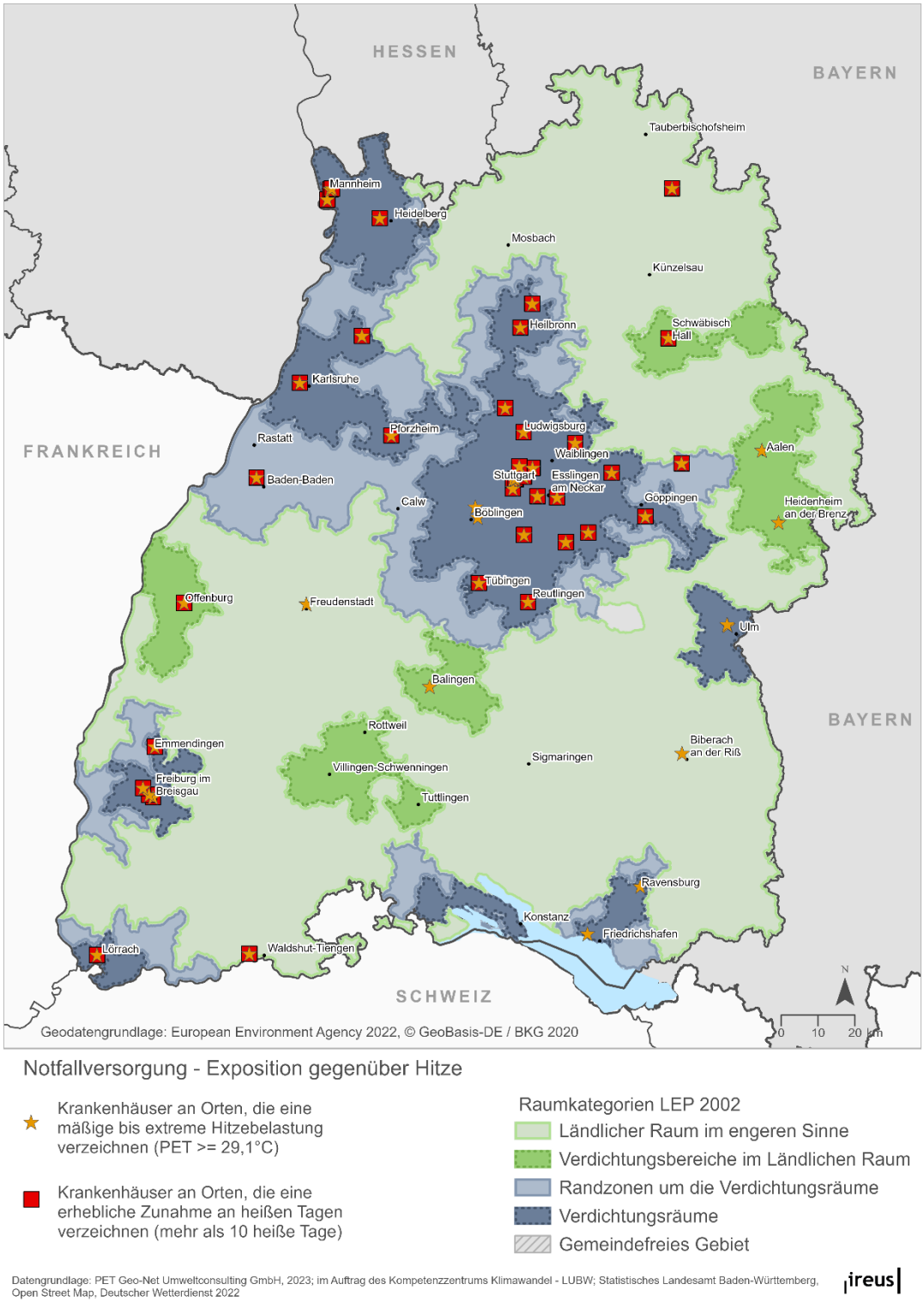
Datengrundlage: GEO-NET im Auftrag von der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Bundesagentur für Arbeit 2023

4 Exposition von Kritischen und Sensiblen Infrastrukturen gegenüber Hitze

Des Weiteren zeigen die Befunde der Raumanalyse, dass die raumplanerische Vorsorge gegenüber Hitzerisiken auch das Thema Kritische und sensible Infrastrukturen aufgreifen sollte. Ein wichtiges Teilsegment von Kritischen Infrastrukturen ist dabei der Bereich der Krankenhäuser. In dieser Hinsicht zeigen die Untersuchungen im Rahmen der Raumanalyse, dass in Baden-Württemberg rund 50 Krankenhäuser von mäßiger bis extreme Hitze betroffen sind. Von diesen 50 befinden sich 38 in Verdichtungsräumen, zwei in der Randzone und neun im Ländlichen Raum (siehe

Abbildung 5). Während Operationsräume mit Klimaanlagen ausgerüstet sind, ist dies für die Patientenzimmer und Aufenthaltsräume für das Personal nicht immer gegeben. Bei entsprechend extremer Wärmebelastung, beispielsweise bei PET-Werten von über 35 °C, kann es daher zu Beeinträchtigungen der Funktionsfähigkeit und von gesunden Arbeitsverhältnissen kommen. Weitere Ziele zur Minderung von Hitzestress bei entsprechenden Standortplanungen sind daher auch auf überörtlicher Ebene zu formulieren.

Auch bei der Exposition von sensiblen Infrastrukturen gegenüber Hitzestress, wie z. B. im Bereich der Schulen zeigen sich gewisse räumliche Muster bzw. Schwerpunkte. So ergibt die Expositionsanalyse, durch die Betrachtung der Anzahl der Schulen auf der Ebene der Kreise mit den höchsten PET-Werten (>35 °C), dass der Ortenaukreis, sowie die Kreise Esslingen, Ludwigsburg, Karlsruhe, Rhein-Neckar und Mannheim hier eine überproportionale Hitzeexposition von sensiblen Infrastrukturen aufweisen. Demzufolge ist bei der zukünftigen Standortplanung und dem Umbau von sensiblen Infrastrukturen der Vorsorge gegenüber Hitzestress eine hohe Bedeutung beizumessen.



Notfallversorgung - Exposition gegenüber Hitze

Krankenhäuser an Orten, die eine mäßige bis extreme Hitzebelastung verzeichnen (PET >= 29,1°C)

Krankenhäuser an Orten, die eine erhebliche Zunahme an heißen Tagen verzeichnen (mehr als 10 heiße Tage)

Raumkategorien LEP 2002

- Ländlicher Raum im engeren Sinne
- Verdichtungsbereiche im Ländlichen Raum
- Randzonen um die Verdichtungsräume
- Verdichtungsräume
- Gemeindefreies Gebiet

Datengrundlage: PET Geo-Net Umweltconsulting GmbH, 2023; im Auftrag des Kompetenzzentrums Klimawandel - LUBW; Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Open Street Map, Deutscher Wetterdienst 2022

ireus

Abbildung 5: Hitze exponierte Krankenhäuser mit Notfallversorgung, Betrachtung Veränderung heißer Tage und PET

Datengrundlage: GEO-NET im Auftrag von der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Open Street Map, Deutscher Wetterdienst 2022

5 Risikobetrachtung Hochwasser

Hochwassergefahren und Hochwasserrisiken konzentrieren sich entlang von Gewässern, wobei nicht nur Räume an großen Flüssen, wie dem Rhein bedeutsam sind, sondern auch entlang kleinerer Flüsse und Gewässer eine erhebliche Exposition von Siedlungen gegenüber Hochwassergefahren in Baden-Württemberg besteht. Bezogen auf die Raumkategorien sind dabei sowohl Verdichtungsräume, als auch die Randzonen und Ländliche Räume von Hochwasserrisiken betroffen. Beispielsweise sind rund 20 % der Flächen der Gemeinden entlang des Rheins bei einem HQ-extrem von Hochwasser potenziell überflutet. Dies zeigt die Bedeutung des Themas für die Landes- und Regionalplanung auf.

Anzumerken ist, dass das Land Baden-Württemberg ein Informationsportal zu den Themen Starkregen und Hochwasser eingerichtet hat (www.hochwasser.baden-wuerttemberg.de). Auf diesem Portal sind Gefahrenkarten für mehr als 12.000 km Gewässer (z.B. HQ10, HQ100 und HQextrem) sowie Risikokarten zu finden. Dieses Portal enthält wertvolle und nützliche Informationen für die lokale Planung. Es ist nicht nur für die öffentliche Verwaltung, sondern auch für interessierte Bürger zugänglich. Die Gefahren- und Risikokarten sowie zusätzliche Informationen wie z.B. die Überflutungstiefe können im interaktiven Dienst Umwelt-Daten und Karten Online (UDO) der LUBW abgerufen werden. Darüber hinaus wird auf kommunaler Ebene ein Service zur Risikobewertung angeboten, der von den Gemeinden selbst angefordert werden kann. Dieser Service ist über das Fachinformationssystem Hochwasserrisikomanagement (FIS HWRM) verfügbar. Während die Wasserwirtschaft vielfach sog. Bemessungshochwasser (HQ-100, HQ-extrem) im Fokus hat, zielt die Raumanalyse auf die Ermittlung der unterschiedlichen Exposition von Gemeinden und Siedlungsräumen gegenüber Hochwassergefahren sowie auf die Abschätzung der Vulnerabilität und des Risikos ab. In dieser Hinsicht werden insbesondere vier unterschiedliche Indikatoren analysiert. Erstens wird der Anteil der Flächen, die bei einem HQ-100 von Hochwasser betroffen sind an der gesamten Gemeindefläche (Gemarkungsfläche der jeweiligen Gemeinde) berechnet. Dies zeigt an, welche Gemeinden besonders hochwasserexponiert sind (siehe Abbildung 6 und Abbildung 7). In 26 Gemeinden in Baden-Württemberg liegt der Anteil der Flächen, die im HQ-100 Bereich liegen bei über 20 %. Bezogen auf die Raumkategorien ist festzustellen, dass bei Gewässern erster Ordnung rund 4,8 % der Flächen der Verdichtungsräume, rund 3 % der Fläche der Randzone und 2,4 % der Flächen des Ländlichen Raums von einem HQ-100 betroffen sind.

Da zunehmend auch die HQ-100 Linien sich im Kontext des Klimawandels verschieben, untersucht die Raumanalyse auch den Anteil der Flächen, die bei einem HQ-extrem von Hochwasser betroffen sind (siehe Abbildung 7). Die Befunde zeigen, dass bezogen auf die Extremhochwassergefahren Gemeinden entlang des Rheins, des Neckar und der Donau besonders exponiert sind, wobei auch im Ländlichen Raum bei kleineren Flüssen erhebliche Expositionswerte vorliegen können.

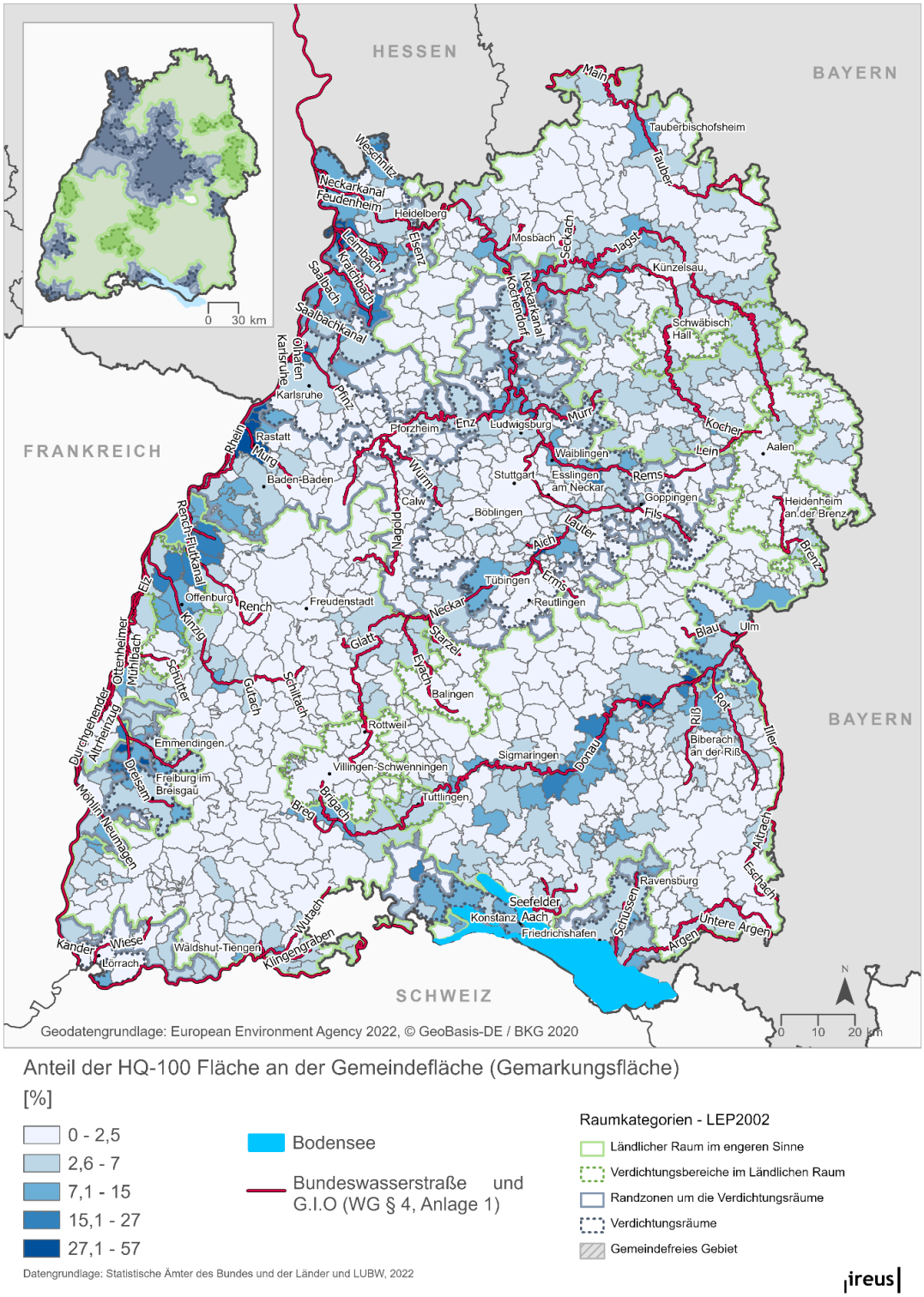


Abbildung 6: Anteil der HQ-100 Fläche an der Gemeindefläche (Gemarkungsfläche)

Datengrundlage: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Statistisches Ämter des Bundes und der Länder 2022

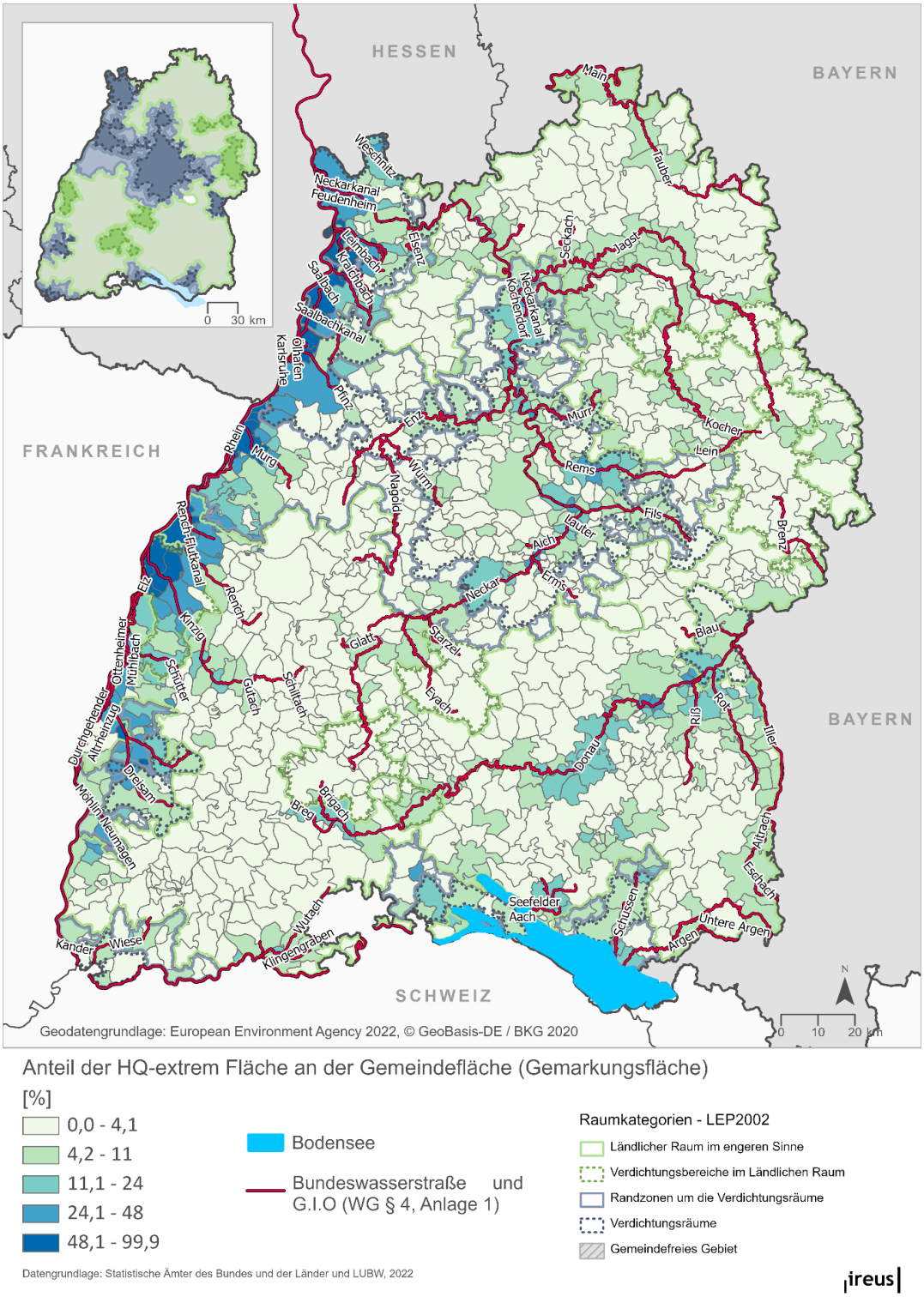


Abbildung 7: Anteil der HQ-extrem Gebiete an der Gemeindefläche (Gemarkungsfläche)

Datengrundlage: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Statistisches Ämter des Bundes und der Länder 2022

Während diese beiden ersten Indikatoren die Hochwassergefahr auf die Gemeindefläche (gesamte Gemarkungsfläche der Gemeinde) beziehen, fokussieren weitere Indikatoren (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9) den Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche (SuV) innerhalb der HQ-Flächen (HQ-100 und HQ-extrem). Die Berechnung und GIS-Analyse zeigt im Vergleich zur Betrachtung der betroffenen Gemeindefläche deutlich andere räumliche Hotspots der Hochwassergefahrenexposition auf. So finden sich besonders Gemeinden entlang kleinerer Flüsse mit relativ hohen Anteilen der Siedlungs- und Verkehrsfläche an den HQ-Gebieten. Auffällig sind hier auch besondere Schwerpunkte im Bereich der Ländlichen Räume, wie z. B. im Schwarzwald oder auch entlang kleinerer Flüsse und Gewässer, wie der Fils, der Erms und der Rems (siehe Abbildung 8). In dieser Hinsicht erscheinen auch Schutzziele für Kritische und sensible Infrastrukturen im Bereich der HQ-extrem Gebiete sinnvoll.

Die Siedlungslast wird berechnet, indem die Siedlungs- und Verkehrsflächen innerhalb des HQ-Gebietes (HQ-100 bzw. HQ-extrem) zum gesamten Überschwemmungsgebiet (HQ-100 und HQ-extrem) ins Verhältnis gesetzt wird. D.h. es geht um den Anteil der Siedlungs- und Verkehrsflächen bezogen auf den Raum der potenziell von einem Hochwasser betroffen ist (HQ-100 oder HQ-extrem). Dabei zeigen sich einerseits deutliche räumliche Unterschiede entlang unterschiedlicher Gewässer und andererseits werden auch deutliche Unterschiede zwischen den Raumkategorien ersichtlich. Beispielsweise weisen Gemeinden, die zum Verdichtungsraum zählen, deutlich höhere Werte als die Randzone und der Ländliche Raum auf, wobei regionale Unterschiede das Bild bestimmen.

So liegt der Anteil der Siedlungsfläche an den potenziell von Hochwasser betroffenen Flächen bei einem HQ-100 für Gemeinden im Verdichtungsraum bei rund 19 %, wohingegen dieser Wert auf 33 % ansteigt, wenn die HQ-extrem Flächen betrachtet werden. Danach folgt die Randzone mit einem Anteil von 13 % Siedlungs- und Verkehrsfläche an den HQ-100 Flächen und 18 % bei den HQ-extrem Flächen. In der Raumkategorie Ländlicher Raum liegt der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche an den HQ-100 Flächen bei rund 11 % und bei 16 % in Bezug auf HQ-extrem (siehe Abbildung 9).

Darüber hinaus wird neben der Beurteilung der Ist-Situation, auch die Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen innerhalb der HQ-Flächen näher betrachtet. Dadurch ist zu erkennen in welchen Räumen eine deutliche Zunahme der Exposition durch die Siedlungstätigkeit erfolgte. Aufgrund des Mangels an räumlichen Daten über Siedlungs- und Verkehrsflächen für das Jahr 2000 ist es allerdings nicht möglich, die genaue Veränderung der SuV in den HQ-Gebieten zu bestimmen. Es ist jedoch möglich, die Entwicklung der SuV auf der Ebene der Raumkategorien (und auf kommunaler Ebene) zu ermitteln (Tabelle 1). Auf der Ebene der Raumkategorien (Siedlungs- und Verkehrsfläche gemäß Statistischen Landesamt Baden-Württemberg) ist dabei im Zeitraum 2000–2021 ein höherer Anstieg der SuV im

Ländlichen Raum (+15,53 %) und in den Randzonen um die Verdichtungsräume (+15,05 %) als in den Verdichtungsräumen (+9,76 %) zu beobachten. Dies unterstreicht, wie wichtig es ist, die Zunahme der SuV in einem kleineren Maßstab zu beobachten, um zu quantifizieren und zu bestimmen, welche Gemeinden im Ländlichen Raum und in den Randzonen um die Verdichtungsräume eine höhere Exposition aufweisen.

Tabelle 1: Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen (SuV) im Zeitraum 2000 – 2021 in den Raumkategorien nach LEP 2022

Raumkategorien LEP 2002	Siedlungs- und Verkehrsfläche Entwicklung nach RK LEP2002 [%] für den Zeitraum 2000 – 2021
Verdichtungsräume	9,76
Randzonen um die Verdichtungsräume	15,05
Verdichtungsbereiche im Ländlichen Raum	13,02
Ländlicher Raum im engeren Sinne	15,53

Datengrundlage: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2022

Wenn man die soziale Verwundbarkeit (Menschen über 65) mit den HQ-extrem-Gebieten überlagert, werden gewisse Risiko-Hotspots sichtbar. Die Abbildung 10 zeigt den Anteil der Bevölkerung über 65 Jahre an der Gesamtbevölkerung (relative Verwundbarkeit), die von Überschwemmungen potenziell betroffen sind (HQ-extrem). Risiko-Hotspots lassen sich in den Gebieten am Neckar (Mannheim, Weinheim, Eberbach), an der Kinzig (Kehl, Willstätt), an der Rems (Schorndorf) und an der Murr (Murrhardt) erkennen. In gleicher Weise, aber unter Berücksichtigung der absoluten Verwundbarkeitswerte, lassen sich Räume entlang des Neckars bei Mannheim und Stuttgart sowie in der Nähe von Karlsruhe als besondere Hotspots identifizieren. Hierbei ist allerdings zu bedenken, dass die bestehenden Hochwasserschutzmaßnahmen nur in Teilen bei diesem Überblick Berücksichtigung finden.

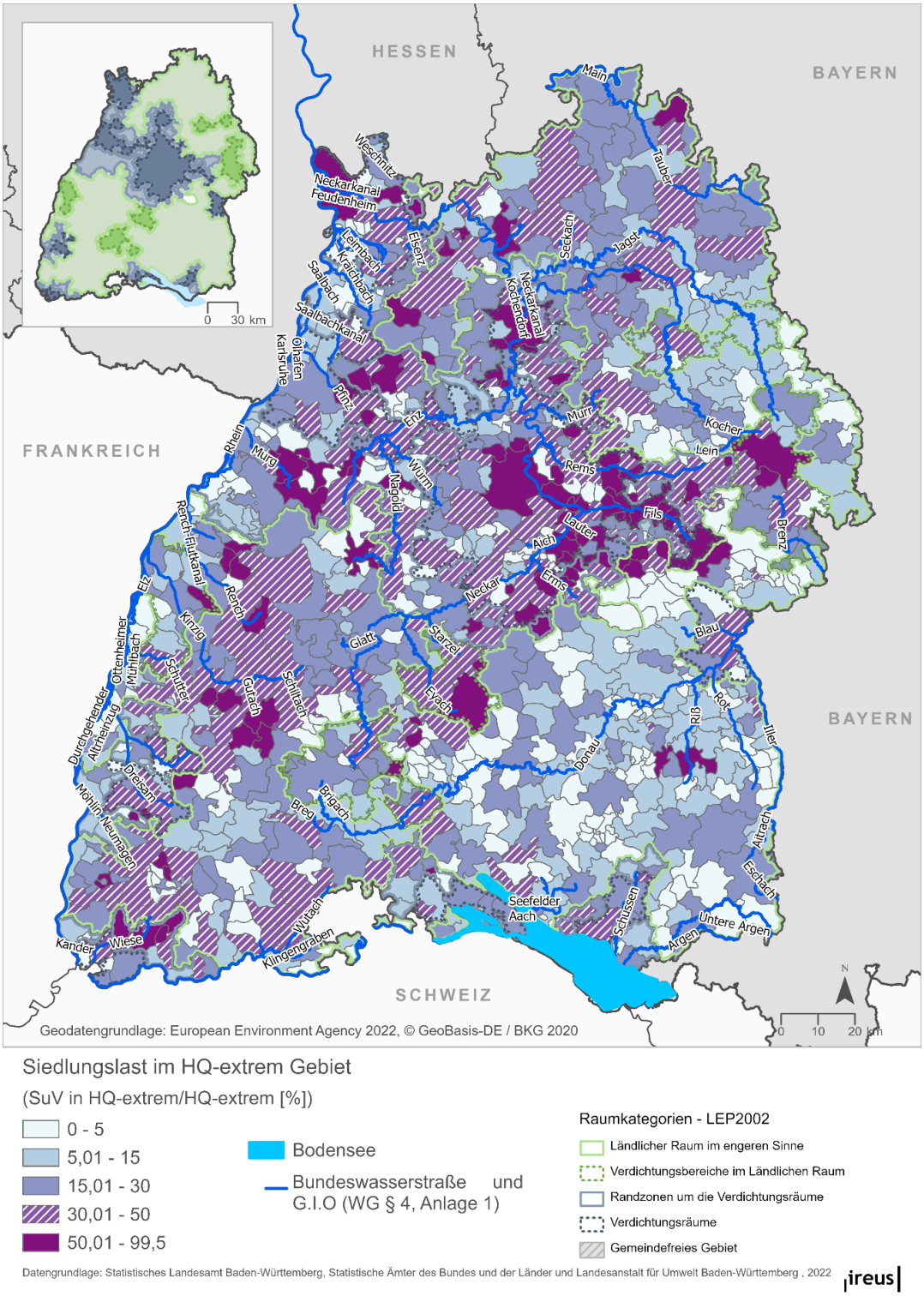


Abbildung 8: Siedlungslast im HQ-extrem Gebiet

Datengrundlage: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Statistisches Ämter des Bundes und der Länder, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2022

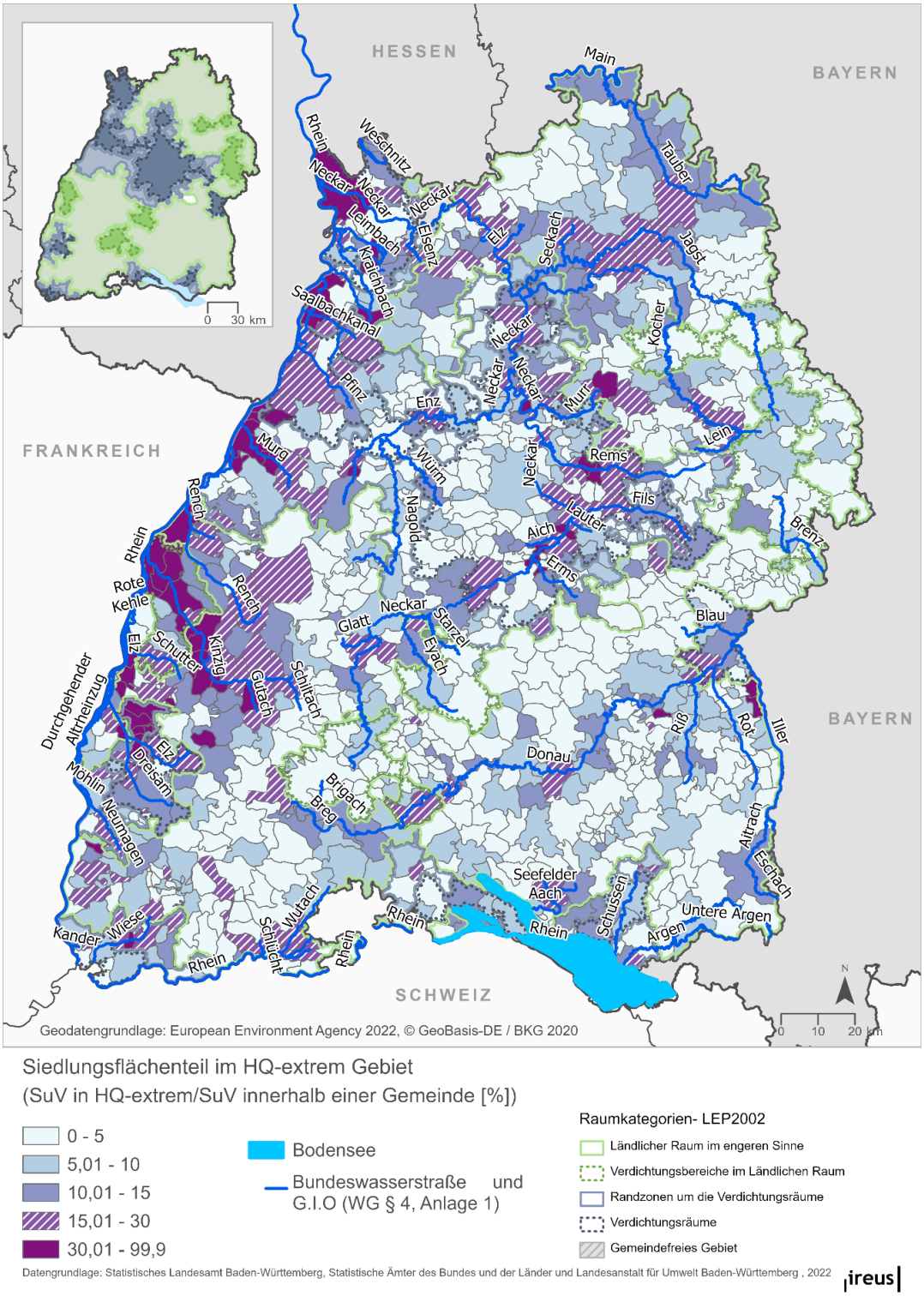
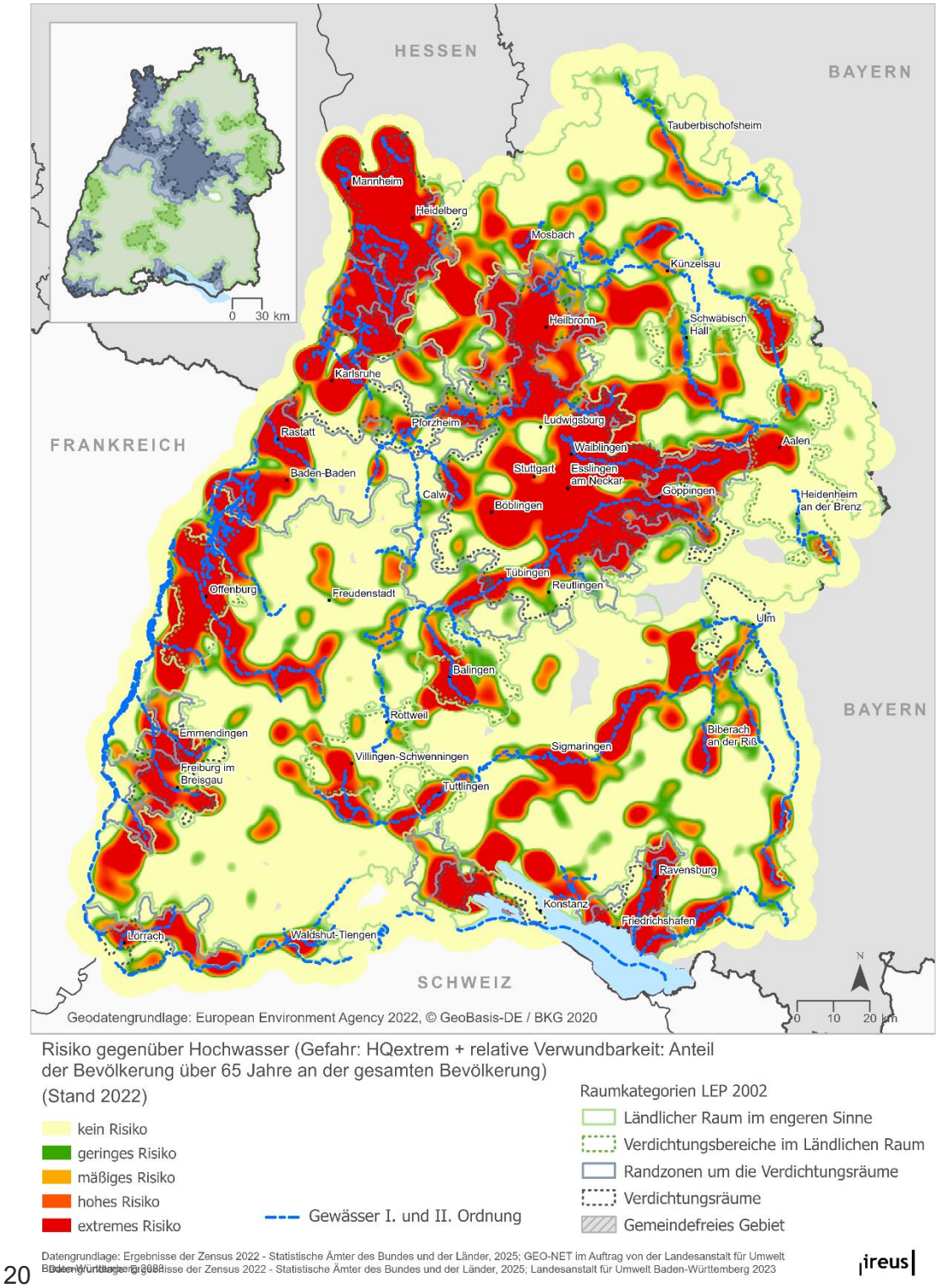


Abbildung 9: Siedlungsflächenanteil im HQ-extrem Gebiet

Datengrundlage: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Statistisches Ämter des Bundes und der Länder, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2022



20

Abbildung 10: Risiko gegenüber Hochwasser (auf Basis der relativen sozialen Verwundbarkeit)

Datengrundlage: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg , Statistisches Ämter des Bundes und der Länder, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2022

6 Exposition von Kritischen und Sensiblen Infrastrukturen gegenüber Hochwasser

Kritische Infrastrukturen gewährleisten die Bereitstellung von wichtigen Dienstleistungen und tragen maßgeblich zum Funktionieren moderner Gesellschaften bei. Nach § 2 Abs. 2 Nr. 3 und § 4 Raumordnungsgesetz sind diese Kritischen Infrastrukturen besonders zu schützen – auch vor sog. Extremereignissen. Die aktuelle Datenlage zum Bereich der Kritischen und sensiblen Infrastrukturen ist jedoch begrenzt. Unbeschadet dessen zeigen sich bei der Auswertung von Daten aus dem Energiesektor (Umspannwerke) und im Bereich der medizinischen Versorgung (Krankenhäuser) deutliche Expositionsmuster.

Der Energiesektor ist mit dem Wasser- und dem Gesundheitssektor eng verknüpft. Krankenhäuser und Wasserinfrastrukturen brauchen Energie, um zu funktionieren. Im Falle einer Unterbrechung der Stromerzeugung müssten die Gesundheits- und Wasserinfrastrukturen ihre Notstromquellen nutzen, die allerdings nur für eine begrenzte Zeit in Betrieb sein können. Wird diese Zeit überschritten, wären viele Patienten, die z. B. an Geräten angeschlossen sind, massiv (teilweise tödlich) betroffen. Im Folgenden wird daher die räumliche Exposition ausgewählter Kritischer Infrastrukturen im Bereich Gesundheit (Krankenhäuser mit Notfallversorgung) und Energieversorgung (Umspannwerke) bezogen auf Hochwasser (HQ-extrem Gebiet) analysiert (siehe Abbildung 11).

Die Auswertung zeigt, dass sich 6 von 117 Krankenhäuser mit Notfallversorgung in Baden-Württermberg in HQ-extrem-Gebieten befinden (siehe Abbildung 11). Davon haben drei mehr als 10.000 stationäre Fälle pro Jahr. Dies sind das Diakonissenkrankenhaus Mannheim (Mannheim), das Theresienkrankenhaus (Mannheim) und das Rems-Murr-Klinikum Winnenden (Winnenden). Auch das Ortenau Klinikum Offenburg-Kehl in Kehl (mit mehr als 3.000 stationären Fällen pro Jahr) befindet sich an einem Standort, der potenziell von einem HQ-extrem getroffen werden kann (siehe Tabelle 2).

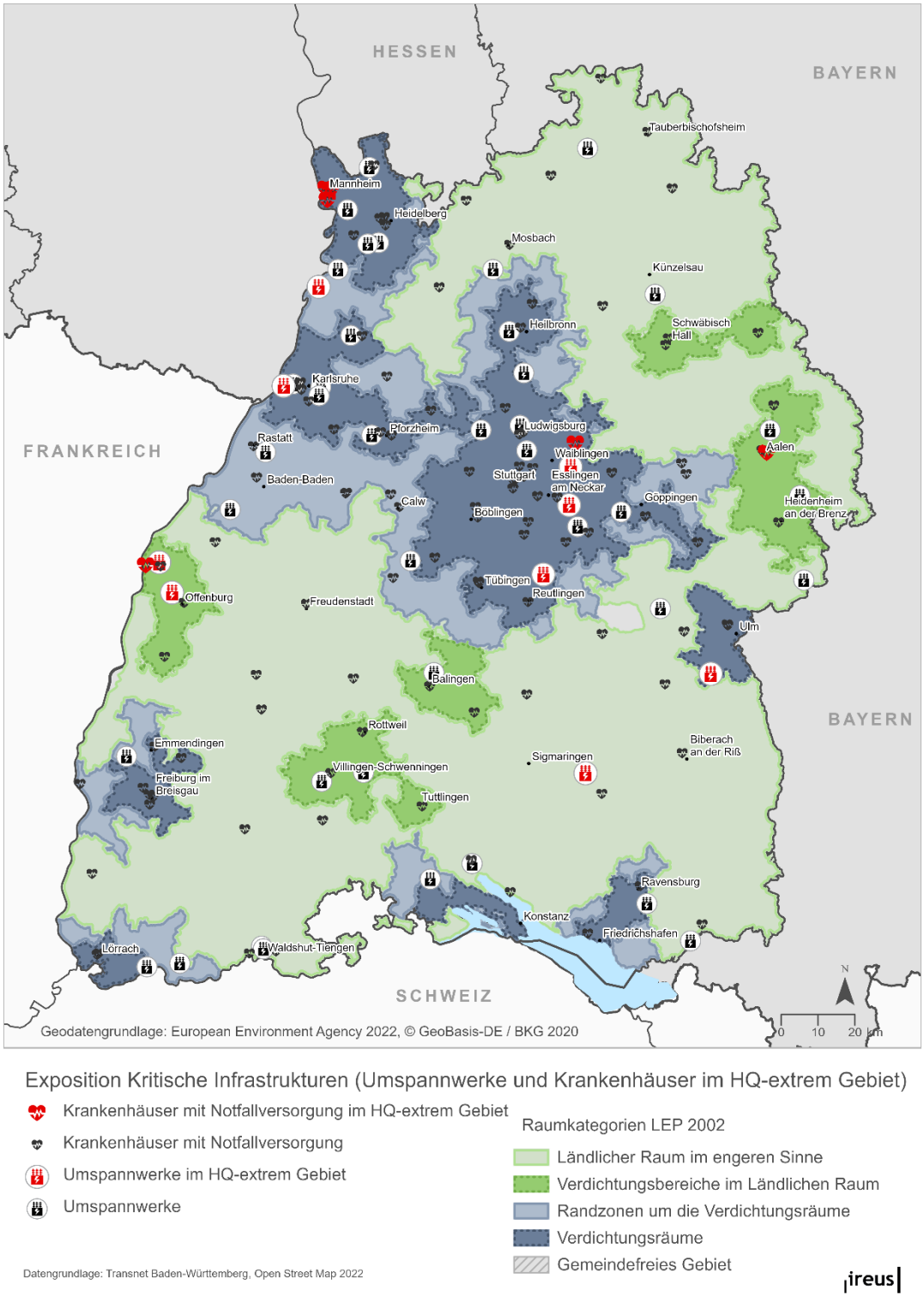


Abbildung 11: KRITIS - Umspannwerke und Krankenhäuser mit Notfallversorgung auf HQ-extrem Gebiet

Datengrundlage: Transnet Baden-Württemberg, Open Street Map 2022

Tabelle 2: Krankenhäuser mit Notfallversorgung auf HQ-extrem

Name	Adresse	PLZ	Gemeinde	Stationäre Fälle (Anzahl)
Kliniken Ostalb gkAöR	Hirschbachstr. 60	73431	Aalen	nicht verfügbar
Zentralinstitut für Seelische Gesundheit (ZI) KdöR	J5 1	68159	Mannheim	nicht verfügbar
Ortenau Klinikum Offenburg-Kehl | Standort Kehl	Kanzmattstraße 2	77694	Kehl	3183
Diako Mannheim gGmbH	Speyerer Straße 91-93	68163	Mannheim	14408
Theresienkrankenhaus und St. Hedwig Klinik GmbH	Bassermannstraße 1	68165	Mannheim	15561
Rems-Murr-Kliniken gGmbH	Am Jakobsweg 1	71364	Winnenden	32977

Datengrundlage: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Klinikradar 2022

Auch im Bereich der Stromversorgung sind Umspannwerke vielfach vor dem Einfluss von Hochwassergefahren besonders zu schützen. Der Schutz solcher Infrastrukturen in konkreten Ereignissen erfordert erhebliches Personal und Material, was mit hohen Kosten verbunden ist. Der Ausfall von Umspannwerken kann zu Stromausfällen für ganze Regionen führen. Die Raumanalyse zeigt, dass in Baden-Württemberg 9 von 48 Umspannwerken gegenüber einem HQ-extrem exponiert sind (siehe Abbildung 11). Fünf davon befinden sich in den Verdichtungsräumen, ein Umspannwerk liegt in der Randzone und zwei in den Verdichtungsbereichen des Ländlichen Raums sowie ein weiteres Umspannwerk im Ländlichen Raum.

Demzufolge ist der Schutz dieser Kritischen Infrastruktur für alle Raumkategorien relevant, wobei eine gewisse räumliche Konzentration in den Verdichtungsräumen zu erkennen ist.

7 Literaturverzeichnis

Birkmann, Jörn, 2007. Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies. Choice Rev. Online 45, 45-0295-45–0295. https://doi.org/10.5860/CHOICE.45-0295

Bucherie, A., Hultquist, C., Adamo, S., Neely, C., Ayala, F., Bazo, J., Kruczkiewicz, A., 2022. A comparison of social vulnerability indices specific to flooding in Ecuador: principal component analysis (PCA) and expert knowledge. Int. J. Disaster Risk Reduct. 73, 102897. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.102897

BSI-Kritisverordnung - BSI-KritisV. Verordnung zur Bestimmung Kritischer Infrastrukturen nach dem BSI-Gesetz 2016. BSI-Kritisverordnung vom 22. April 2016 (BGBl. I S. 958), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 29. November 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 339) geändert worden ist

Chan, S.W., Abid, S.K., Sulaiman, N., Nazir, U., Azam, K., 2022. A systematic review of the flood vulnerability using geographic information system. Heliyon 8, e09075. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09075

Chang, H., Pallathadka, A., Sauer, J., Grimm, N.B., Zimmerman, R., Cheng, C., Iwaniec, D.M., Kim, Y., Lloyd, R., McPhearson, T., Rosenzweig, B., Troxler, T., Welty, C., Brenner, R., Herreros-Cantis, P., 2021. Assessment of urban flood vulnerability using the social-ecological-technological systems framework in six US cities. Sustain. Cities Soc. 68, 102786. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102786

Fekete, A., Rufat, S., 2023. Should everyone in need be treated equally? A European survey of expert judgment on social vulnerability to floods and pandemics to validate multi-hazard vulnerability factors. Int. J. Disaster Risk Reduct. 85, 103527. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103527

García, I., Hernandez, N., 2023. “They’re just trying to survive”: The relationship between social vulnerability, informal housing, and environmental risks in Loíza, Puerto Rico, USA. World Dev. Sustain. 2, 100062. https://doi.org/10.1016/j.wds.2023.100062

Henninger, S., Weber, S., 2019. Stadtklima, 1. ed. Brill | Schöningh, Padeborn, Deutschland.

IPCC, 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

Khajehei, S., Ahmadalipour, A., Shao, W., Moradkhani, H., 2020. A Place-based Assessment of Flash Flood Hazard and Vulnerability in the Contiguous United States. Sci. Rep. 10, 448. https://doi.org/10.1038/s41598-019-57349-z

Klinikradar. www.klinikradar.de (zuletzt abgerufen am 29.01.2025)

Krausmann, E., Girgin, S., Necci, A., 2019. Natural hazard impacts on industry and critical infrastructure: Natech risk drivers and risk management performance indicators. Int. J. Disaster Risk Reduct. 40, 101163. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101163

Kuttler, W., 2013. Klimatologie, 2. ed, Grundriss Allgemeine Geographie. Brill | Schöningh, Padeborn, Deutschland.

Matzarakis, A.; Mayer, H., 1996: Another Kind of Environmental Stress: Thermal Stress. NEWSLETTERS No. 18, 7-10. WHO Colloborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control

Malczewski, J., 2000. On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches. Trans. GIS 4, 5–22. https://doi.org/10.1111/1467-9671.00035

Malczewski, J., Rinner, C., 2015. Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science, Advances in Geographic Information Science. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74757-4

Maragno, D., Dalla Fontana, M., Musco, F., 2020. Mapping Heat Stress Vulnerability and Risk Assessment at the Neighborhood Scale to Drive Urban Adaptation Planning. Sustainability 12, 1056. https://doi.org/10.3390/su12031056

Müller, A., Reiter, J., Weiland, U., 2011. Assessment of urban vulnerability towards floods using an indicator-based approach – a case study for Santiago de Chile. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 11, 2107–2123. https://doi.org/10.5194/nhess-11-2107-2011

Oke, T., Mills, G., Christen, A., Voogt, J., 2017. Urban Climates. Cambridge University Press, Cambridge.

Rinner, C., 2007. Geovisualisierung zur räumlichen Entscheidungsunterstützung 85–92. https://doi.org/10.1007/BF03544030

Stadt Böblingen, 2019. Klimaanpassungskonzept Endbericht.

Vamvakeridou-Lyroudia, L.S., Chen, A.S., Khoury, M., Gibson, M.J., Kostaridis, A., Stewart, D., Wood, M., Djordjevic, S., Savic, D.A., 2020. Assessing and visualising hazard impacts to enhance the resilience of Critical Infrastructures to urban flooding. Sci. Total Environ. 707, 136078. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136078

Verband Region Stuttgart, 2005. Klimaatlas.

8 Anhang

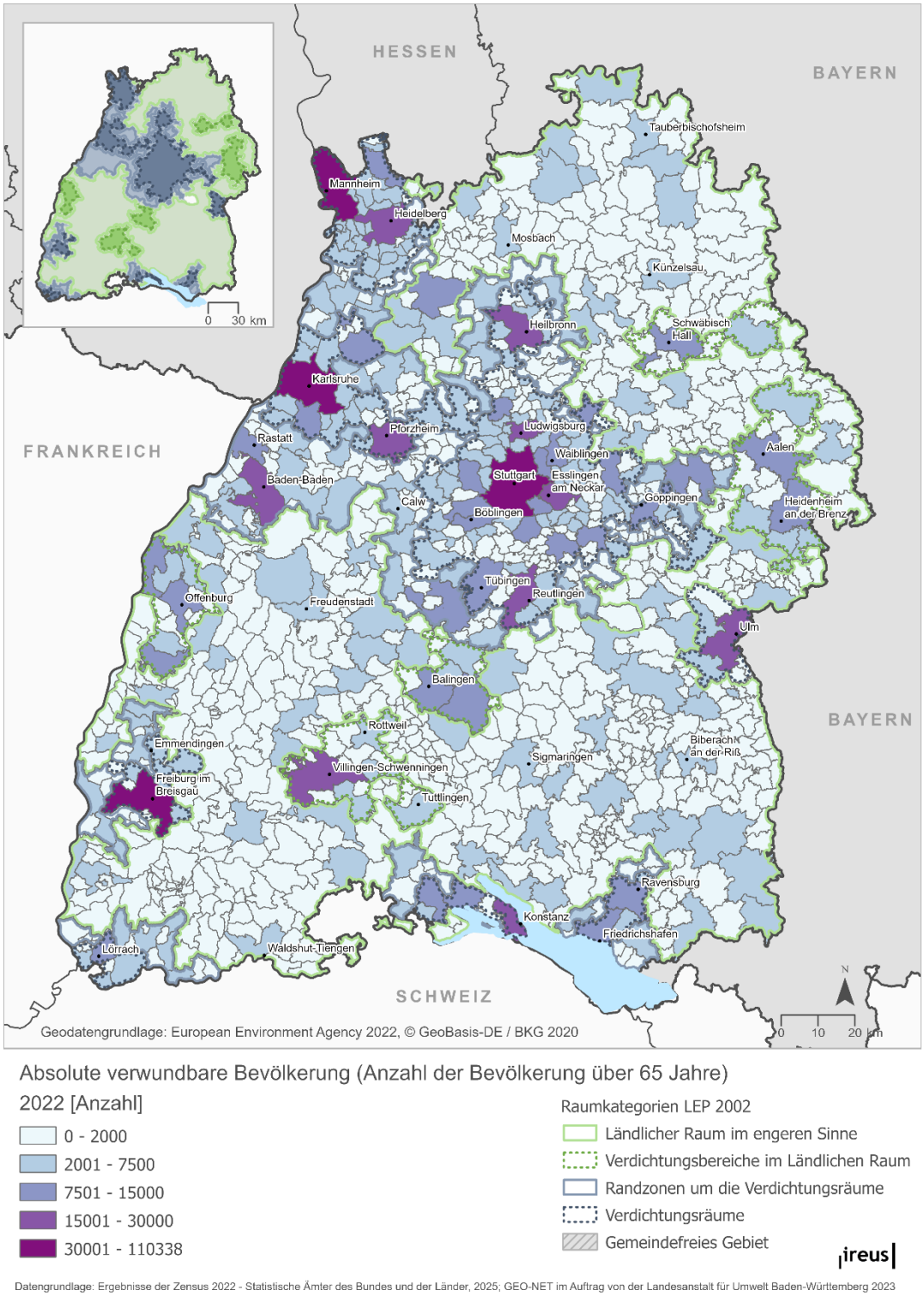
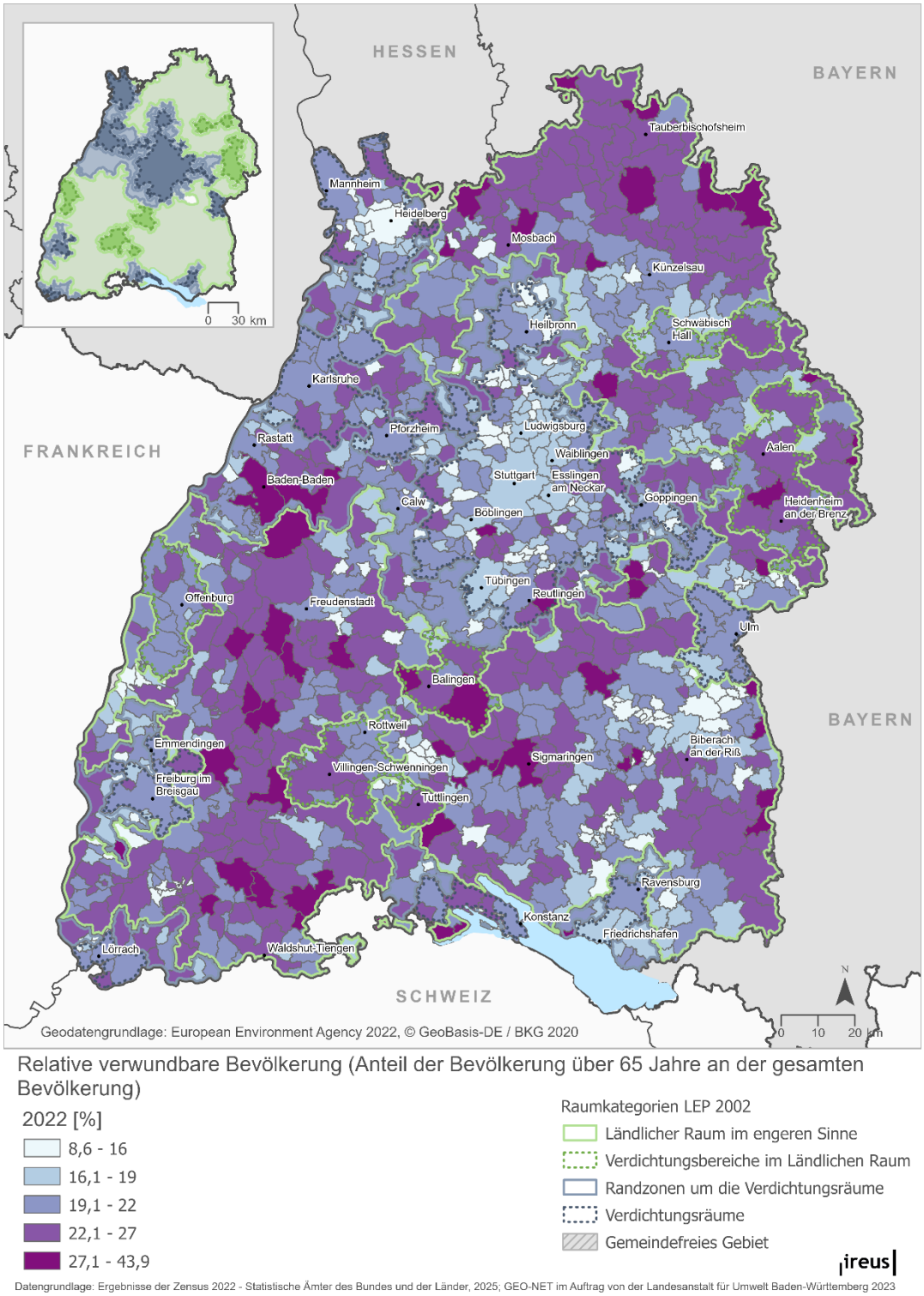


Abbildung A.1: Absolute verwundbare Bevölkerung (>65 Jahre)



Relative verwundbare Bevölkerung (Anteil der Bevölkerung über 65 Jahre an der gesamten Bevölkerung)

2022 [%]

- 8,6 - 16
- 16,1 - 19
- 19,1 - 22
- 22,1 - 27
- 27,1 - 43,9

Raumkategorien LEP 2002

- Ländlicher Raum im engeren Sinne
- Verdichtungsbereiche im Ländlichen Raum
- Randzonen um die Verdichtungsräume
- Verdichtungsräume
- Gemeindefreies Gebiet

ireus

Datengrundlage: Ergebnisse der Zensus 2022 - Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2025; GEO-NET im Auftrag von der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg 2023

Abbildung A.2: Relative verwundbare Bevölkerung (>65 Jahre)