



Forschungsprojekt KritIKlima

Kritische Infrastruktur und Klimawandel in Hessen

Abschlussbericht

Projekträger: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)

Bearbeitung: Justus-Liebig-Universität Gießen
Institut für Geographie
Professur für Raumplanung und Stadtgeographie
Prof. Dr. Christian Diller, Jan Moritz Gros M.Sc.

Projektlaufzeit: Oktober 2022 - Januar 2026

Inhaltsverzeichnis

1. Forschungsvorhaben- und design	1
2. Phase I: Projektbegleitende Arbeitsgruppe und Vorbereitung der empirischen Erhebung.....	6
3. Phase II: Durchführung von Experteninterviews mit Landes- Regional und Fachplanungen.....	13
4. Phase II: Identifikation von Fokusräumen	16
5. Phase III: Durchführung von Fallstudien zum KRITIS-Schutz im Klimawandelkontext	18
5.1.Fallstudie 1: Bad Wildungen	19
5.1.1.Zwischenergebnisse	24
5.2.Fallstudien 2a und 2b: Gießen und Hanau	28
5.2.1.Zwischenergebnisse	31
5.3.Fallstudie 3: Kelsterbach	33
5.3.1.Zwischenergebnisse	35
5.4.Fallstudie 4: Eiterfeld.....	39
5.4.1.Zwischenergebnisse	40
6. Phase V: Ergebnissynthese zur Identifikation planerischer Steuerungsmöglichkeiten	46
7. Limitationen	48
Literaturverzeichnis	49
Anhang	55
Danksagung	56

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: KRITIS-Sektoren in Deutschland	2
Abbildung 2: Arbeitsphasen im Projekt KritIKlima	4
Abbildung 3: Fokusräume im Projekt KritIKlima	16
Abbildung 4: Fallstudien-Kommunen zzgl. sektoralem Fokus im Projekt KritIKlima	18
Abbildung 5: KRITIS Fokus in Fallstudie 1 (a)	20
Abbildung 6: KRITIS Fokus in Fallstudie 1 (b)	21
Abbildung 7: Kartierung ausgewählter KRITIS-Standorte in Bad Wildungen	22
Abbildung 8: Ablauf der Fallstudie 1 (Bad Wildungen)	24
Abbildung 9: Fließpfadkarte mit hervorgehobenen Klinikeinrichtungen (Bad Wildungen)	25
Abbildung 10: Fließpfadkarte mit hervorgehobenen Klinikeinrichtungen (Stadtteil Reinhardshausen)	26
Abbildung 11: Mittlere Hitzebelastung der meteorologischen Sommer 2001-2020 mit hervorgehobenen Klinikeinrichtungen	27
Abbildung 12: KRITIS Fokus in Fallstudien 2a und 2b	29
Abbildung 13: Vorgehen im Rahmen der Fallstudie „Katzenfeld“ in Gießen	30
Abbildung 14: Vorgehen im Rahmen der Fallstudie „Großauheim-Kaserne“ in Hanau	31
Abbildung 15: Aufschlüsselung der KRITIS Wasser	34
Abbildung 16: Vorgehen im Rahmen der Fallstudie zum KRITIS-Sektor Wasser in Kelsterbach	35
Abbildung 17: Maßnahmensystematik hinsichtlich der Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen im Kontext der Wasserinfrastruktur	38
Abbildung 18: Aufschlüsselung der KRITIS Energie mit Fokus auf der Branche Gas	39
Abbildung 19: Fließpfadsituation im Kontext der Gasverdichterstation Reckrod	41
Abbildung 20: Schutzgüter nach § 2 Abs. 1 UVPG	42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einbezogene Variablen und Indikatoren zu Klimadaten	7
Tabelle 2: Variablen der sozioökonomischen Struktur auf Gemeindeebene	11
Tabelle 3: Variablen der demographischen Struktur auf Gemeindeebene	12
Tabelle 4: Experteninterviews in Phase II	13
Tabelle 5: Überblick zur Fallstudie 1 in Bad Wildungen	23
Tabelle 6: Überblick zu Fallstudien 2a und 2b in Gießen, bzw. Hanau	29
Tabelle 7: Überblick zu Fallstudie 3 in Kelsterbach	34
Tabelle 8: Überblick zur Fallstudie 4 in Eiterfeld	40
Tabelle 9: Begründete Bewertung der Umweltauswirkungen in Fallstudie 4	45

1. Forschungsvorhaben- und design

Infrastrukturen sind eine „für die Versorgung eines großen Prozentsatzes der betrachteten Bevölkerung genutzte Struktur, die aus physischen und nicht-physischen Bestandteilen besteht“ (Fekete 2024: 352). Sie weisen nicht nur individuelle, sondern kollektive Nutzeneffekte auf und beeinflussen wirtschaftliche Entwicklung, soziales Zusammenleben sowie ökologische Nachhaltigkeit eines Raums (Schmidt et al. 2018: 976). Als grundlegende, häufig als selbstverständlich wahrgenommene Strukturen bilden sie den Unterbau gesellschaftlicher Funktionsfähigkeit (Fekete 2024: 352).

Im bundesdeutschen Kontext existiert derweil keine einheitliche gesetzliche Definition kritischer Infrastrukturen (KRITIS) (Deutscher Bundestag 2023: 4). Orientierung kann hierbei allerdings die Definition des BBK bieten, wonach KRITIS 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 2023a) beschrieben werden. Aus dieser Definition lassen sich zunächst zwei zentrale Facetten ableiten: Zum einen die besondere Bedeutung bzw. Kritikalität bestimmter Infrastrukturen und zum anderen die Konsequenzen, die mit ihrem Ausfall verbunden sind.

Kritikalität wird hierbei als „relatives Maß für die Bedeutsamkeit einer Infrastruktur“ verstanden, bezogen auf die Konsequenzen einer Störung für die Versorgungssicherheit (BMI 2009: 5). Sie kann systemisch begründet sein, etwa durch eine hohe interdependente Relevanz im Gesamtsystem, oder auch symbolisch, wenn eine Infrastruktur identitätsstiftende Bedeutung trägt (BMI 2009: 5). Kritikalität ist dabei kontextabhängig (Krings 2020: 579) und ergibt sich aus der jeweiligen Position eines Elements im Versorgungszusammenhang. Infrastrukturen sind damit zugleich Schutzobjekt und potenzielle Gefahrenquelle (Krings 2020: 577).

Die Einordnung als kritisch hängt wesentlich von Struktur und Redundanz eines Systems ab: Während in dezentralen Systemen Teilausfälle kompensierbar sein können, kann der Ausfall eines singulären, zentralen Elements zu einem vollständigen Systemversagen führen (Krings 2020: 589).

Bundesweit werden KRITIS in mehrere Sektoren untergliedert (vgl. Abb. 1), darunter Energie, Wasser, IKT, Transport und Verkehr, Gesundheit oder Ernährung. Diese lassen sich in Basis-, sozioökonomische und soziokulturelle Infrastrukturen differenzieren (Lauwe et al. 2008: 113). Auf Länderebene bestehen teilweise abweichende Einordnungen (Hessische Landesregierung 2020), was die Kontextgebundenheit von KRITIS unterstreicht.

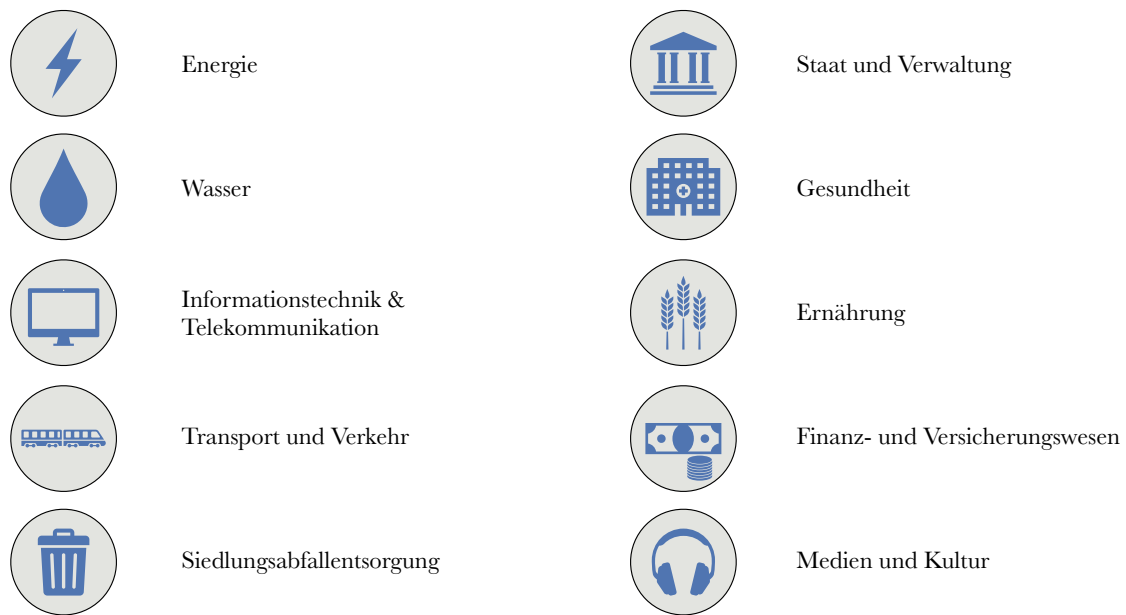


Abbildung 1: KRITIS-Sektoren in Deutschland

Quelle: Gros 2026

KRITIS sind hierbei nicht als isolierte Systeme zu verstehen, sondern als Teil eines komplexeren Netzwerks (Krings 2020: 577). Sie sind intrinsisch vulnerabel und können bei Funktionsausfällen zu gesellschaftlichen Störungen auf unterschiedlichen Maßstabsebenen führen (Curt et al. 2018: 2454), wobei ihre besondere Bedeutung häufig erst im Störfall sichtbar wird (BBK 2023a).

Gefährdungen können hierbei sowohl natürlichen Ursprungs (z. B. Extremwetter, Erdbeben) als auch anthropogenen Ursprungs (z. B. Sabotage, Terrorismus) sein (BBK 2023b). Vor dem Hintergrund komplexer Wirkungszusammenhänge wird häufig ein „All-Gefahren-Ansatz“ verfolgt, der unterschiedliche Gefahrenarten integriert (Fekete 2019: 9). Aufgrund der strukturellen Komplexität ist ein vollständiger Schutz jedoch kaum realisierbar (Curt et al. 2018: 2441).

Zentral für das Verständnis von Ausfallkonsequenzen sind Interdependenzen. KRITIS bilden ein „dynamisches Wirkungsgefüge“ (Schmitt 2020: 50), in dem Subsysteme wechselseitig voneinander abhängen (Laugé et al. 2015: 16). Störungen können sich in Form von Kaskadeneffekten ausbreiten, wenn der Ausfall einer Infrastruktur weitere Systeme beeinträchtigt (Kotzanikolaou et al. 2013: 172). Solche Interdependenzen gelten als zentrale Verwundbarkeitsfaktoren (Krings 2020: 578) und machen KRITIS „in einem doppelten Sinne kritisch“: als unverzichtbare Grundlage gesellschaftlicher Stabilität und zugleich als potenziell krisenanfällige Systeme (Folkers 2018: 162; Fekete 2024: 352).

Rinaldi et al. (2002: 14–16) unterscheiden dabei vier Interdependenztypen: physische, cyber-, geographische und logische Interdependenzen.

Vor dem Hintergrund dieser Komplexität gewinnt Resilienz als weitere Facette an Bedeutung. Resilienz beschreibt die Fähigkeit eines Systems, Störungen zu absorbieren und dennoch seine grundlegenden Funktionen aufrechtzuerhalten (Holling 1973: 14, 17). Im Kontext der Katastrophenvorsorge umfasst sie die Fähigkeit, Gefahren zu widerstehen, sich anzupassen und sich zu erholen (UNDRR 2017).

Resilienz umfasst dabei nicht nur ein „bouncing back“, sondern auch ein „bouncing forward“ im Sinne adaptiver Weiterentwicklung (Fekete 2019: 3; Groth et al. 2023: 298). Redundanzen spielen dabei eine zentrale Rolle, da sie Kompensationsmöglichkeiten bei Teilausfällen eröffnen (Krings 2020: 587–588; Birkmann et al. 2010: 74–75). Gleichzeitig sind Investitionen in Resilienz häufig ökonomisch wenig attraktiv (Monstadt et al. 2019: 2364), was Zielkonflikte offenlegt.

Der Schutz kritischer Infrastrukturen ist darüber hinaus auch im Kontext der räumlichen Planung zu berücksichtigen, wo er seit 2008 als raumordnerischer Grundsatz im Raumordnungsgesetz (ROG) verankert ist („Dem Schutz kritischer Infrastrukturen ist Rechnung zu tragen“ §2 Abs. 2 Nr. 3 S. 4 ROG 2008).

Im Auftrag des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie führten Prof. Dr. Christian Diller und Jan Gros im Zeitraum von 2022 bis 2026 das Forschungsprojekt KritIKlima - „Kritische Infrastruktur und Klimawandel in Hessen“ durch. Ziel des Forschungsvorhabens war es, den durch den Klimawandel bedingten Handlungsbedarf für Kritische Infrastrukturen (KRITIS) in Hessen abzuschätzen und daraus resultierende Steuerungsmöglichkeiten für die Raum- und Fachplanung auf kommunaler, regionaler und Landesebene in Hessen zu entwickeln.

Das Forschungsdesign im Projekt KritIKlima gliederte sich in fünf Phasen (vgl. Abb. 2). Begonnen wurde im Rahmen der ersten Phase mit einer GIS-Kartierung ausgewählter Klimadaten, der Durchführung einer gesellschaftlichen Klimavulnerabilitätsanalyse, einer Datenbestandsanalyse von KRITIS auf Open-Street-Map (OSM), sowie einer Desk Research Phase, welche zur Einarbeitung in das konkrete Thema und der Vorbereitung von Experteninterviews genutzt wurde.

Gleichzeitig wurde eine projektbegleitende Arbeitsgruppe eingerichtet.

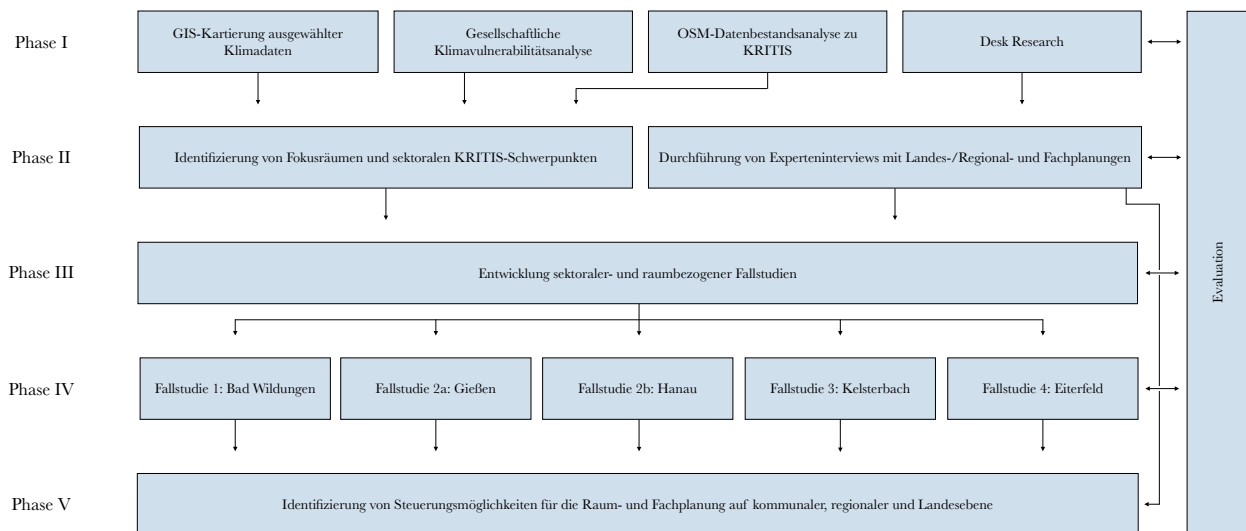


Abbildung 2: Arbeitsphasen im Projekt KritIKlima

Quelle: Eigene Darstellung

Darauf aufbauend wurden in Phase 2 Fokusräume und sektorale KRITIS-Schwerpunkte identifiziert, die im weiteren Projektverlauf betrachtet werden sollten (vgl. Kap. 4). Parallel dazu wurden Experteninterviews mit Akteuren der Landes- und Regionalplanungen, ausgewählten Fachplanungen, sowie weiteren für das Vorhaben relevanten Institutionen durchgeführt, deren Auswertung in Kapitel 3 vorgestellt wird.

In Phase 3 wurde für die jeweiligen Fokusräume und KRITIS-Schwerpunkte ein Fallstudienkonzept entwickelt (vgl. Kap. 5). Im Fokus dieser Fallstudien stand jeweils ein spezifischer KRITIS-Bereich, der in seinem räumlichen Kontext unter Berücksichtigung der lokal auftretenden Klimawandelfolgen analysiert wird.

Phase 4 schloss darauf an, wobei fünf unterschiedliche Fallstudien in Hessen durchgeführt wurden, welche in den Kapiteln 5.1 bis 5.4 beschrieben werden.

Seit Beginn des Forschungsvorhabens findet ein monatliches Austauschtreffen zwischen dem HL-NUG und der JLU statt, in dem aktuelle Entwicklungen, das methodische Vorgehen sowie die neuesten Ergebnisse diskutiert und evaluierend reflektiert werden.

Das Projekt endet in Phase 5 mit der Finalisierung der Untersuchung zu Steuerungsmöglichkeiten der Raum- und Fachplanung auf kommunaler, regionaler und Landesebene.

In den folgenden Kapiteln sollen nun primär die gewonnen Erkenntnisse der einzelnen Ablaufphasen vorgestellt werden.

Begonnen wird hierbei mit einer Betrachtung der Bestandteile aus Phase 1, der GIS-Kartierung ausgewählter Klimadaten, einer gesellschaftlichen Vulnerabilitätsanalyse, sowie einer OSM-Datenbestandsanalyse zu KRITIS.

2. Phase I: Projektbegleitende Arbeitsgruppe und Vorbereitung der empirischen Erhebung

Zu Beginn des Vorhabens wurde ein projektbegleitender Arbeitskreis eingerichtet. Dabei wurde erwogen einschlägige Institutionen aus Hessen einzubeziehen (z. B. Ministerien, Hessen Mobil, Fraport AG), mit welchen der Ablauf des Vorhabens abgestimmt werden sollte. Letztlich zeigte sich jedoch, dass sich mit den meisten Akteuren eine vertiefte Zusammenarbeit auf punktuelle Aspekte während des Vorhabens konzentrieren sollte.

Damit bestand der begleitende Arbeitskreis letztlich aus der Projektbetreuerin des HLNUG Dr. Anna-Christine Sander, Dr. Aljoscha Kreß (HLNUG), punktuell vertreten durch Torsten Bremmer, sowie der Projektbearbeitung M.Sc. Jan Gros und Prof. Dr. Christian Diller und - in der Projektanfangsphase M.Sc. Mareike Schnorr von der JLU Gießen.

Eine kontinuierliche enge Kooperation erfolgte im Rahmen des Klimprax Krisenvorbereitung (über Dr. Kress).

Damit eine erste raumbezogene Abschätzung des durch den Klimawandel forcierten Handlungsbedarfs zu KRITIS in Hessen vollzogen werden kann, wurden zunächst Klimadaten, welche zur direkten Anwendung bereit stehen, angefordert und im Rahmen eines GIS-Projektes kartiert. Die Klimadaten sollten sowohl dauerhafte Ereignisse, wie beispielsweise Temperaturveränderungen, als auch Ereignisse welche punktuell auftreten, wie Extremwetterereignisse, inkludieren. Für die möglichst kleinräumige Kartierung der Klimagefahren, kann hier auf bereits vorhandene Klimaprojektionen zurückgegriffen werden.

Klimagefahren welche innerhalb des KritiKlima-Projekts berücksichtigt werden, stammen aus Hochwasser-Risikoanalysen der hessischen Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation, der Klimafunktionskarte der Stadt Frankfurt, Starkregenhinweiskarten des HLNUG, der landesweiten Klimaanalyse der Landesplanung Hessen, des Hitzeviewers des HLNUG, sowie der Starkregengefahrenkarte der Stadt Frankfurt.

Mittels dieser Klimadaten ist es möglich, eine Reihe von Indikatoren kartographisch darzustellen, mithilfe welcher, als Grundlage des Projekts, Aussagen zur Klimavulnerabilität hessischer Regionen getroffen werden können. Die Indikatoren sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

Variable	Indikator	Quelle
Hochwasser	HQ10	Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation
	HQ100	Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation
Lufttemperatur und Hitze	Physiologisch Äquivalente Temperatur	Landesweite Klimaanalyse (Landesplanung)
	Anzahl Sommertage RCP 8.5	Landesweite Klimaanalyse (Landesplanung)
	Bodennahe Lufttemperatur	Landesweite Klimaanalyse (Landesplanung)
	Sommer 2018: Max. Oberflächentemperatur	Hitzeviewer Hessen
	Mittlere Hitzebelastung Sommer 2001-2020	Hitzeviewer Hessen
Starkregen	Starkregenhinweisindex	HLNUG
	Starkregen in FFM	Umweltamt Frankfurt
Klimafunktion	Frisch- und Kaltluftentstehung	Umweltamt Frankfurt
	Überwärmung und Überwärmungspotential	Umweltamt Frankfurt

Tabelle 1: Einbezogene Variablen und Indikatoren zu Klimadaten

Quelle: Eigene Darstellung

Die verwendeten Datenquellen beantworten primär die Fragestellungen, welche Räume und Regionen Hessens von welchen Klimagefahren betroffen werden und in welchen räumlichen Kontexten eine zukünftige Verstärkung dieser Situationen wahrscheinlich ist.

Als Arbeit, welche unter anderem die Ermittlung der thermisch und lufthygienischen belasteten Räume zum Ziel hatte, stellte die landesweite Klimanalyse (iMA 2022) eine relevante Datenquelle dar. Neben Hitze-bezogenen Indikatoren wie die Anzahl der Sommertage nach dem RCP 8.5 Szenario, sowie der bodennahen Lufttemperatur, beinhaltet die landesweite Klimanalyse auch relevante Daten was die Empfindlichkeit, sowie auch die thermische Belastung der Bevölkerung angeht (vgl. iMA 2022: 13), welche dem Projekt zur Verfügung gestellt wurden. Ergänzt werden diese Hitze-bezogenen Daten durch die beiden Indikatoren der maximalen Oberflächentemperaturen im Sommer 2018, sowie der mittleren Hitzebelastung in den Sommern von 2001 bis 2020 aus Datenquellen des Hitzeviewers Hessen. Zu beachten ist bei diesen Indikatoren der Aspekt, dass die Daten aus Satellitendaten generiert wurden, was bei der Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich der Fragestellungen weitergehend zu beachten ist.

Zur Beantwortung der Frage, welche Räume von Klimagefahren in Hessen betroffen sind, kann zum Themenkomplex Starkregen der Hinweisindex des Klimprax Starkregen Projekts des HLNUG

herangezogen werden (HLNUG 2026). Im Bezug auf die Hochwasser-Auftretenswahrscheinlichkeit liegen dem Projekt Daten aus Quelle der hessischen Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation vor, betrachten wurden hierbei die Szenarien HQ10 (Geoportal Hessen 2023a: o.A.) und HQ100 (Geoportal Hessen 2023b: o.A.).

Neben diesen hessenweit vorliegenden Daten, bestehen für den Raum Frankfurt durch das Umweltamt der Stadt weitere kleinräumige Analysen in Form der Starkregengefahrenkarten (Stadt Frankfurt 2023: o.A.), sowie der Klimafunktionskarte (Stadt Frankfurt 2016: o.A.), welche wiederum Erkenntnisse zur Überwärmung und zum Überwärmungspotential, sowie zur Frisch- und Kaltluftentstehung beinhalten.

Die in diesem Schritt ausgewählten Klimadaten dienen primär der Zielstellung, im Rahmen der Fallstudien Klimawandelfolgen ortsbezogen in KRITIS-Fragestellungen integrieren zu können. In diesem Zusammenhang wurden auf kommunaler Ebene, soweit verfügbar, Fließpfadkarten und Klimafunktionskarten ergänzend verwendet.

Der Vorbereitung der Fallstudien diene weitergehend eine OSM-Datenbestandsanalyse zu KRITIS. Aufgrund dessen, dass ursächlich der fehlenden KRITIS-Definition auf Landesebene und der entsprechenden Komplexität KRITIS-Standorte nicht reell lokalisiert werden können, wurde auf Grundlage der hessischen KRITIS-Übersichtsliste (Hessische Landesregierung 2020) zunächst abstrakt untersucht, welche kritischen Prozesse über einen OSM-Tag identifizierbar sind¹.

Weitergehend wurde im Rahmen der Vorbereitung der empirischen Erhebung eine sozioökonomische Klimavulnerabilitätsanalyse durchgeführt. Primäre Datengrundlage der Analyse sind Variablen, welche aus einer Erhebung des Forschungsstandes zur sozioökonomischen Klimavulnerabilität generiert wurden.

Im Folgenden wird zunächst der Forschungsstand zur Klimavulnerabilität der Bevölkerung anhand der sozioökonomischen und demographischen Struktur angerissen. Die Darstellung des Forschungsstandes beinhaltet ebenfalls eine definitorische Einordnung, welche das Ziel verfolgt darzulegen, wie die Begrifflichkeiten der Klimavulnerabilität im Zusammenhang mit dem Forschungsprojekt verwendet werden. Darauf aufbauend wird die Methodik zur Bildung eines sozioökonomischen Klimavulnerabilitätsindex dargelegt, woraufhin Ergebnisse im regionalen Fokus auf Hessen vorgestellt werden. Der erstellte Index soll hierbei die Fragestellung beantworten, welche Kommunen sich in Hessen, entsprechend der erhobenen Indikatoren, aus sozioökonomischer Perspektive als vul-

¹ Der OSM-Datenbestandsanalyse ist öffentlich verfügbar unter: <https://github.com/janmoritzgros/Forschungsprojekt-KritIKlima-Kritische-Infrastruktur-und-Klimawandel-in-Hessen->

nerabel gegenüber Klimawandel-Auswirkungen darstellen. Der Index dient zusätzlich der Begründung der Auswahl der Fokusräume, welche im weiteren Verlauf des Projektes KritiKlima als regionale Grundlage der Fallstudien ausgewählt werden.

Das Büro der Vereinten Nationen zur Minderung von Katastrophenrisiken definiert Vulnerabilität als “die durch physische, soziale, wirtschaftliche und ökologische Faktoren oder Prozesse bestimmten Bedingungen, die die Anfälligkeit eines Einzelnen, einer Gemeinschaft, von Vermögenswerten oder Systemen für die Auswirkungen von Gefahren erhöhen” (UN General Assembly 2016: 24). Der Begriff "Vulnerabilität" bezieht sich weitergehend “auf das Gleichgewicht zwischen Faktoren der Anfälligkeit und Faktoren, die die Widerstandsfähigkeit von Populationen gegenüber Umweltstressoren erhöhen” (Balbus et al. 2009: 33).

Im Rahmen der sozioökonomischen Vulnerabilitätsbewertung wird die Anfälligkeit einer Region für eine Gefahr auf der Grundlage ihres sozialen und wirtschaftlichen Status bewertet. Hierbei wird davon ausgegangen, dass je „positiver“ sich der sozioökonomische Status eines Ortes darstellt, desto geringer ist seine Anfälligkeit für Katastrophen und desto besser und schneller funktionieren etwaige Bewältigungsmechanismen (Malakar et al. 2017: 348). Wenn nun eine gesellschaftliche Gruppe an einem bestimmten Ort besonders von Umweltbelastungen betroffen ist, dann wird dies als umweltbezogene Verteilungsungerechtigkeit benannt (Köckler et al. 2020: 99).

Um diese sozioökonomische Vulnerabilität messbar zu machen, ist es weitergehend notwendig, Bevölkerungsgruppen zu identifizieren, welche multiple Gefährung-Faktoren erfahren und zudem spezifischen geographischen Faktoren ausgesetzt sind, welche diese Klima-bezogenen Risiken übertragen (Balbus et al. 2009: 33). Köckler et al. (2020: 99) beschreiben hierbei im Kontext gesundheitsfördernder Stadtentwicklung und umweltbezogener Gerechtigkeit die lokale Lebensumwelt als zentrale Determinante für Gesundheit. Die AutorInnen beschreiben hierbei, dass es insbesondere Indikatoren sozialer Lage ist, welche die Vulnerabilität der Bevölkerung repräsentieren (ebd.: 101), welche wiederum die lokale Lebensumwelt beeinflussen. Sie unterscheiden hierbei eine vertikale Differenzierung der sozialen Lage, welche von Indikatoren wie bspw. Einkommen, Bildung, beruflicher Stellung, Erwerbstätigkeit/Arbeitslosigkeit geprägt ist, sowie einer horizontalen Differenzierung der sozialen Lage, beschrieben durch Indikatoren wie z.B. Alter, Geschlecht und Migrationshintergrund (ebd.: 99).

Im folgenden werden nun die Variablen beschrieben, welche zur Bildung des erwähnten Indexes aus dem Stand der Forschung herausgefiltert wurden. Sie differenzieren sich grundsätzlich in Variablen, welche die sozioökonomische- und die demographische Struktur der Gesellschaft beschreiben.

Im Rahmen der Betrachtung der sozioökonomischen Struktur lässt sich zunächst ein Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Faktoren der Bevölkerung und der Vulnerabilität gegenüber klimawandelbedingten Ereignissen identifizieren. So stellen Balbus et al. (2009: 35) fest, dass die größten klimawandelbedingten Gesundheitsbelastungen die Personengruppen betreffen, welche einen geringen sozioökonomischen Status aufweisen. Bubeck et al. (2018: 292) analysierten weitergehend, dass zeitgleich wohlhabendere Bevölkerungsgruppen höhere Erholungschancen vor Hochwasserereignissen haben.

Die soziale Lage bestimmt somit sowohl die lokale Lebensumwelt, als auch die individuelle Vulnerabilität (Köckler et al. 2020: 98; vgl. Rice et al. 2022: 5-6; vgl. Sera et al. 2019: 1107). Als Gründe für den Einfluss bspw. der Einkommensstruktur auf die individuelle Vulnerabilität gegenüber Klimawandel-Folgen wird beschrieben, dass mit einem geringen Einkommen zum Beispiel auch ein geringer Versicherungsgrad für solche Ereignisse einhergeht (Steinführer et al. 2007: 113). Zusätzlich zeigen sich Personen mit inadäquaten Unterkünften, bzw. fehlenden Ressourcen um eine alternative Unterkunft zu finden, in einem klimawandelbedingten Ereignis als stark betroffen (Baldus et al. 2009: 35). Insbesondere während Hitzeereignissen zeigen sich schlechte Wohnverhältnisse, hierbei fehlender Zugang zu ausreichender Klimatisierung der Räumlichkeiten und geringe Anzahl an Räumen, als signifikante Gefährdungsfaktoren für hitzebedingte Mortalität (Baldus et al. 2009: 35). In einer Datensammlung zur Umweltgerechtigkeit umfasst das deutsche Institut für Urbanistik (DifU) hierbei den Anteil der Langzeitarbeitslosen, der Langzeit SGBII-EmpfängerInnen, der Kinderarmut, als auch der Jugendarbeitslosigkeit als relevante Variablen welche diese Problematik kleinräumig messbar machen können (DifU 2018: 1).

Zusätzlich zu diesen Aspekten, zeigen sich auch Studierende und “young professionals” als sozioökonomische Gruppe, welche aufgrund ihrer finanziellen Lage vulnerabel gegenüber klimawandelbedingten Ereignissen, speziell gegenüber Hitze, sind. Insbesondere sind es auch hier Aspekte wie kleiner Wohnraum und zum Beispiel fehlender Zugang zu Grünflächen (Sandholz et al. 2021) welche zur Vulnerabilität dieser Gruppen beitragen.

Die folgenden Variablen wurden somit ausgewählt, um die sozioökonomische Struktur einer Gemeinde innerhalb des Vulnerabilitätsindex darzustellen:

Variable	Beschreibung
Haushalte mit niedrigem Einkommen	Anteil der Haushalte mit einem Nettoeinkommen von unter 1.500€ pro Monat an den Haushalten insgesamt in %
Langzeitarbeitslose	Anteil der Arbeitslosen, 1 Jahr und länger arbeitslos, an den Arbeitslosen in %
Jüngere Arbeitslose	Anteil der Arbeitslosen unter 25 Jahren an Einwohnern von 15 bis unter 25 Jahren in %
Schüler	Schüler je 100 Einwohner. Indikator für Bildungsbeteiligung der auch von der Alterstruktur beeinflusst wird.
Studierende je 100 EW, 18-25J.	Studierende je 100 Einwohner von 18 bis unter 25 Jahren in %

Tabelle 2: Variablen der sozioökonomischen Struktur auf Gemeindeebene

Quelle: Eigene Darstellung, BBSR 2023

Auch die demographische Struktur der Gesellschaft zeigt sich in Hinsicht auf die Vulnerabilität gegenüber klimawandelbedingten Ereignissen als relevant. SeniorInnen und Kinder zeigen sich hierbei als besonders vulnerabel gegenüber solchen Ereignissen, insbesondere gegenüber Hitze.

Bei SeniorInnen sind es beispielsweise bereits existierende Vorerkrankungen, wie z.B. kardiovaskuläre- und Atemwegserkrankungen, welche in Kombination mit eingeschränkter Mobilität das Risiko erhöhter Morbidität und Mortalität aufgrund von klimawandelbedingten Ereignissen erhöhen können (Baldus et al. 2009: 35; Sera et al. 2019: 1109). Rai et al. (2019: 1-2) betonen hierbei die Notwendigkeit, auch hinsichtlich des demographischen Wandels, altersspezifische Anpassungs-Strategien zu entwickeln, welche möglicherweise den Effekt hätten, die Temperatur-bezogene Mortalität und Vulnerabilität in der Zukunft zu reduzieren.

Auch Kinder zeigen sich aufgrund von physiologischen Komponenten als vulnerabel gegenüber Hitzeereignissen, hierbei bspw. wegen ihrer Empfindlichkeit gegenüber Dehydrierung (Balbus et al. 2009: 34).

Tabelle 3 zeigt entsprechend die Variablen auf, welche im Kontext der demographischen Struktur in den Index eingeflossen sind.

Variable	Beschreibung
Einwohner unter 6 Jahren	Anteil der Einwohner unter 6 Jahren an den Einwohnern in %
Einwohner 75 Jahre und älter	Anteil der Einwohner 75 Jahre und älter an den Einwohnern in %
Einpersonenhaushalte	Anteil der Einpersonenhaushalte an den Haushalten insgesamt in %
Schüler	Schüler je 100 Einwohner. Indikator für Bildungsbeteiligung der auch von der Alterstruktur beeinflusst wird.
Studierende je 100 EW, 18-25J.	Studierende je 100 Einwohner von 18 bis unter 25 Jahren in %

Tabelle 3: Variablen der demographischen Struktur auf Gemeindeebene

Quelle: Eigene Darstellung, BBSR 2023

Die aus dem Forschungsstand zur Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber Auswirkungen des Klimawandels gefilterten Variablen (vgl. Tab. 2-3) wurden weitergehend mittels eines Index zusammengefasst. Dieser soll auf hessischer Gemeindeebene Hotspots zur Vulnerabilität der Bevölkerung aufzeigen. Die Daten stammen hierbei aus der BBSR Datenbank Inkar (BBSR 2023) und sind weitergehend kartographisch (Anhang 1) visualisiert.

Hotspots lassen sich hierbei primär in urbanen Strukturen erkennen. Hierbei sind es die Städte Darmstadt und Dieburg, sowie auch Frankfurt am Main und Friedberg welche hohe Werte verzeichnen. Im Südwesten des Landes zeigen vor allem die Kommunen Wiesbaden, Oestrich-Winkel und Geisenheim, sowie auch Idstein hohe Index-Werte. In Mittelhessen befinden sich die Kommunen Gießen und Marburg und in Osthessen Fulda, sowie Rotenburg an der Fulda in hohen Wertebereichen. Kassel und Witzenhausen verzeichnen in Nordhessen hohe Werte im Bereich gesellschaftlicher Klimavulnerabilität.

Die Erkenntnisse des Index bieten zusätzlich zu den betrachteten Klimadaten eine Informationsgrundlage hinleitend auf die in Phase III durchgeführten Fallstudien. In der Auswahl der KRITIS-Schwerpunkte innerhalb der Fallstudien wurde, nach Betrachtung gesellschaftlicher Klimavulnerabilität, neben technischen Basisinfrastrukturen, auch ein Schwerpunkt auf die KRITIS-Sektoren Gesundheit & Hygiene, sowie Sozialwesen gelegt. So konnten auch entsprechend zwei Sektoren der gesundheitlichen Grundversorgung potentiell klimavulnerabler Bevölkerungsgruppen betrachtet werden.

3. Phase II: Durchführung von Experteninterviews mit Landes- Regional und Fachplanungen²

Im Parallelen zur Identifikation von Fokusräumen und Entwicklung räumlich-sektoraler Fallstudien auf kommunaler Ebene wurden zusätzlich qualitative Experteninterviews mit Akteuren der Landes- und Regionalplanung, sowie ausgewählten raumbedeutsamen Fachplanungen durchgeführt. Tab. 4 visualisiert die Akteure, welche in diesem Rahmen interviewt wurden.

Int.-Kürzel	Institution	Datum	Dauer
I02	HMWEVW (Landesplanung Hessen)	04.03.2024	1h 14 min
I01	RP Gießen (Regionalplanung Mittelhessen), 2 ExpertInnen	25.01.2024	40 min
I07	RP Darmstadt (Regionalplanung Südhessen)	12.04.2024	1h 22 min
I05	Regionalverband Frankfurt	11.03.2024	1h 49 min
I10	Bundesnetzagentur (Netzausbau)	15.05.2024	1h 01 min
I03	Bundesnetzagentur (Ausbau Stromnetze)	28.06.2024	53 min
I09	Hessen Mobil	18.04.2024	37 min
I04	BBSR	02.08.2024	59 min
I06	BBK, 2 ExpertInnen	21.08.2024	1h 35 min

Tabelle 4: Experteninterviews in Phase II

Methodisch wurden die Experteninterviews mit entsprechenden semi-strukturierten Leitfäden gem. des SPSS-Verfahrens (Helfferich 2009: 182ff.) vorbereitet, welche den jeweiligen InterviewpartnerInnen auch im Vorhinein zugesendet worden. Die Interviews wurden fortlaufend transkribiert und einer qualitativen Inhaltsanalyse folgend (Kuckartz et al. 2024) unter Verwendung von MaxQ-DA ausgewertet. Zur Anonymisierung der Interviews werden im Folgenden die in Tab. 4 vermerkten Interviewkürzel zur Zitation verwendet.

Ziel der Erhebung war es hierbei, zum einen den Handlungsrahmen im Kontext der raumplanerischen Steuerung von KRITIS im Hintergrund des Klimawandels in Hessen zu identifizieren und

² Eine detaillierte Auswertung dieses Projektschritts ist Bestandteil der Dissertation von Jan Gros (Gros 2026), auf welche hier verwiesen wird.

etwaige Hürden zu identifizieren, welche der Umsetzung des KRITIS-Schutz-Grundsatzes des ROG begleiten. Die diesen Schritt anleitenden Forschungsfragen waren somit die Folgenden:

- Worin besteht der Handlungsrahmen im Kontext der raumplanerischen Steuerung von KRITIS im Hintergrund des Klimawandels in Hessen?
- Inwiefern stellen sich Hürden bei der Umsetzung des KRITIS-Grundsatzes in der hessischen Raumplanung dar?

Empirisch zeigt sich, dass der KRITIS-Schutz in der hessischen Raumordnung vor allem im Kontext des vorsorgenden Hochwasserschutzes verankert ist. In den Neuaufstellungen der Regionalpläne Nord-, Mittel- und Südhessen finden sich Hinweise auf KRITIS primär in den Begründungen zu Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für vorbeugenden Hochwasserschutz. Dabei wird betont, dass „sogenannte Kritische Infrastrukturen [...] wegen ihrer herausragenden Bedeutung für das staatliche Gemeinwesen besonders schutzwürdig sind“ (Regierungspräsidium Kassel 2024: 113) und dass bestehende KRITIS „soweit geboten - durch bauliche und technische Maßnahmen an die Hochwassergefahren anzupassen“ sind (ebd.).

Die Raumordnung agiert dabei auf einer „grobe[n] Flughöhe“ (I02: 16) und versteht ihre Rolle primär in der Sicherung konfliktarmer Flächen: „Flächen für bestimmte Infrastrukturen zu sichern und vor allem die Flächen so zu sichern, dass sie eben möglichst konfliktarm sind“ (I02: 4). Der Schutzauftrag wird in der Praxis häufig an die Betreiber verlagert; die planerischen Steuerungsmöglichkeiten bleiben überwiegend indirekt und abstrakt. KRITIS werden in den Regionalplänen nicht systematisch kartographisch ausgewiesen, sondern „verbergen“ sich etwa in allgemeinen Siedlungs- oder Gewerbegebieten: „Wenn man jetzt zum Beispiel ein großes Rechenzentrum als kritische Infrastruktur sieht, hat es keinen Berührungspunkt mit dem Regionalplan“ (I01: 34).

Der Umsetzung des KRITIS-Schutzes, dem seit der Einführung des entsprechenden Grundsatzes im Raumordnungsgesetz (§2 Nr. 3 S. 4 ROG) Rechnung zu tragen ist, steht weitergehend zunächst die Problematik einer fehlenden rechtsbindenden Definition gegenüber (I01: 4, I01: 40). Im Hintergrund dessen wird zunächst auf gängige allgemein-Definitionen zurückgegriffen, wobei die Bedeutung von KRITIS, wichtige gesellschaftliche Funktionen aufrechtzuerhalten, betont (I02: 2, I03: 6) und die überörtliche Bedeutung solcher *kritischer* Infrastrukturen hervorgehoben wird (I07: 10). Insbesondere der hohe Abstraktionsgrad zu Verfügung stehender Listen auf Bundes- als auch auf Landesebene (I01: 40, I01: 42) zeichnen sich hierbei als Hürden des dem *Schutz Rechnung Tragens* ab. Betont wird in diesem Kontext weitergehend auch die relativ hohe Darstellungsebene der raumord-

nerischen Planwerke (LEP und Regionalpläne), als Hindernis bspw. kritische Punktinfrastrukturen, erwähnt werden hier z.B. Rechenzentren, darzustellen (I01: 34).

Neben Fragestellungen hinter der Definition von KRITIS wird auch die Notwendigkeit einer Gefahrenlagen-Definition betont. In diesem Kontext bieten die Hochwasserabgrenzungen HQ100 und HQextrem klare Kriterien die in den Zusammenhang mit der Zulässigkeit von Vorhaben mit KRITIS-Bezug gestellt werden können (I02: 10). So verorten sich KRITIS-Bezüge in den Neuauflagen der hessischen Regionalpläne entsprechend primär in den regionalplanerischen Gebietskategorien zu Vorrang (VRG)- und Vorbehaltsgebieten (VBG) des vorbeugenden Hochwasserschutzes, wenn auch v.a. abstrakt-verbal (I01: 4) und im Rahmen der Begründung zu regionalplanerischen Grundsätzen (I07: 20). Die Neuauflage des Regionalplans Mittelhessen betont so bspw. in den Begründungen zu VRG und VBG für vorbeugenden Hochwasserschutz die besondere Schutzwürdigkeit von KRITIS in diesen Gebietskategorien, verweist auf die nationale Strategie zum Schutz von kritischen Infrastrukturen und weist darauf hin, dass „bestehende Kritische Infrastrukturen [...] von den jeweiligen Eigentümern bzw. von den für die Infrastrukturen verantwortlichen Akteuren hinsichtlich ihrer konkreten Hochwassergefährdung geprüft [werden sollen] und soweit geboten durch bauliche und technische Maßnahmen an die Hochwassergefahren angepasst werden. Erweiterungen solcher Kritischer Infrastrukturen sollen in den Gefahrenbereichen unterbleiben.“ (Regierungspräsidium Gießen 2021: 88; 90). Im Zusammenhang mit Starkregenereignissen wird zudem auf die Ubiquität solcher Ereignisse hingewiesen, deren Beeinflussung durch die Regionalplanung als eher schwierig eingeschätzt wird (I07: 20). Gerade bei letzteren Ereignissen ist es die kommunale Ebene, die auf Basis kleinräumiger Daten wie Fließpfadkarten Handlungsmöglichkeiten hat (I07: 20) und potenzielle Schutzmaßnahmen umsetzen kann. Hitzeereignisse werden weitergehend weniger in Bezug auf KRITIS-Schutz, mehr bezüglich des Schutzes durch Hitze beeinträchtigter Siedlungsgebiete raumordnerisch berücksichtigt (I01: 18). Letzteres erfolgt hierbei durch die Festlegung von VRG und VBG für besondere Klimafunktionen, ausgehend aus Erkenntnissen der landesweiten Klimaanalyse.

4. Phase II: Identifikation von Fokusräumen

Nach Abschluss der Vorbereitung der empirischen Erhebung wurden vier Fokusräume zur Analyse raum- und fachplanerischer Steuerungsmöglichkeiten hinsichtlich KRITIS im Klimawandel ausgewählt. Diese Fokusräume (vgl. Abb. 3) umfassen im Regierungsbezirk Nordhessen den Landkreis Waldeck-Frankenberg, den Landkreis Fulda, im Regierungsbezirk Mittelhessen den Landkreis Gießen, sowie im Regierungsbezirk Südhessen den Landkreis Main-Kinzig, sowie den Landkreis Groß-Gerau.

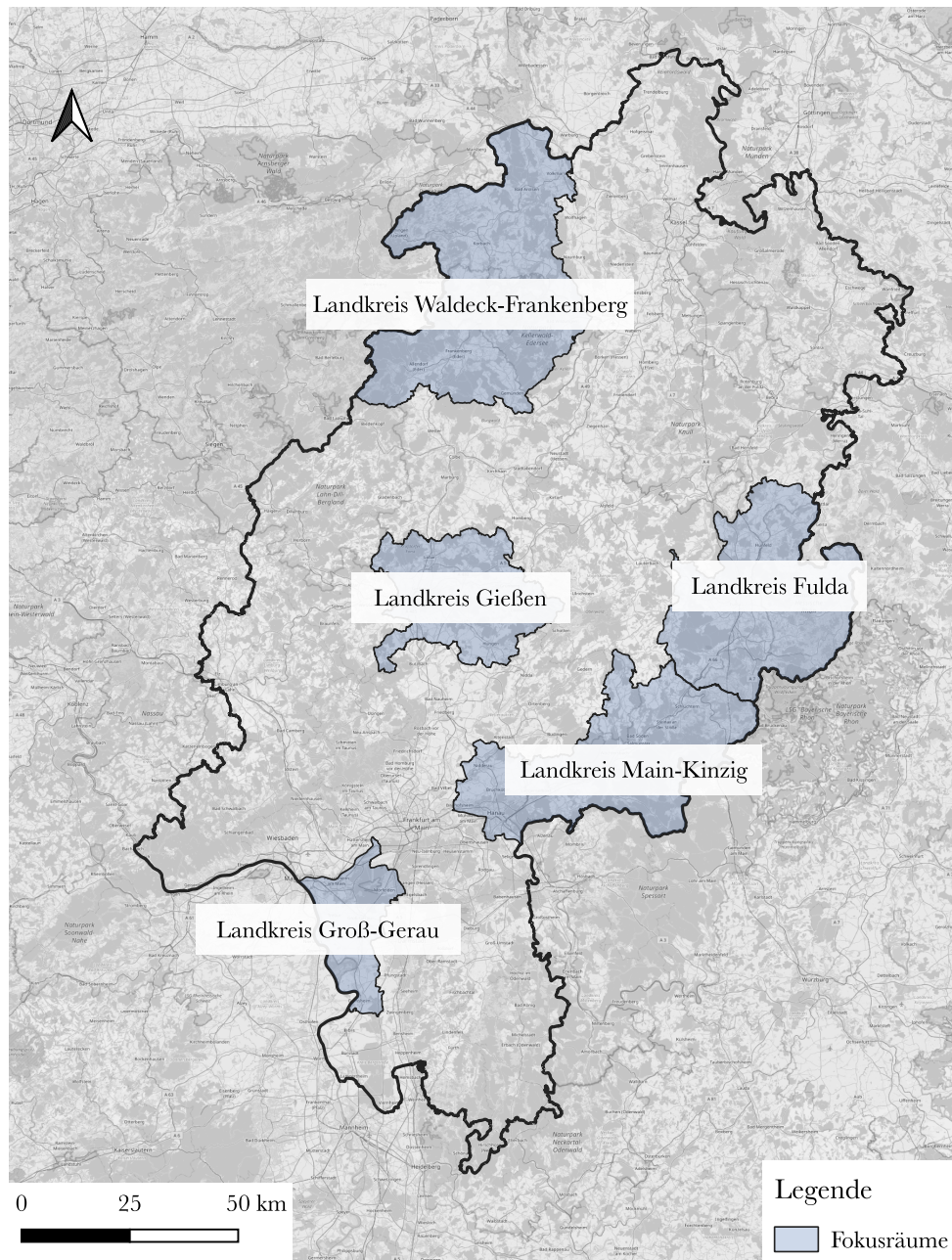


Abbildung 3: Fokusräume im Projekt KritIKlima

Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf OSM; Projektion: ETRS89/UTM32N

Die Fokusräume wurden hierbei so ausgewählt, dass die drei Regionalplanungsbereiche Nordost-, Mittel- und Südhessen, sowie auch der Regionalverband FrankfurtRheinMain in der Analyse betrachtet werden können. Weitergehend flossen in die Auswahl der Fokusräume die in Phase I gesammelten Daten ein. Die dabei erhobenen Klimadaten wurden dabei v.a. dafür verwendet, die lokale Vulnerabilität im Rahmen der Fallstudien visualisieren zu können, wobei jeweils die drei Schwerpunkte Hochwasser, Starkregen und Hitze in die Analyse einbezogen wurden.

Für jeden der Fokusräume wurde weitergehend eine Zielinfrastruktur als KRITIS-Beispiel ausgewählt, welche im Fokus der planerischen Betrachtung in den jeweiligen Fokusräumen fungieren soll. Konzentriert wurde sich hierbei auf die Sektoren Gesundheit und Sozialwesen im Landkreis Waldeck-Frankenberg, Informations- und Kommunikationstechnologien, im Konkreten Rechenzentren, in den Landkreisen Gießen und Main-Kinzig, den Sektor Wasser im Landkreis Groß-Gerau und den Sektor Energie im Landkreis Fulda. Durch diese Fokussierung war es möglich, die Fallstudien themenspezifisch durchzuführen und dadurch Punkt- als auch Leitungsinfrastrukturen, Basis- sowie sozio-ökonomische Infrastrukturen (vgl. Lauwe et al. 2008: 113) einzubeziehen.

Weitergehend ist es relevant zu berücksichtigen, dass die konkreten Fallstudien innerhalb der ausgewählten Fokusräume auf kommunaler Ebene, zur Betrachtung der kommunalen Bauleitplanung, gedacht sind. In den Fällen der Landkreise Waldeck-Frankenberg und Groß-Gerau wurden zur kommunalen Fokussierung zunächst das Klimaanpassungsmanagement der Landkreise angefragt, mit welchen eine konkrete Fallstudien-Kommune identifiziert wurde. Gießen und Hanau wurden ausgewählt, um aktuelle Rechenzentren-Vorhaben betrachten zu können, die Planungen im Hintergrund der vierten Fallstudie entstand aus der Projekt-begleitenden Jour Fixe.

In Anschluss der Identifikation von Fokusräumen, welche auf kommunaler Ebene nähergehenderen Untersuchungen unterzogen werden sollen, schließt im Folgenden Phase IV an. In dieser Phase wurden fünf Fallstudien zu spezifischen Infrastruktur Beispielen durchgeführt, welche im folgenden Kapitel hinsichtlich ihres Vorgehens und der erzielten Ergebnisse vorgestellt werden sollen.

5. Phase III: Durchführung von Fallstudien zum KRITIS-Schutz im Klimawandelkontext

Im Verlauf des Projekts wurde die Auswahl der Kommunen, als auch die Auswahl eines sektoralen Fallbeispiels eng mit den Projektbegleitern des HLNUG, als auch mit auf Landkreis-Ebene agierenden Akteuren abgesprochen und geplant. Abbildung 4 visualisiert diese räumlichen und sektoralen Konkretisierungen der Fokusräume entsprechend.

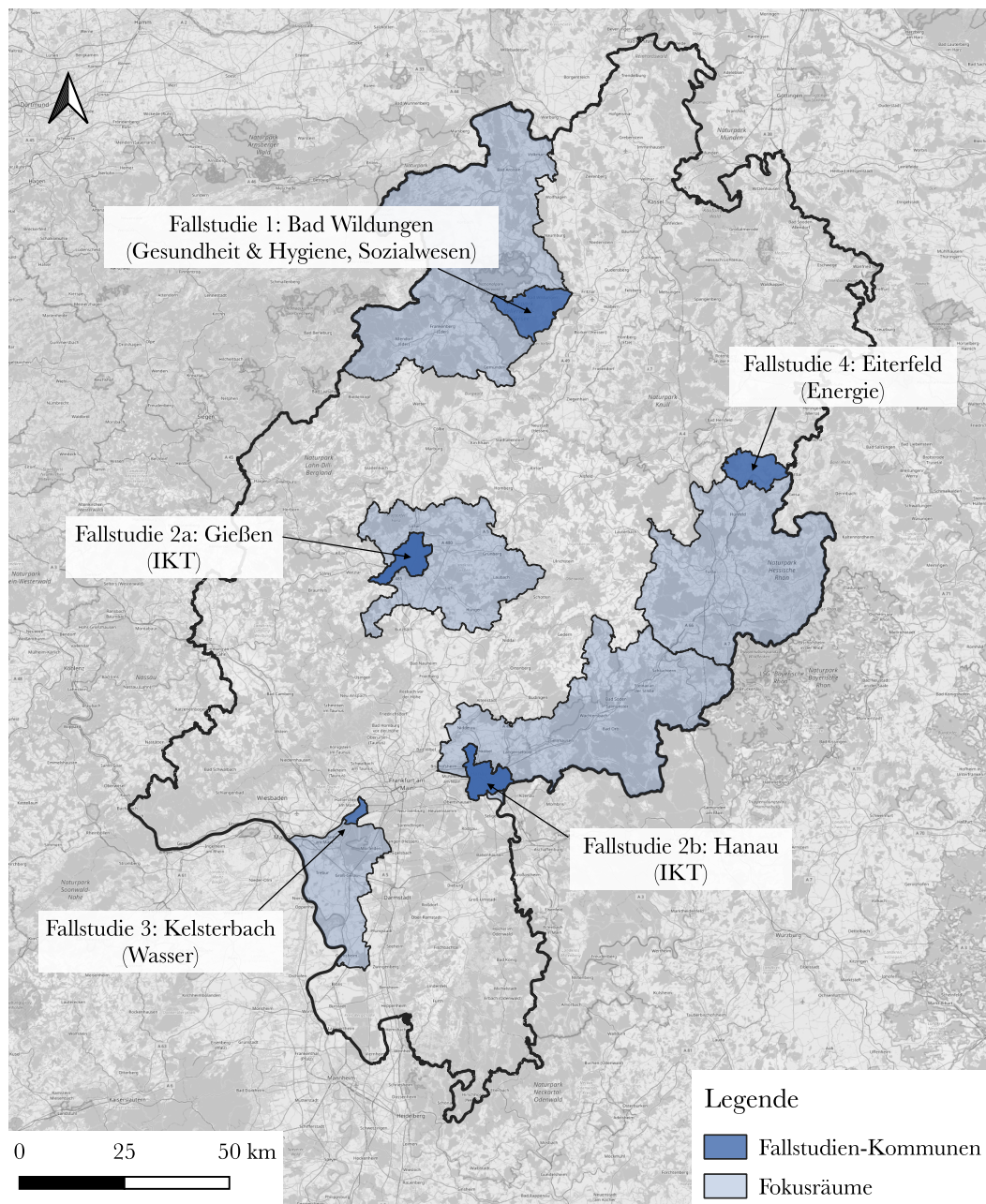


Abbildung 4: Fallstudien-Kommunen zzgl. sektoralem Fokus im Projekt KritIKlima

Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf OSM; Projektion: ETRS89/UTM32N

5.1. Fallstudie 1: Bad Wildungen

Der Klimawandel stellt eine wachsende Bedrohung für die Gesundheit der Bevölkerung und auch die Funktionsfähigkeit des Gesundheitswesens dar: „Mit der Veränderung der klimatischen Bedingungen werden häufigere und intensivere Wetter- und Klimaereignisse beobachtet, darunter Stürme, extreme Hitze, Überschwemmungen, Dürren und Waldbrände. Diese Wetter- und Klimagefahren wirken sich sowohl direkt als auch indirekt auf die Gesundheit aus und erhöhen das Risiko von Todesfällen, nicht übertragbaren Krankheiten, dem Auftreten und der Ausbreitung von Infektionskrankheiten sowie Gesundheitsnotfällen“ (WHO 2023).

Gleichzeitig gefährden, wie die Hochwasserereignisse in Deutschland, Belgien und den Niederlanden im Juli 2021 (Koks et al. 2022), oder auch das Auguthochwasser 2002 (Braubach 2011) aufzeigten, Überschwemmungsereignisse auch die physischen Einrichtungen des Gesundheitswesens selbst. Hierbei resultierten die Ereignisse 2021, den Berechnungen von Koks et al. (2022: 3834) nach, in Beeinträchtigungen von ca. 68 Krankenhäusern in Nordrhein-Westfalen und teilweise notwendig werdenden Evakuierungen von Krankenhäusern in weiteren Gegenden. Außerdem heben sich weitere Auswirkungen in Folge von Überschwemmungen auf Einrichtungen des Gesundheitswesens hervor, wie ein systematisches Review von Abebe et al. (2025) aufzeigt: Insbesondere betroffen waren ihrer Analyse nach insbesondere unterirdische Gebäudeteile, wobei Schäden an den Gebäuden selbst, sowie u.a. medizinischer Technik beobachtet wurden (ebd.: 11). Versorgungsunterbrechungen - insbesondere bei Strom- und Wasserversorgung - beeinträchtigen die Aufrechterhaltung der Gesundheitsversorgung zusätzlich und obwohl Evakuierungen von PatientInnen als organisatorisch herausfordernd beschrieben werden, stellen sie die am häufigsten genannte Reaktionsmaßnahme dar (ebd.). Demgegenüber wurden bauliche Anpassungsmaßnahmen nur selten umgesetzt und bestehende Katastrophenschutzpläne wiesen Defizite in Ausgestaltung und praktischer Umsetzung auf (ebd.).

Weitergehend verdeutlichen auch Hitzeereignisse Auswirkungen auf die physische Infrastruktur des Gesundheitswesens, bspw. in Form von Konsequenzen für die Lagerung von Medikamenten und dem allgemeinen thermischen Komfort von Krankenhausgebäuden für Personal und Hitze-vulnerablen PatientInnen (Curtis et al. 2017: 24, Valente et al. 2026: 6)

Vor diesem Hintergrund verfolgte die Fallstudie 1 im nordhessischen Bad Wildungen das Ziel, Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheitsinfrastruktur im Rahmen von Erfahrungen von

Klinikbetreibern zu analysieren, als auch mögliche stadtplanerische Anpassungsmaßnahmen zu diskutieren.

Als Fokus-KRITIS Sektor wurde in Fallstudie 1 somit zum einen der Sektor Gesundheit und Hygiene, sowie zum anderen der Sektor Sozialwesen analysiert. Abb. 5 und Abb. 6 visualisieren, gemäß der KRITIS-Übersichtsliste des Landes Hessen, als Ausschnitt, welche Branchen, sowie i.w.S. kritische Dienstleistungen (kDL) nähergehend betrachtet wurden.

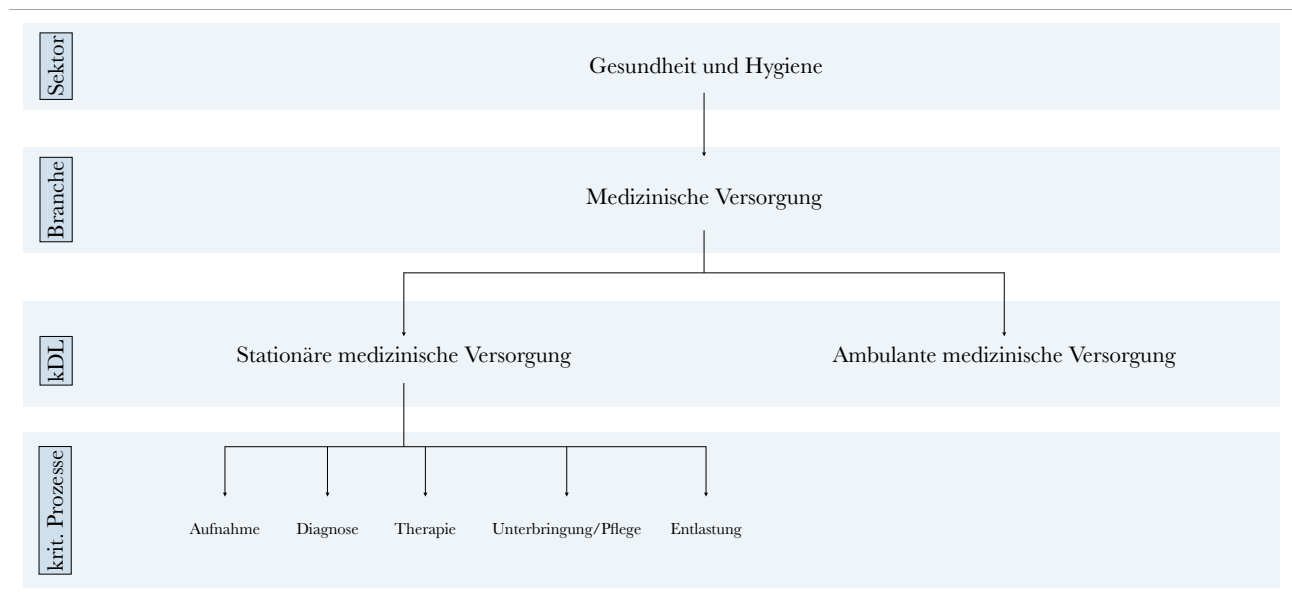


Abbildung 5: KRITIS Fokus in Fallstudie 1 (a)

Quelle: Eigene Darstellung

Die Betrachtung des KRITIS-Sektors Gesundheit und Hygiene dekliniert sich in Betrachtung dieser Fallstudie in die Branche der medizinischen Versorgung, welche sich wiederum in stationäre- und ambulante medizinische Versorgung aufgliedert. Der Fokus wurde hierbei auf Krankenhäuser als physische Infrastruktur der kritischen Prozesse Aufnahme, Diagnose, Therapie, Unterbringung und Pflege, sowie Entlastung gelegt (vgl. Abb. 5).

Um Gesundheitseinrichtungen umfassender betrachten zu können, wurden weitergehend auch Altenhilfe- und Pflege- sowie Rehabilitierungseinrichtungen betrachtet, welche dem KRITIS Sektor Sozialwesen zuzurechnen sind (vgl. Abb. 6).

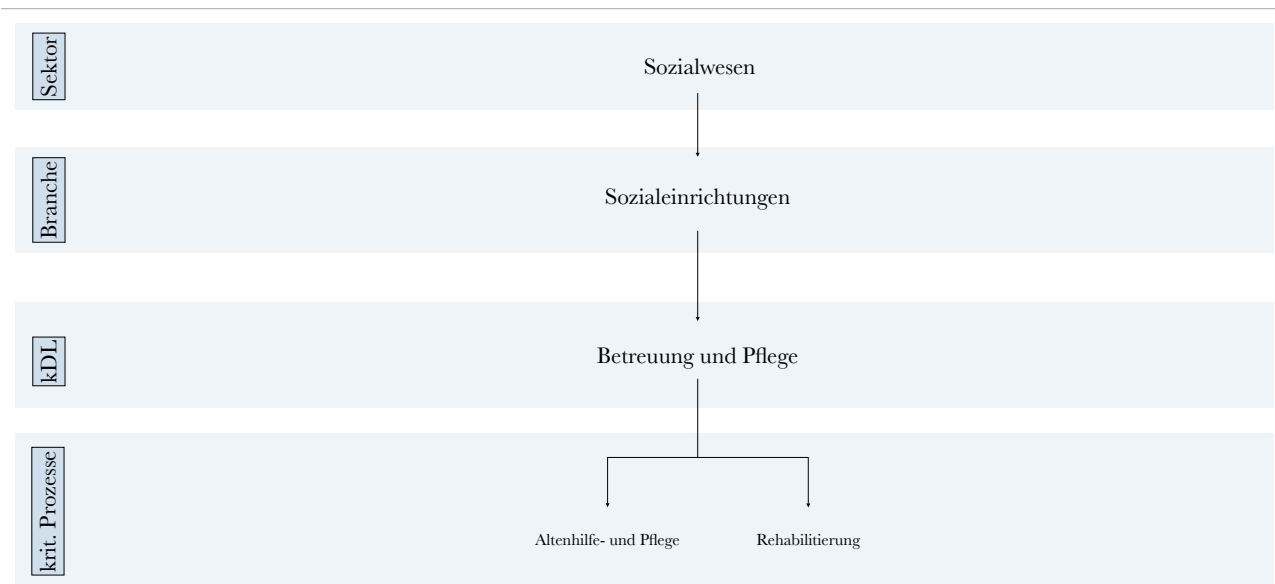


Abbildung 6: KRITIS Fokus in Fallstudie 1 (b)

Quelle: Eigene Darstellung

Herausgehend aus der OSM-Datenbestandsanalyse (vgl. Kap. 2) konnten aufgrund der KRITIS-Übersichtsliste Standorte von Infrastrukturen, welche sich in den beschriebenen KRITIS-Sektoren verorten, räumlich in Bad Wildungen kartiert werden und dienen als Grundlage, diese im Rahmen der Fallstudie, mit in Phase I ausgewählten Klimadaten zu verschneiden. Abbildung 7 visualisiert zunächst die Standorte, welche identifiziert wurden.

In Betrachtung der Abbildung muss zur Interpretation hinzugefügt werden, dass die dargestellten Standorte mehr als potentiell kritisch, als tatsächliche Abschätzung relativer Kritikalität gesehen werden müssen, da eine fehlende rechtsbindende Definition von KRITIS (vgl. Kap. 1) geographisch-lokalisierbarer KRITIS-Standorte entgegen steht.

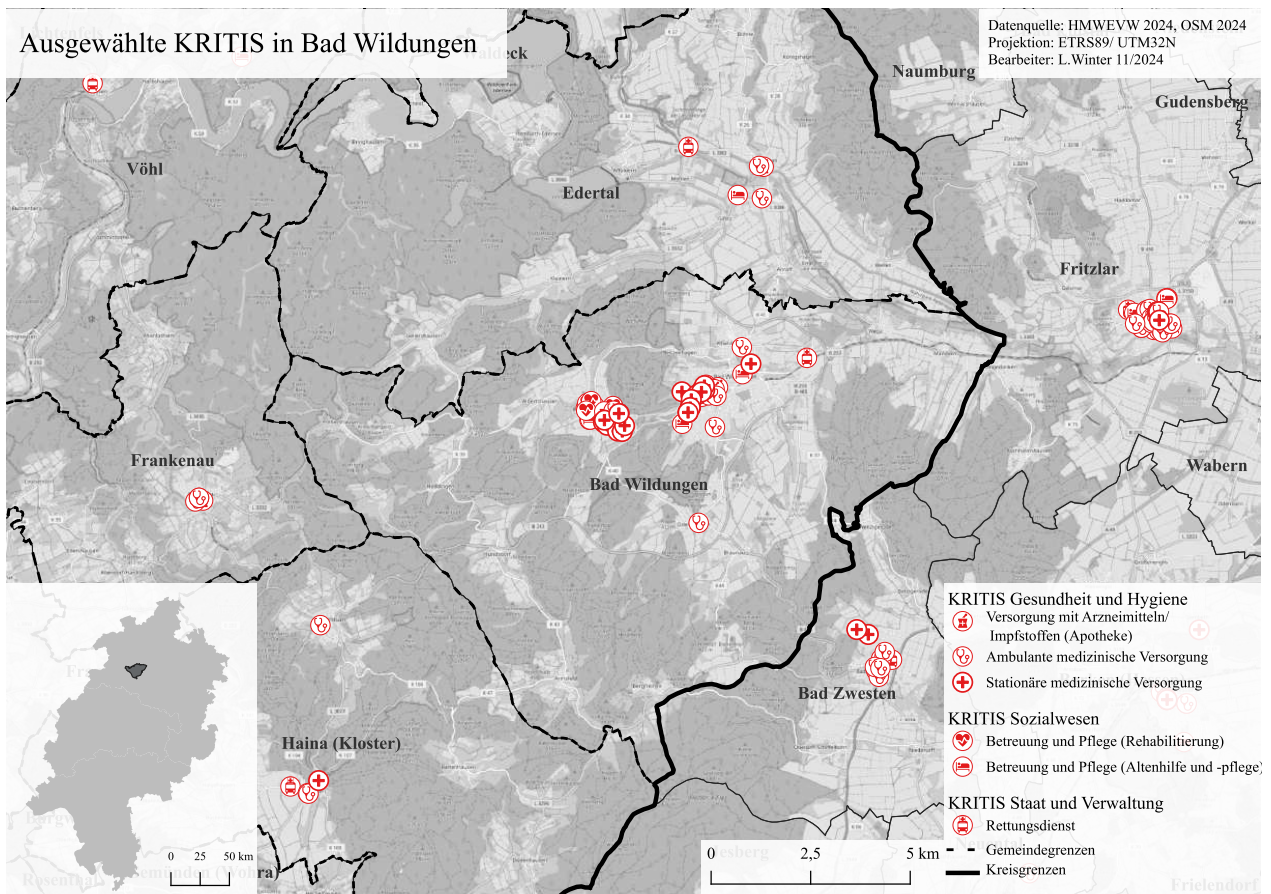


Abbildung 7: Kartierung ausgewählter KRITIS-Standorte in Bad Wildungen

Quelle: Eigene Darstellung

Konkret wurden im Rahmen der Fallstudie die Leitfragen (vgl. Tab. 5), welche Rolle Klimawandelfolgen im bisherigen Betrieb der Gesundheitsinfrastruktur spielten, welche Anpassungsmaßnahmen im Kontext der Klimaanpassung implementiert wurden und welche Rolle Stadtplanung und Klimaanpassungsmanagement im Kontext der Klimaresilienz der Gesundheitsinfrastruktur spielen können, untersucht.

KRITIS-Schwerpunkt	Gesundheit und Hygiene; Sozialwesen
Ziel	Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheitsinfrastruktur und Einschätzung des Handlungsbedarfs hinsichtlich Anpassungsmaßnahmen
Leitfragen	• Welche Rolle spielten Klimawandelfolgen im bisherigen Betrieb der Gesundheitsinfrastruktur? • Welche Anpassungsmaßnahmen wurden im Kontext der Klimaanpassung implementiert? • Welche Rolle können Stadtplanung und Klimaanpassungsmanagement im Kontext der Klimaresilienz der Gesundheitsinfrastruktur spielen?

Tabelle 5: Überblick zur Fallstudie 1 in Bad Wildungen

Quelle: Eigene Darstellung

Im Rahmen der Fallstudie wurde am 29.01.2025 ein digitaler Workshop mit Fokus auf die Gesundheitsinfrastruktur in Bad Wildungen durchgeführt. Der Workshop verfolgte das Ziel einzuschätzen, welche Klimawandelfolgen bereits Auswirkungen auf die Gesundheitsinfrastruktur verzeichneten und welcher Handlungsbedarf sich bezüglich Anpassungsmaßnahmen aufzeigt. Die TeilnehmerInnenstruktur setzte sich zusammen aus Vertretern des Bauamts in Bad Wildungen, dem Klimaschutz- und anpassungsmanagement des Landkreises Waldeck-Frankenberg, dem Klimaschutzmanagement der Stadt Bad Wildungen, VertreterInnen dreier Kliniken, sowie dem HLNUG und der JLU Gießen. Erkenntnisse des Workshops wurden hierbei parallel protokolliert und auch auf geteilten Notizfenstern festgehalten. Die Erkenntnisse des Workshops werden fortlaufend mit der Kennung „P-BW“ („Protokoll-Bad Wildungen“) zitiert.

Dem Workshop vorangestellt war hierbei ein Vor-Scoping Termin gemeinsam mit dem Klimaschutzmanagement und dem Bauamt der Stadt Bad Wildungen, um die Untersuchungsziele des Projekts vorzustellen, sowie die Versendung einer Anfrage an Klinikbetreiber zur Teilnahme an dem Workshop. Der Workshop selbst fand am 29.01.2025 statt. Zur Ergebnissicherung wurde im Anschluss an den Workshop das Protokoll an die TeilnehmerInnen des Workshops versendet. Abbildung 8 visualisiert das Vorgehen entsprechend.

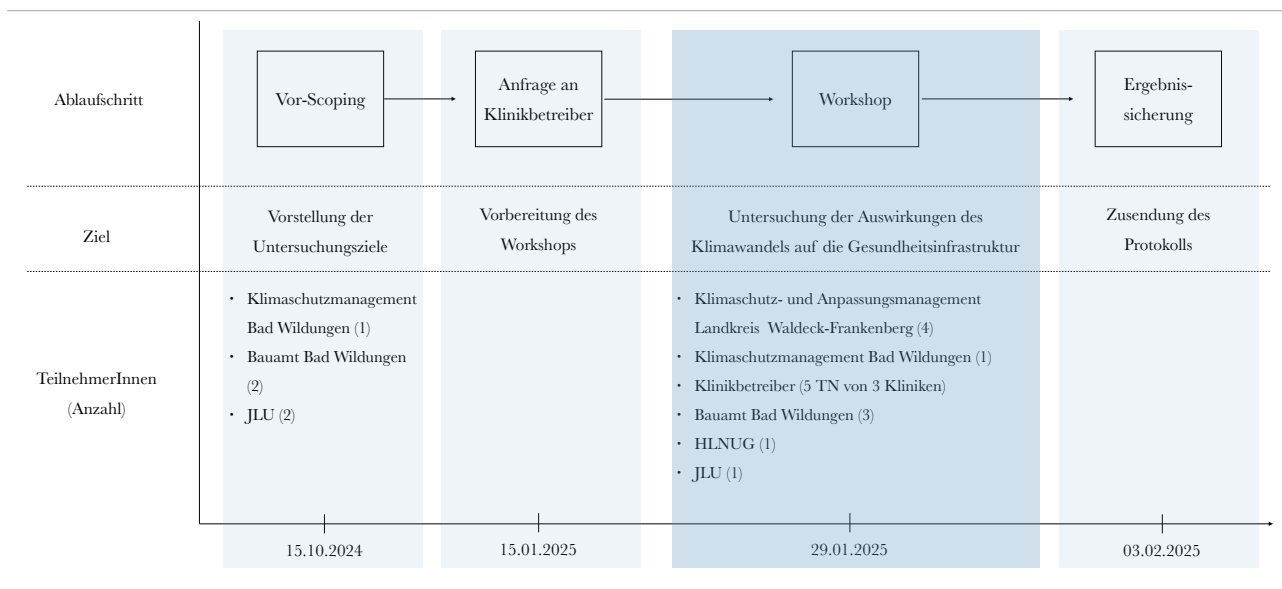


Abbildung 8: Ablauf der Fallstudie 1 (Bad Wildungen)

Quelle: Eigene Darstellung

Grundlage des Workshops waren jeweils Kartierungen bestimmter Klimaindikatoren (vgl. Kap. 2), mit dem Ziel, zum einen Problembewusstsein zu generieren und zum anderen direkt an den Daten Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten diskutieren zu können.

5.1.1. Zwischenergebnisse

Im Rahmen der Diskussion von Klimawandelfolgen in ihren Auswirkungen auf die im Workshop vertretenen Klinik-Einrichtungen, wurden zunächst die Konsequenzen von Starkregenereignissen auf den Betrieb angesprochen. So führten zwei der teilnehmenden Kliniken aus, dass sie in der Vergangenheit, u.a. 2024, von Starkregenereignissen betroffen waren. Im Beispiel der Klinik A (die Kliniken, werden, wie auch die TeilnehmerInnen der Experteninterviews, fortlaufend anonymisiert), resultierte ein Starkregenereignis 2024 in einem Rückstau der Kanalisation, wodurch Therapie- und Technikbereiche überflutet wurden (P-BW: 1). In Folge entwickelte Maßnahmen inkludierten eine angepasste Wasserflusslenkung, Kanalisationsreinigungen, Kontrollgänge zu bestimmten Jahreszeiten, sowie eine Erhöhung des Materials (Schlauchmaterialien und Pumpen) zur Beseitigung der Überflutungsrückstände (P-BW: 1-2). Zusätzlich standen auslastungsfähige Notstromaggregate, vollabdeckend für mehrere Monate, sowie ein entsprechender Vorrat an Heizöl zur Verfügung (P-BW: 2) - Ausfallkosten des Ereignissen wurden hierbei nicht ermittelt (P-BW: 2). Die umliegende Topographie erschwert es weitergehend Retentionsflächen einzuplanen (P-BW: 2).

Auch Klinik B beschrieb vergleichbare Ereignisfolgen, Maßnahmen bezogen sich ebenfalls primär auf technische Vorrichtungen (P-BW: 3), jedoch wurden auch Flächen auf dem Klinikgelände selbst entsiegelt (P-BW: 7).

In Betrachtung der Fließpfadkarten (vgl. Abb. 9 für Bad Wildungen, Abb. 10 für den Stadtteil Reinhardshausen) zeigt sich eine vergleichbare Lage für Klinikeinrichtungen insgesamt, ein Großteil der Einrichtungen liegen innerhalb der Gefährdungsbereiche von Fließpfäden.

Entsprechend stellt sich zur Risiko-Mitigation hierbei die Berücksichtigung von Fließpfadkarten im Schutz dieser Einrichtungen als signifikant heraus (P-BW: 6)³.

Auch die Frei- und Grünflächengestaltung und deren Integration zur Minderung des Starkregenrisikos wird als Kriterium zur Standortwahl neuer Elemente der Gesundheitsinfrastruktur angesprochen (P-BW: 6).

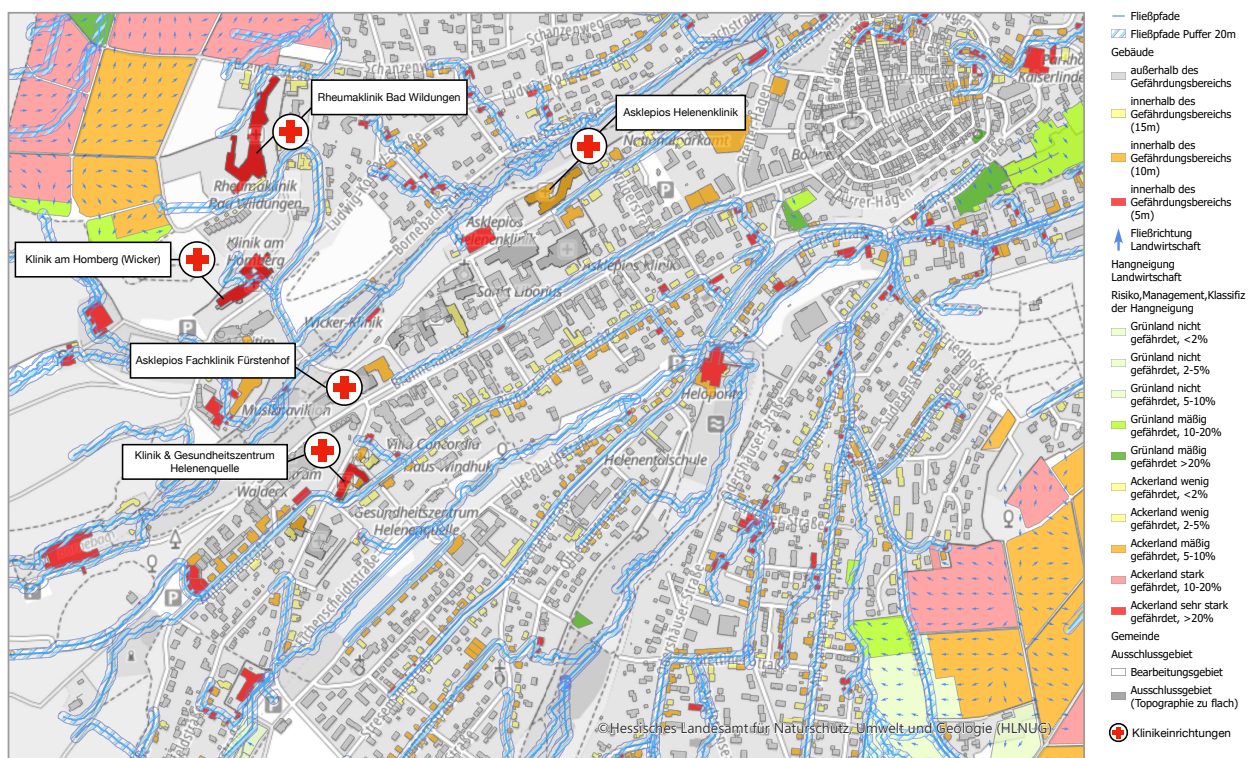


Abbildung 9: Fließpfadkarte mit hervorgehobenen Klinikeinrichtungen (Bad Wildungen)

Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: HLNUG 2026a

³ Nachfolgend des Workshops wurden die in Abb. 9 und 10 hervorgehobenen Kliniken (ausgenommen derer, die Teilnehmer des Workshops waren und hier aus Gründen der Anonymitätszusicherung nicht hervorgehoben werden) zusätzlich für ein Experteninterview angefragt. Diese wären mit dem Ziel durchgeführt worden, individuelle Vulnerabilität und Anpassungsmöglichkeiten erheben zu können. Trotz entsprechender schriftlicher An- und telefonischer Nachfragen, erklärte sich keine Klinik zur Teilnahme an einem solchen Experteninterview bereit.

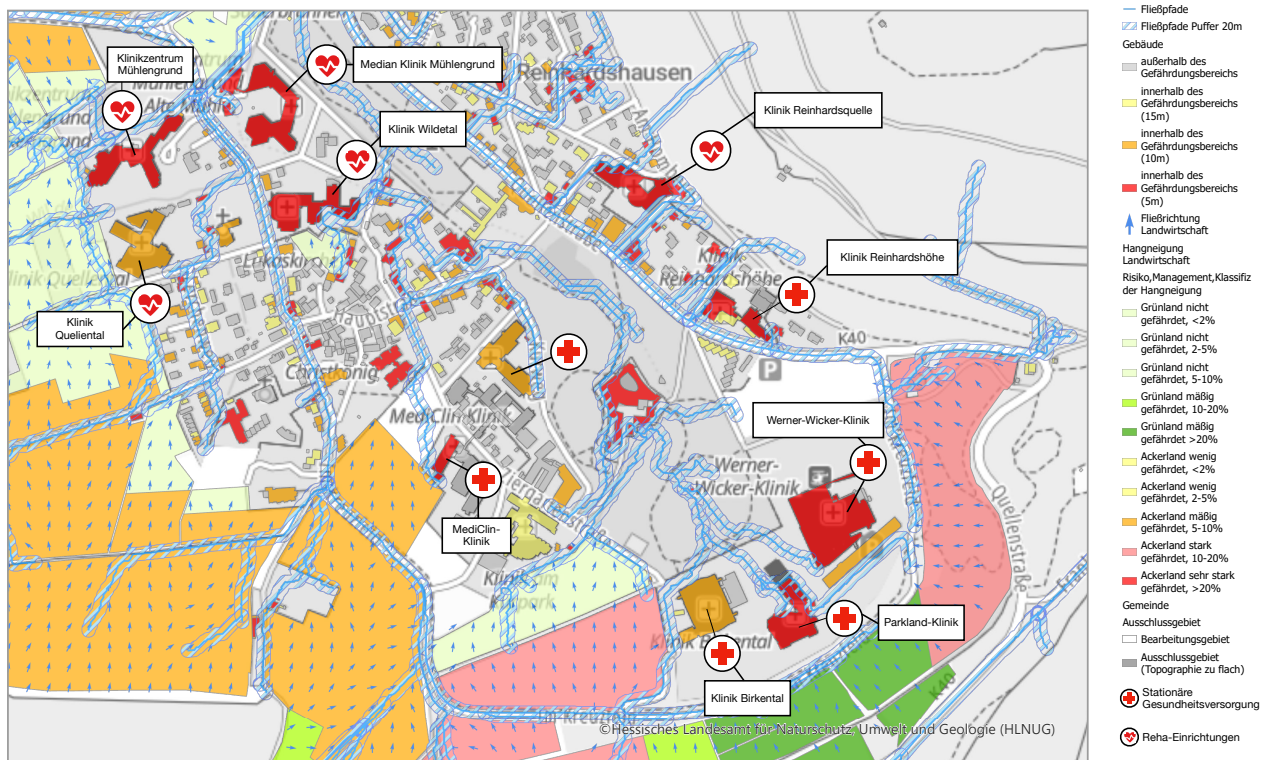


Abbildung 10: Fließpfadkarte mit hervorgehobenen Klinikeinrichtungen (Stadtteil Reinhardshausen)

Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: HLNUG 2026a

Fortlaufend zeigen sich Anpassungen hinsichtlich Hitzeereignissen v.a. in betriebsinternen Anpassungen. So folgern Hitzeereignisse situative Entscheidungen hinsichtlich der Ort- und zeitabhängigen Anpassung von Therapiemaßnahmen, wobei DWD-Hitzewarnstufen in diesen Entscheidungen lt. Aussagen der Klinikbetreiber keine größere Rolle spielen (P-BW: 2).

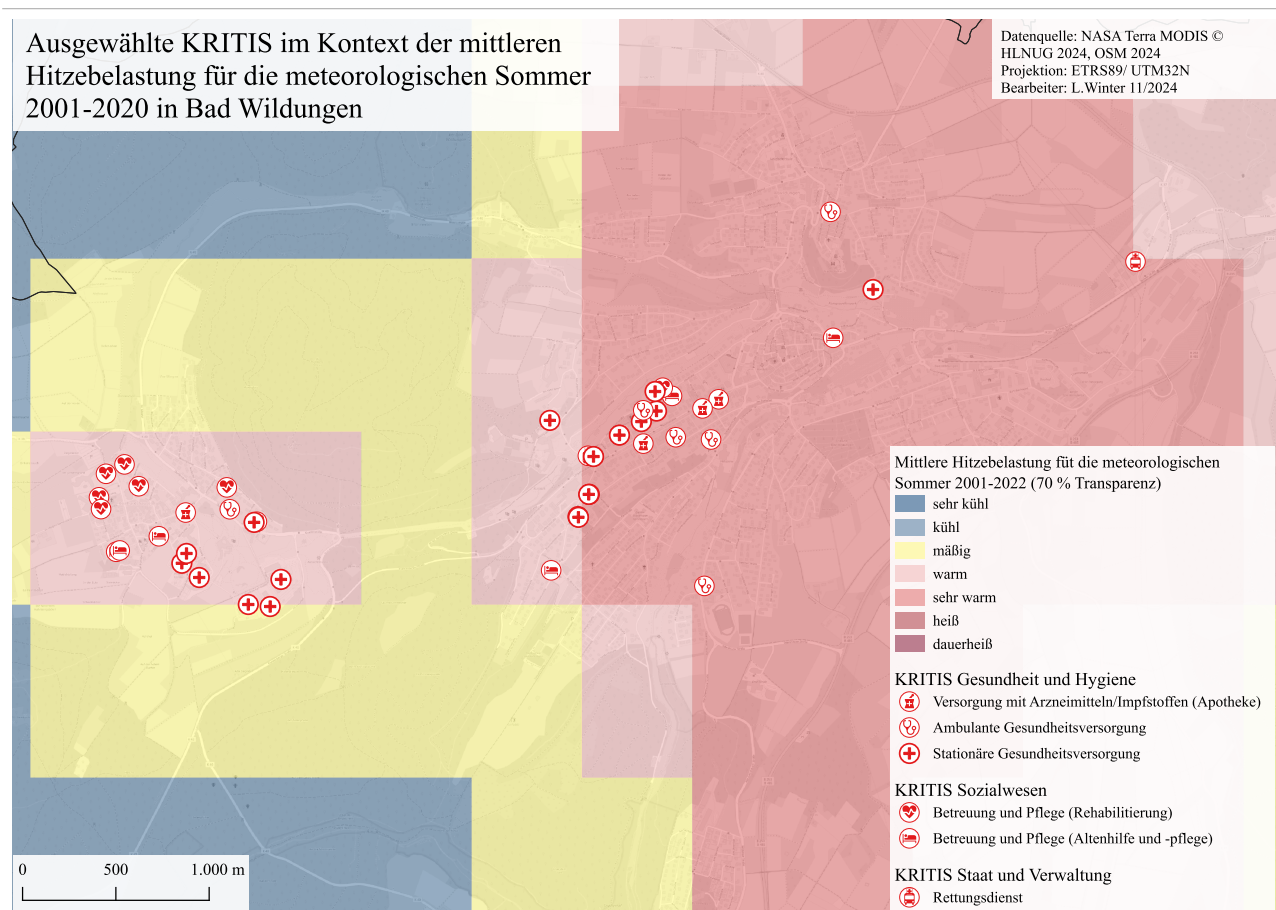


Abbildung 11: Mittlere Hitzebelastung der meteorologischen Sommer 2001-2020 mit hervorgehobenen Klinikeinrichtungen

Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: HLNUG 2026b

Die Betrachtung der mittleren Hitzebelastung für die meteorologischen Sommer 2001-2020 in Bad Wildungen (vgl. Abb. 11) zeigt hierbei für den Stadtbereich Bad Wildungen den Indikator „sehr warm“ bis „warm“ im westlichen Bereich der Stadt, sowie ebenfalls „warm“ für den Stadtteil Reinhardshausen auf.

Im Sinne von Anpassungsmaßnahmen ist entsprechend der Erfahrungslage hinsichtlich Starkregenereignisse der im Workshop vertretenen Klinik-Betreiber, als auch der Betrachtung der FPK, die Berücksichtigung von Fließpfäden zur Einschätzung der Vulnerabilität und Risiko-Minderung hervorzuheben. Außerdem wird in diesem Hintergrund und auch ursächlich der topographischen Lage in Bad Wildungen, die notwendige Beachtung von Hanglagen und daraus resultierender Erosionsanfälligkeit hervorgehoben (P-BW: 6).

5.2. Fallstudien 2a und 2b: Gießen und Hanau⁴⁵

KRITIS rücken einerseits zunehmend als schützenswerte Systeme in den Fokus, wobei der Klimawandel, sowohl durch Extremereignisse als auch durch schleichende Veränderungen, den Schutzbedarf weiter erhöht. Andererseits können bestimmte, insbesondere expansive KRITIS selbst zu Belastungsfaktoren werden, gegenüber denen es die Umwelt zu schützen gilt (vgl. Diller et al. 2023: 1) - beide Facetten lassen sich unter einer doppelten Schutzperspektive subsumieren (Diller et al. 2023). Zu solchen Beispielen können insbesondere Rechenzentren zählen, deren Flächennachfrage in der Metropolregion FrankfurtRheinMain bis 2030 auf einen Anstieg von 137 % prognostiziert wird (iWconsult/Detecon 2025: 32), dies getrieben durch Digitalisierung, Cloud-Services, KI-Anwendungen und veränderte Arbeitsformen (iWconsult/Detecon 2025: 33).

Rechenzentren sind hierbei Einrichtungsbeispiele für kritische Housing- IT-Hosting und Vertrauensdienstprozesse, untergeordnet der kDL Datenspeicherung-/Verarbeitung und dabei zugehörig der Branche Informationstechnik als Teil des KRITIS-Sektors Informationstechnik und Telekommunikation. Rechenzentren werden weitergehend durch das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) gem. §5 Abs. 4 Nr. 1 u. 2. BSI-KritisV; Anhang 4 BSI-KritisV als KRITIS eingeordnet, wenn sie eine Housing-Dienstleistung erbringen und einen Schwellenwert von einer vertraglich vereinbarten IT-Leistung von 3,5 MW erreichen. Abb. 12 enthält hierbei die Einordnung in die hessische KRITIS-Deklination.

⁴ Eine detaillierte Betrachtung der Anwendung der doppelten Schutzperspektive auf das KRITIS-Fallbeispiel Rechenzentren ist Bestandteil der Dissertation von Jan Gros (Gros 2026), auf die zur näheren Betrachtung hier verwiesen wird.

⁵ Zum Zeitpunkt der Erhebung war die Stadt Hanau noch Teil des Main-Kinzig-Kreises (MKK), bevor sie am 01.01.2026 kreisfrei wurde. Aufgrund dessen wird sie im Rahmen dieses Projekts noch zugehörig des MKK beschrieben.

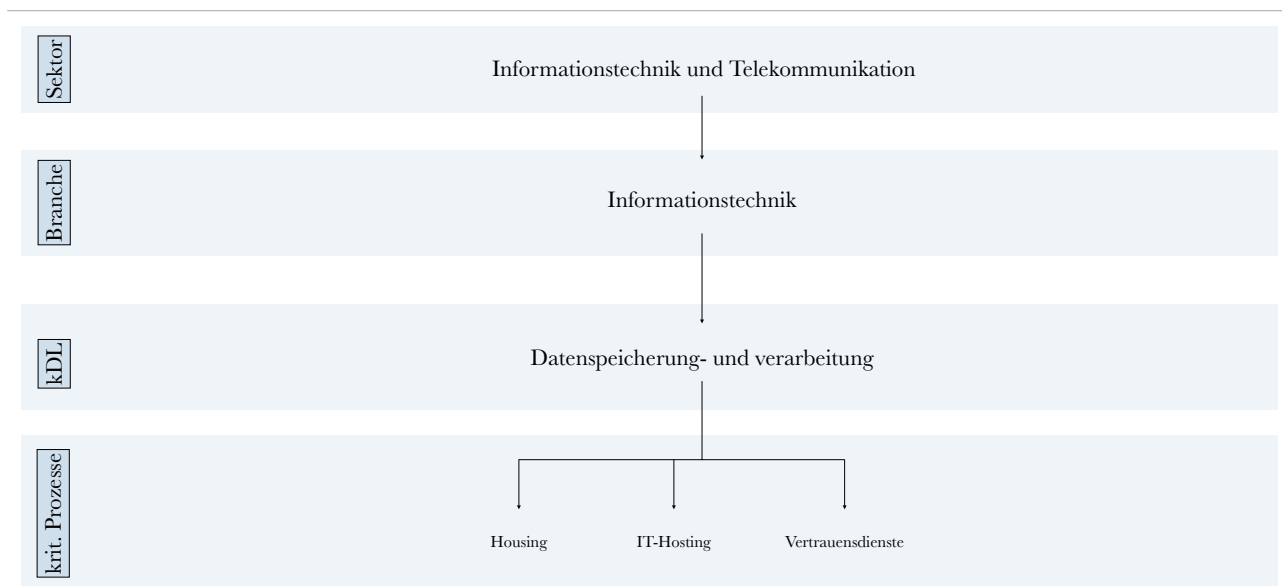


Abbildung 12: KRITIS Fokus in Fallstudien 2a und 2b

Quelle: Eigene Darstellung

Vor diesem Hintergrund wurden in Fallstudien 2a und 2b zwei unterschiedliche Bauleitplanverfahren mit Fokus auf die Flächenentwicklung für die Nutzung eines Rechenzentrums analysiert, zum einen der Bebauungsplan „Katzenfeld“ in der Stadt Gießen zur ex-ante Betrachtung eines Bebauungsplan-Vorentwurfs, sowie der Bebauungsplan „Großauheim-Kaserne“ in Hanau, zur ex-post Betrachtung eines rechtskräftigen Bebauungsplans. Ziel beider Fallstudien war primär die Untersuchung der Planungen aus doppelter Schutzperspektive, Tab. 6 visualisiert die Zielstellungen und Leitfragen.

KRITIS-Schwerpunkt	Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT); Fokus auf Rechenzentren
Ziel	Ex-Ante und Ex-Post Analyse zweier verschiedener Bauleitplanverfahren mit Rechenzentren Bezug (Fallstudie 2a: Gießen, Fallstudie 2b: Hanau)
Leitfragen	• Welche Risiken durch Klimawandelfolgen bestehen für das Planvorhaben? • Welche Maßnahmen wurden im Hinblick auf Klimaanpassung um zum KRITIS-Schutz im Bebauungsplan festgesetzt? • Wie wurden Auswirkungen des Vorhabens (spezifisch in Bezug auf Rechenzentren) im Rahmen des Planverfahrens und der Planinhalte berücksichtigt?

Tabelle 6: Überblick zu Fallstudien 2a und 2b in Gießen, bzw. Hanau

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 13 visualisiert zunächst das Vorgehen im Rahmen der Gießener Fallstudie zum „Katzenfeld“. Im Rahmen eines Vor-Scoping Termins wurden hierbei die Untersuchungsziele der Fallstudie in einem gemeinsamen Termin mit dem Stadtplanungsamt Gießen und dem Gießener Amt für Umwelt und Natur zunächst vorgestellt, woraufhin in einer Desk-Research Phase die zur Verfügung gestellten Planungsdokumente analysiert wurden. Methodisch wurde auf Basis eines im Vorhinein zur Verfügung gestellten Leitfadens, am 12.02.2025 ein Workshop zur Analyse des Vorentwurfs aus doppelter Schutzperspektive durchgeführt. Im Workshop selbst waren TeilnehmerInnen des Stadtplanungsamtes der Stadt Gießen, dem Amt für Umwelt und Natur, den Mittelhessischen Wasserbetrieben, dem Regierungspräsidium Gießen, dem Architekturbüro Feldmann Architekten, sowie dem HLNUG und der JLU vertreten. Der Workshop wurde fortlaufend protokolliert, wobei das Protokoll den TeilnehmerInnen des Workshops im Nachhinein zur Ergebnissicherung zur Verfügung gestellt wurde.

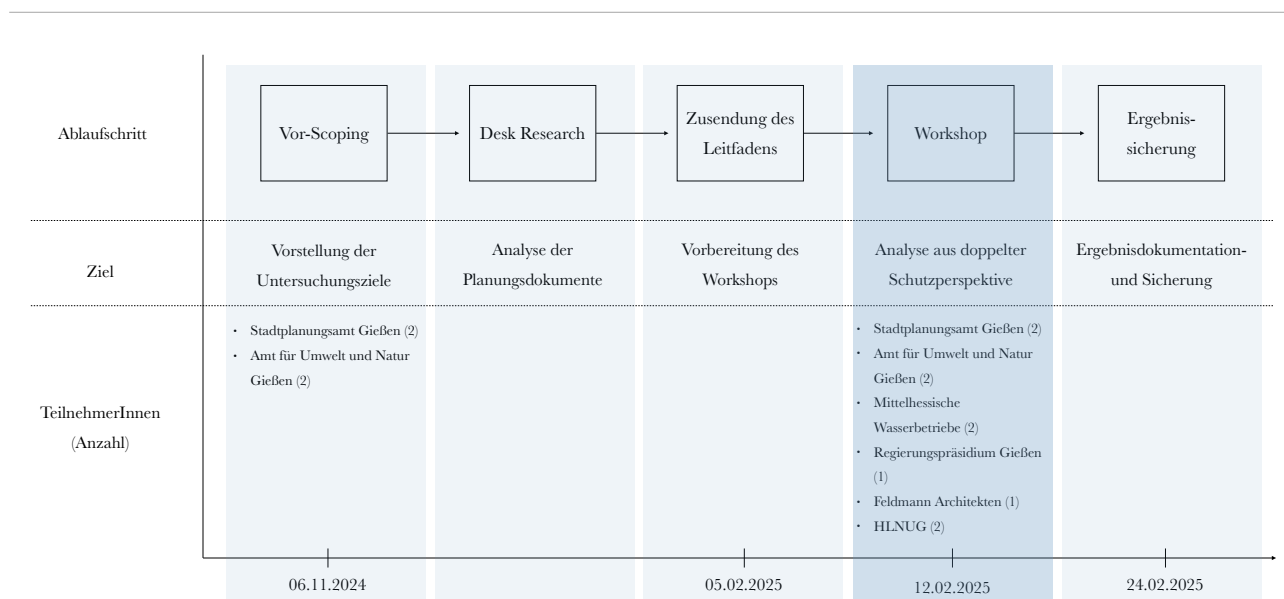


Abbildung 13: Vorgehen im Rahmen der Fallstudie „Katzenfeld“ in Gießen

Quelle: Gros 2026

Ein vergleichbares Vorgehen wurde auch zur Untersuchung des Fallbeispiels „Großauheim-Kaserne“ durchgeführt, wobei hier, zur Betrachtung des Verfahrens aus ex-post Perspektive, als Methodik ein Gruppen-Experteninterview durchgeführt wurde (vgl. Abb. 14).

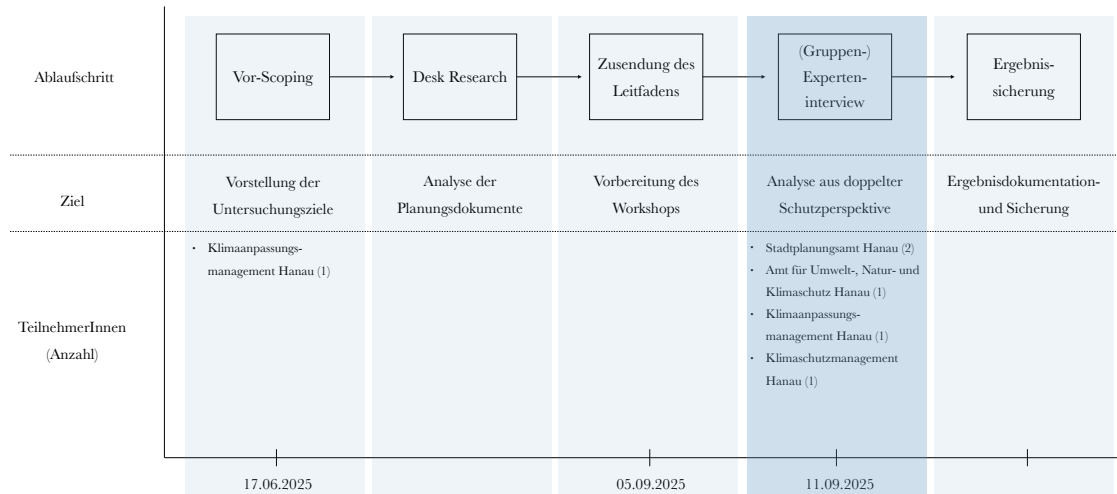


Abbildung 14: Vorgehen im Rahmen der Fallstudie „Großbauheim-Kaserne“ in Hanau

Quelle: Gros 2026

Als TeilnehmerInnen dieser Erhebung waren in dem Präsenz-Termin VertreterInnen des Stadtplanungsamts Hanau, dem Amt für Umwelt-, Natur und Klimaschutz Hanau, sowie dem Hanauer Klimaanpassungs- und Schutzmanagement vertreten. Das Interview wurde ebenfalls mit einem, den TeilnehmerInnen im Vorhinein zur Verfügung gestellten Leitfaden vorbereitet und am 11.09.2025 durchgeführt.

Zur Inklusion des übergeordneten räumlichen Rahmens wurden weitergehend zwei Experteninterviews, eines mit dem Stadtplanungsamt Frankfurt (R01) und dem Regionalverband Frankfurt-RheinMain (R04), geführt.

5.2.1. Zwischenergebnisse

Die vergleichende Analyse der beiden Fallstudien „Katzenfeld“ (Gießen) und „Großbauheim-Kaserne“ (Hanau) zeigt, dass die zunehmende Entwicklung von Rechenzentren in Hessen mit erheblichen planerischen Herausforderungen verbunden ist. Zentral sind insbesondere der steigende Flächen- und Strombedarf von Rechenzentren (R01: 32; R04: 6). Rechenzentren wirken stark bodenpreissteigernd und erzeugen Flächenkonkurrenz, insbesondere zulasten produzierenden Gewerbes (Stadt

Frankfurt 2020a: 6; Hanau 2021a: 4; R01: 6), was vor allem kleinere Kommunen vor Zielkonflikte zwischen wirtschaftlicher Vielfalt und Investitionsattraktivität stellt (R01: 26).

In Bezug auf die erste Schutzperspektive (Klimawandelfolgen auf Rechenzentren) zeigen sich zunächst Standortunterschiede: Im Fall „Katzenfeld“ führen Hochwasser Aspekte aufgrund der Lage in einem HQextrem-Gebiet zur Anpassung der Planung; weitergehend führt die Auswertung von Fließpfadkarten zur Integration eines Regenrückhaltebeckens. Demgegenüber spielen Hochwasserrisiken im Fall „Großauheim-Kaserne“ aufgrund der Lage außerhalb von Risikokulissen keine zentrale Rolle.

Die zweite Schutzperspektive (Umweltwirkungen der Rechenzentren) wird insbesondere über städtebauliche Verträge operationalisiert. Im Hanauer Fallbeispiel werden verbindliche Nachhaltigkeitsanforderungen festgelegt, etwa der Bezug von 100 % erneuerbarer Energien sowie ein regionaler Mindestanteil von 50 % (Hanau 2021b: 1) und die Einrichtung eines Klimafonds (Hanau 2021b: 1). Zudem werden Energieeffizienzanforderungen (u. a. Orientierung am „Blauen Engel“, DE-UZ 214) sowie eine PUE von 1,3 vereinbart (Hanau 2021b: 1). Die Abwärmenutzung wird vertraglich priorisiert, entweder durch Rekuperation im Plangebiet oder durch Einspeisung in öffentliche Wärmenetze (Hanau 2021b: 2–3), wobei hohe Investitionskosten, technische Schnittstellenfragen und die niedrige Temperaturlage der Abwärme als zentrale Hemmnisse benannt werden (R02: 83; R02: 103–104; G01: 4).

Weitere umweltrelevante Konfliktfelder ergeben sich aus Emissionen der Notstromaggregate, die bei großskaligen Vorhaben zu erheblichen Lärm- und CO₂-Emissionen führen können (Hanau 2021d: 11; R02: 120; G01: 4). Zudem verschärfen knappe Netzkapazitäten den Trend zur On-Site Power Generation, was insbesondere bei gasbasierter Eigenerzeugung in Widerspruch zu kommunalen Dekarbonisierungszielen geraten kann (R01: 10; R02: 168).

Aus planerischer Sicht lassen sich übergeordnete Handlungserfordernisse ableiten: Rechenzentren sollten räumlich gezielt dort angesiedelt werden, wo sie kommunalen Mehrwert erzeugen (R02: 6) und wo Energiepotenziale verfügbar sind (R02: 168). Um das strukturell ungleiche Kräfteverhältnis zwischen finanzstarken Investoren und kleinen Kommunen auszugleichen, werden landesweite Beratungsstrukturen und Erfahrungsaustauschformate als sinnvoll erachtet (R02: 168; R02: 182).

Insgesamt zeigt die Analyse, dass die doppelte Schutzperspektive ein tragfähiges Konzept zur systematischen Bewertung von Rechenzentrenvorhaben darstellt, ihre konkrete bauleitplanerische Umsetzung jedoch stark von standortspezifischen Rahmenbedingungen und vom jeweiligen Verfahrensstand abhängt. Während die Untersuchung zum „Katzenfeld“ ex-ante eine stärkere Integration

klimabezogener Anpassungsmaßnahmen ermöglicht, ist die Untersuchung der „Großauheim-Kaserne“ ex-post stärker durch vertragliche Nachhaltigkeitsauflagen geprägt. Beide Fälle verdeutlichen, dass zentrale Weichenstellungen - insbesondere zur Abwärmenutzung, Energieversorgung und Standortwahl - frühzeitig im Planungsverfahren getroffen werden sollten (R02: 127; R02: 136).

5.3. Fallstudie 3: Kelsterbach

Durch ihre Rolle bei der Versorgung mit sichererem Trinkwasser, sanitärer Einrichtungen und Abwassermanagement spielen urbane Wasserinfrastrukturen eine entscheidende Rolle bei der Zielerreichung nachhaltiger Entwicklung, den SDG's (Ferdowsi et al. 2024: 1). Gleichzeitig stehen diese Infrastrukturen vor erheblichen Herausforderungen, worunter u.a. die hohen Kosten von Ausfällen angesichts von Naturkatastrophen fallen, die zunehmend durch den Klimawandel versucht werden (Ferdowsi et al. 2024, Li et al. 2023, Pamidimukkala et al. 2021). Resilienz von urbanen Wasserinfrastrukturen hängt hierbei stark von ihrer Fähigkeit ab, sich an klimatische Variablen wie Niederschlagsmuster, Windgeschwindigkeiten, Windrichtungen und extreme Temperaturen anzupassen und darauf zu reagieren (Ferdowsi et al. 2024: 2).

Während im Zusammenhang mit Wasserinfrastrukturen hierbei zwar keine einheitliche Definition des Begriffs `Resilienz` besteht, bezeichnet der Begriff i.A. die Verbesserung der Wasserversorgungssicherheit angesichts meteorologischer/klimatischer Schwankungen und die Verringerung der Risikoanfälligkeit (aus beliebigen Quellen) (Capodaglio 2024: 5189). Insbesondere Konzepte wie die Schwammstadt können hierbei Resilienz stärken: Als Alternative zu grauer Infrastruktur, können Schwammstädte die Aufnahme und Speicherung von Wasser bei starken Regenfällen ermöglichen und geben es bei Dürre wieder ab, wodurch genügend Raum und Zeit für das Versickern im Boden bleibt, anstatt es schnell abzuleiten, wodurch der natürliche Wasserkreislauf nachgebildet und das Abfließen nur als letztes Mittel in die Kanalisation abgeleitet wird (Capodaglio 2024: 5192).

Unter diesen Aspekten steht der KRITIS-Sektor Wasser im Fokus der dritten Fallstudie im Projekt KritIKlima, welcher konkretisiert in der südhessischen Stadt Kelsterbach betrachtet wird.

Wasser, als KRITIS-Sektor, dekliniert sich hierbei (vgl. Abb. 15) zum einen in die Branche öffentlicher Wasserversorgung und öffentlicher Abwasserbeseitigung. Zweiterer zugeordnet ist hierbei die Abwasserbeseitigung als kDL und Abwassersammlung- und -fortleitung, Abwasserbehandlung, Steuerung, Überwachung und Instandsetzung als zugeordnete kritische Prozesse.

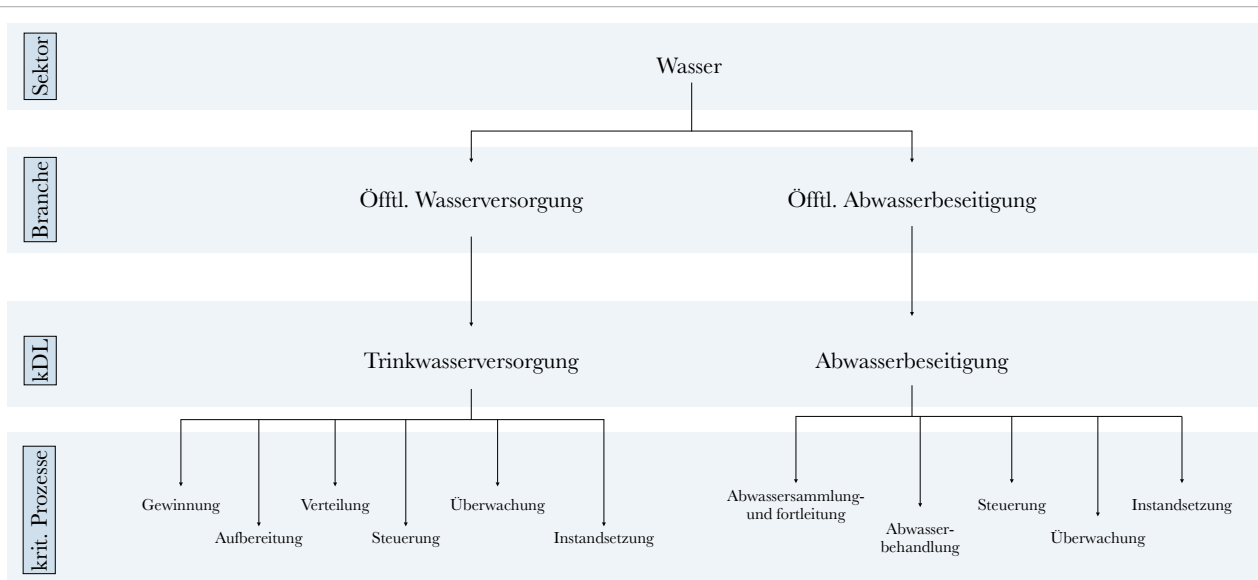


Abbildung 15: Aufschlüsselung der KRITIS Wasser

Quelle: Eigene Darstellung

Die Fallstudie steht hierbei unter der Zielstellung, Herausforderungen zu analysieren, vor welchen die Wasserinfrastruktur im Zuge des Klimawandels steht, sowie zu untersuchen, welche Maßnahmen im Rahmen neuer Bauleitplanverfahren ergriffen werden können, um ihre Resilienz zu erhöhen, bzw. sicherzustellen (vgl. Tab. 7).

KRITIS-Schwerpunkt	Wasser
Ziel	Analyse der Herausforderungen vor denen die Wasserinfrastruktur im Zuge des Klimawandels steht, Untersuchung, welche Maßnahmen im Rahmen neuer Bauleitplanverfahren ergriffen werden können, um ihre Resilienz zu erhöhen bzw. sicherzustellen.
Leitfragen	• Vor welchen Herausforderungen steht die Wasserinfrastruktur durch den Klimawandel? • Wie wird die Klimaresilienz der Wasserinfrastruktur eingeschätzt? • Welche Maßnahmen können im Rahmen neuer Bauleitplanverfahren getroffen werden, um die Klimaresilienz der Wasserinfrastruktur zu erhöhen/ sicherzustellen?

Tabelle 7: Überblick zu Fallstudie 3 in Kelsterbach

Quelle: Eigene Darstellung

Zur Untersuchung der in Tab. 7 aufgeführten Leitfragen wurde als primäre Methodik ein Gruppeninterview mit Akteuren der Bereiche Stadt- und Freiraumplanung, Tiefbau, Nachhaltigkeit und Klimaschutzmanagement in Kelsterbach durchgeführt. Abb. 16 visualisiert das Vorgehen.

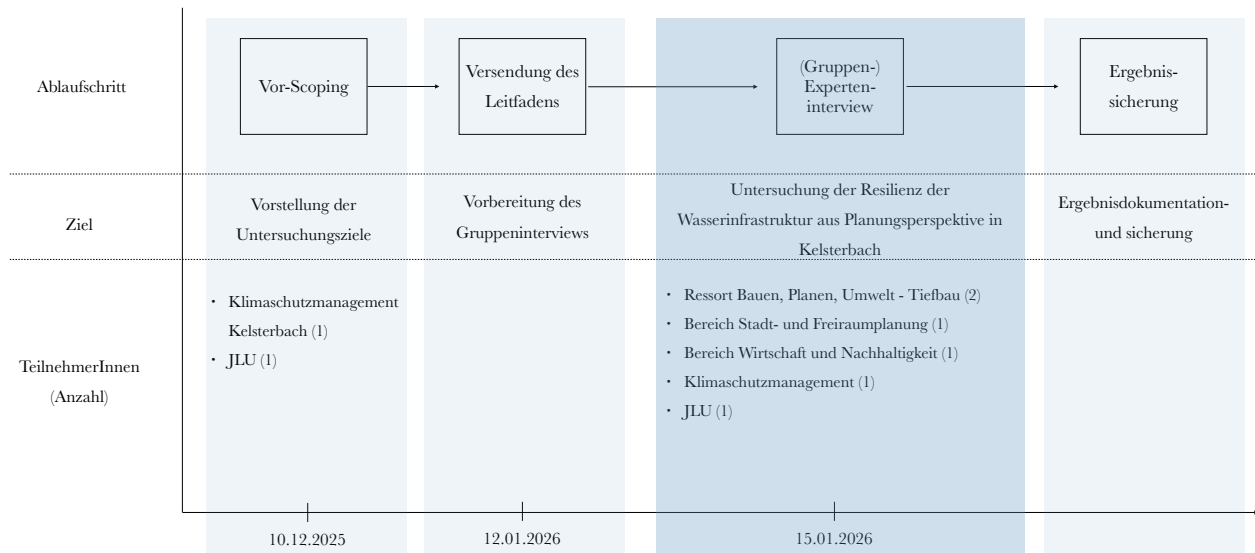


Abbildung 16: Vorgehen im Rahmen der Fallstudie zum KRITIS-Sektor Wasser in Kelsterbach

Quelle: Eigene Darstellung

Das Gruppeninterview wurde im Kontext der Fallstudie durch einen Vor-Scoping Termin am 10.12.2025 zur Vorstellung der Untersuchungsziele, sowie der Versendung des Interview-Leitfadens vorbereitet. Als TeilnehmerInnen des am 15.01.2025 vor Ort in Kelsterbach durchgeführten Gruppen-Experteninterviews, waren zwei TeilnehmerInnen des Bereichs Tiefbau des Ressorts Bauen, Planen und Umwelt, sowie jeweils ein/e TeilnehmerIn der Bereiche Stadt- und Freiraumplanung, Wirtschaft und Nachhaltigkeit, sowie dem Klimaschutzmanagement vertreten.

5.3.1. Zwischenergebnisse

Die Fallstudie Kelsterbach untersucht die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserinfrastruktur sowie bestehende und potenzielle Maßnahmen zur Erhöhung der Klimaresilienz. Zukünftige Herausforderungen ergeben sich in Betrachtung der Wasserinfrastruktur insbesondere aus veränderten Niederschlagsmustern und sinkenden Grundwasserspiegeln, woraus ein wachsender Be-

darf an dezentralen Speichersystemen wie z.B. Zisternen resultiert und Bewusstsein hinsichtlich solcher Anpassungsmaßnahmen hergestellt werden muss (W02: 396).

Auf Maßnahmenebene zeigen sich vielfältige Ansatzpunkte auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen. Auf der Ebene der Standortauswahl für entsprechende Anpassungsmaßnahmen dienen Stadtklimaanalysen und Starkregengefahrenkarten als zentrale Entscheidungsgrundlagen. So wird etwa ein Gewerbegebiet als besonders hitzebelastet identifiziert, was zur Initiierung eines Förderprojekts geführt hat (W02: 30). Starkregengefahrenkarten wurden weitergehend genutzt, um besonders gefährdete öffentliche Gebäude zu identifizieren und mittels Steckbriefen Vulnerabilitäten zu visualisieren (W02: 206). Darüber hinaus spielen Impulse aus der Kommunalpolitik und aus der Bürgerschaft eine Rolle bei der Priorisierung von Maßnahmen (W02: 126).

Auf Quartiersebene werden insbesondere Baumpflanzungen (W02: 76, W02: 216, W02: 334), Entsiegelung (W02: 206, W02: 211-214, W02: 215) und die Anpassung von Straßenprofilen (W02: 194-195, W02: 201) als Maßnahmen beschrieben. Baumpflanzungen werden als wirksame, wenn auch kleinteilige Maßnahme zur Minderung von Hitzeinseln hervorgehoben (W02: 76), wobei gleichzeitig ein mangelndes Problembewusstsein in der Bevölkerung, im Hinterrund der Wirksamkeit solcher Baumpflanzmaßnahmen benannt wird (W02: 79). Die Umsetzung wird jedoch durch Zielkonflikte mit Stellplatzanforderungen (W02: 302), Platzkonkurrenzen in engen Straßenräumen (W02: 334) sowie technische Restriktionen durch bestehende Leitungen begrenzt (W02: 334).

Entsiegelungsmaßnahmen und Versickerungslösungen werden vor allem im Zuge von Straßenumbaumaßnahmen umgesetzt, etwa durch den Einsatz von Rasengittersteinen an Stellplätzen (W02: 211). Diese Maßnahmen werden als Fortschritt gegenüber klassischen Versickerungspflastern bewertet, die weiterhin überwiegend aus Beton bestehen (W02: 212). Gleichzeitig werden die hohen Kosten als zentrales Hemmnis benannt (W02: 206).

Im Sinne des Schwammstadt-Konzepts erfolgt die Umsetzung bislang nicht als ganzheitliches Leitbild, sondern als schrittweise Vernetzung einzelner Maßnahmen (W02: 215). Technische Lösungen wie die Einbringung von Grobschlag unter Parkflächen sollen dabei langfristig ausreichend Wurzelraum für Bäume sichern (W02: 215).

Die Anpassung von Straßenprofilen wird als potenzielles Instrument zur Starkregenvorsorge diskutiert, etwa durch Kehlenprofile zur gezielten Ableitung von Oberflächenwasser (W02: 194), wodurch Schäden an angrenzenden Grundstücken reduziert werden können (W02: 201). Gleichzeitig wird die spezifische Topographie Kelsterbachs als weniger kritisch eingeschätzt (W02: 201).

Auf Gebäudeebene werden Dach- und Fassadenbegrünung (W02: 192), die Ableitung von Dachwasser in den Boden (W02: 421), Zisternen (W02: 405-407) sowie Grauwassernutzung (W02: 408-409, W02: 416) als mögliche Anpassungsoptionen benannt. Diese Maßnahmen dienen sowohl der Reduktion bioklimatischer Belastungen als auch der Minderung von Starkregenfolgen (W02: 192). Gerade auch die „Ableitung von Dachwasser in den Boden, nicht in die Kanalisation“ (W02: 421) bietet hierbei Unterstützungsmöglichkeiten hinsichtlich der Umsetzung des Schwammstadt-Konzepts und der Entlastung zentraler Infrastrukturen. Im Kontext von Zisternen wird kritisch hervorgehoben, dass deren bloße Errichtung ohne verbindliche Nutzungsvorgaben wenig wirksam ist (W02: 407). Grauwassernutzung wird weitergehend insbesondere für bestimmte Nutzungen wie Hotelbauten als potenziell sinnvoll eingeschätzt, zugleich aber als technisch anspruchsvoll beschrieben (W02: 409).

Governance-seitig zeigt sich eine deutliche Diskrepanz zwischen Möglichkeiten in Neubaugebieten und im Bestand. Während in neuen Bauleitplanverfahren Versickerungspflichten festgesetzt werden können, bestehen in Bestandsgebieten ohne entsprechende Satzungen nur eingeschränkte Steuerungsmöglichkeiten (W02: 423). Die Umsetzung des Schwammstadtprinzips wird im Bestand als besonders schwierig und kostenintensiv beschrieben (W02: 24; W02: 28). Maßnahmen werden hier vor allem anlassbezogen, etwa im Zuge von Förderprojekten oder Sanierungsmaßnahmen, umgesetzt (W02: 21). Für Neuplanungen wird eine fundierte, integrierte Infrastrukturplanung einschließlich der Vernetzung blau-grüner Strukturen als zentral erachtet (W02: 415).

Abb. 17 visualisiert erweitert die ebenenspezifische Maßnahmensystematik hinsichtlich Anpassungsmaßnahmen die mit der Wasserinfrastruktur, zum einen hinsichtlich der Entwicklung blau-grüner Infrastrukturen, zum anderen der damit verbundenen teilweisen Umsetzung des Schwammstadt-Konzepts in Verbindung stehen. Zentral sind hierbei die beiden Förderkulissen des BMWBS auf bundes- und des HMWEVW auf Landesebene zur „Klimainsel Kelsterbach“ einerseits und des HLNUG zu IB Green andererseits. Angestoßen wurden die Förderprogramme jeweils aus Auswertungen der kommunalen Klimadatenlage, hierbei zum einen der Stadtklimaanalyse, zum anderen der Starkregengefahrenkarte. Beide Förderkulissen beeinflussen zunächst das räumliche Handlungsfeld von Maßnahmen auf Privatgrundstücken, welche in Einzelmaßnahmen münden. Primär kommunalpolitische Initiativen und Umsetzung von Neubaugebieten führen zu holistischeren Maßnahmen i.S.d. Umsetzung von bspw. Schwammstadt-Maßnahmen.

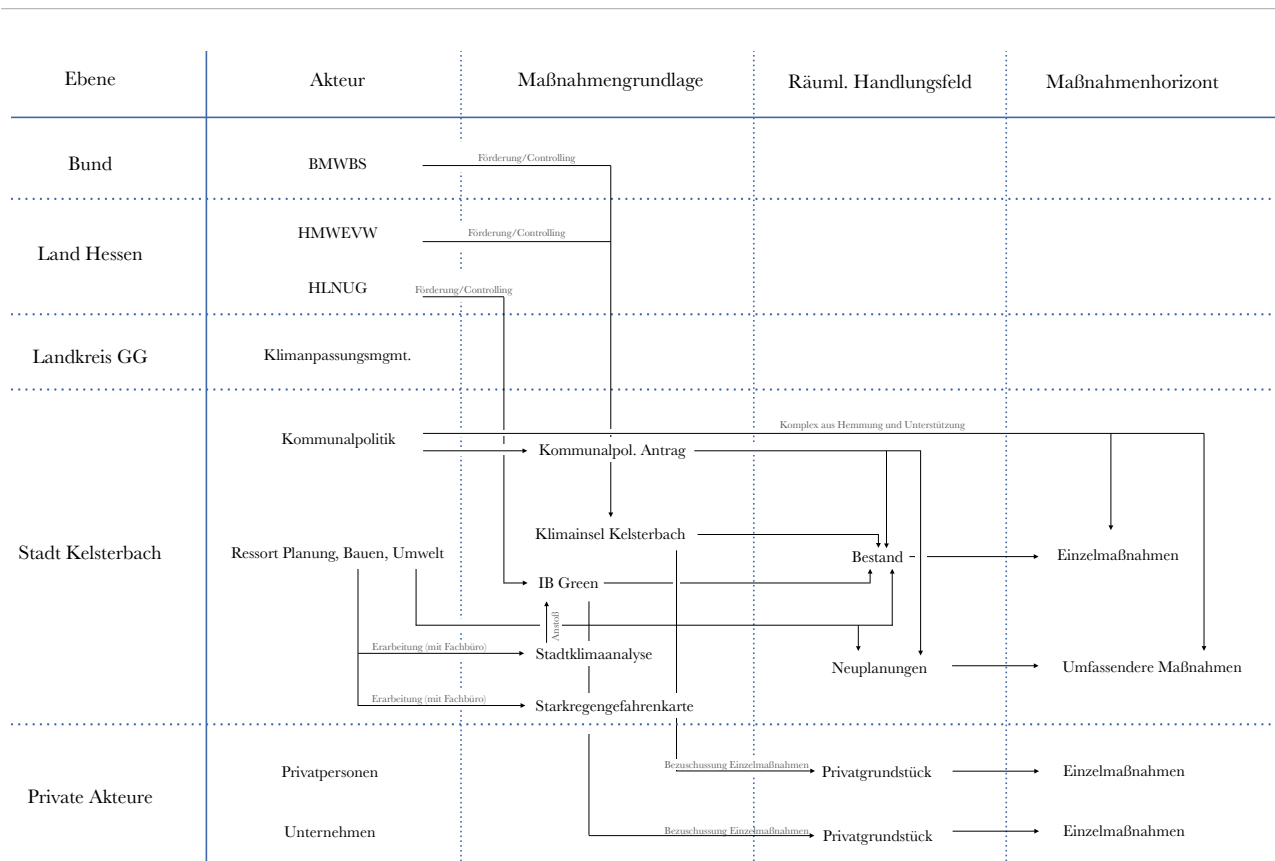


Abbildung 17: Maßnahmensystematik hinsichtlich der Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen im Kontext der Wasserinfrastruktur

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage W02

Ein weiterer zentraler Befund betrifft die Bedeutung von Bewusstsein, Akzeptanz und Partizipation. Da große Flächen in privater Hand liegen, wird die Einbindung privater Eigentümer als entscheidend für den Erfolg von Klimaanpassungsmaßnahmen hervorgehoben (W02: 40). Gleichzeitig wird ein Wissensdefizit in der Bevölkerung konstatiert, dem durch Bildungs- und Beteiligungsformate, etwa in Zusammenarbeit mit Schulen, begegnet werden soll (W02: 82). Partizipative Instrumente wie die Kelstervoice werden als wichtiges Tool zur Einbindung der Bürgerschaft bewertet (W02: 299).

Zusammenfassend zeigt die Fallstudie Kelsterbach, dass einer ganzheitlichen Umsetzung integrierter Konzepte wie der Schwammstadt politische Hemmnisse (W02: 40) und finanzielle Restriktionen (W02: 21; W02: 28; W02: 163) entgegenstehen. Handlungsspielräume ergeben sich insbesondere in neuen Bauleitplanverfahren, etwa durch verbindliche Vorgaben zur Regen- und Brauchwassernutzung. Für den Bestand können Stadtklimaanalysen und Starkregengefahrenkarten dazu beitragen,

Vulnerabilitäten sichtbar zu machen, Maßnahmen fachlich zu begründen und gesellschaftliche Akzeptanz zu erhöhen (W02: 30; W02: 5). Partizipative Formate sowie die systematische Kommunikation von Betroffenheiten (z. B. durch Steckbriefe öffentlicher Gebäude (W02: 206)) unterstützen zusätzlich die Bewusstseinsbildung. Insgesamt entfalten inkrementelle Einzelmaßnahmen zwar schrittweise Wirkungen, eine holistische Umsetzung des Schwammstadt-Prinzips erscheint jedoch vor allem in Neuplanungen und nur bei entsprechender politischer Unterstützung realistisch.

5.4. Fallstudie 4: Eiterfeld

Fallstudie 4 wurde mit dem Ziel, die in Fallstudien 2a und 2b angewendete doppelte Schutzperspektive auf ein weiteres Infrastrukturbeispiel anzuwenden, durchgeführt. Als Fallbeispiel wurde hierbei die Errichtung und der Betrieb der Gasverdichterstation Reckrod 2 in der Marktgemeinde Eiterfeld, im Landkreis Fulda, betrachtet. Abb. 18 visualisiert zunächst die KRITIS-Dekliniation der Branche Gas, zugehörig dem KRITIS-Sektor Energie.

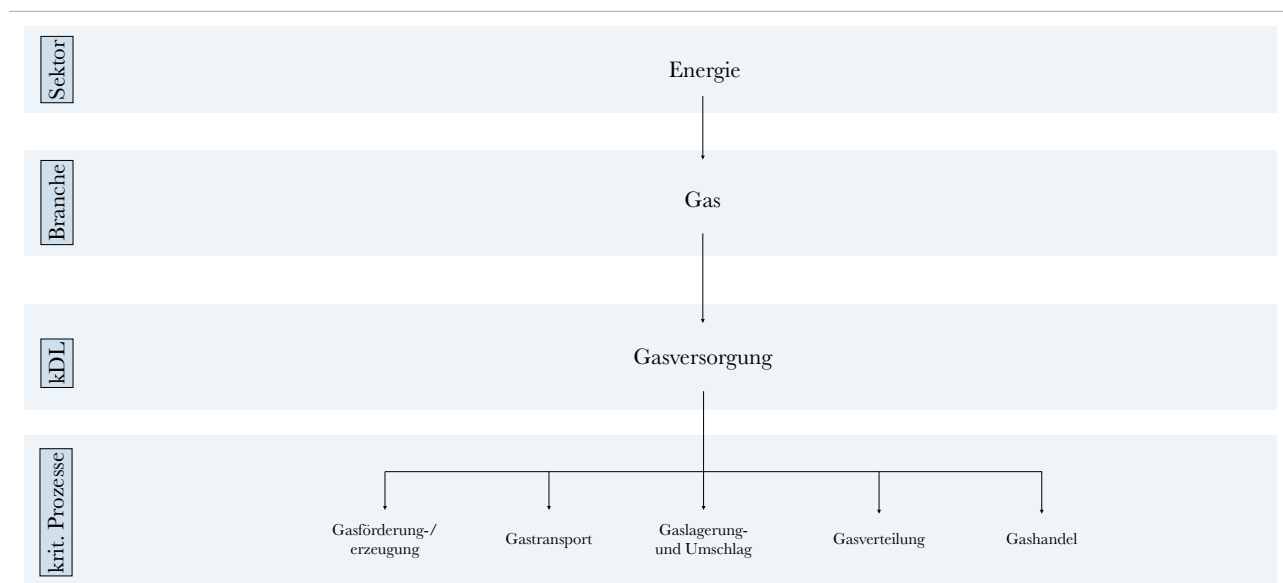


Abbildung 18: Aufschlüsselung der KRITIS Energie mit Fokus auf der Branche Gas

Quelle: Eigene Darstellung

Im Konkreten umfasst die Analyse hierbei den Planfeststellungsbeschluss für die Errichtung und den Betrieb der Verdichterstation Reckrod 2 sowie Errichtung und Betrieb von Anschlussleitungen von der Verdichterstation an bestehende Ferngasleitungen im Regierungsbezirk Kassel, Marktgemeinde

Eiterfeld, Gemarkungen Reckrod und Wölf der Gascade Gastransport GmbH (Regierungspräsidium Kassel 2023). Ziel der Planung ist hierbei mitunter die Sicherstellung des weiterführenden Transports von Gasmengen über die bestehenden Ferngasleitungen in Richtung Baden-Württemberg (Regierungspräsidium Kassel 2023: 40).

KRITIS-Schwerpunkt	Energie
Ziel	Betrachtung eines Planfeststellungsverfahrens zum Neubau und zur Erweiterung einer Gasverdichterstation
Leitfragen	• Wie werden die Auswirkungen von Klimawandelfolgen im Planvorhaben berücksichtigt? • Welche Auswirkungen bestehen durch das Planvorhaben auf die Umwelt?
Methodik	Qualitative Inhaltsanalyse

Tabelle 8: Überblick zur Fallstudie 4 in Eiterfeld

Quelle: Eigene Darstellung

Methodisch werden die beiden zentralen Leitfragen der Analyse des Plans aus einer doppelten Schutzperspektive, zum einen wie Auswirkungen von Klimawandelfolgen im Planvorhaben berücksichtigt werden und zum anderen welche Auswirkungen des Planvorhabens auf die Umwelt bestehen, durch eine qualitative Inhaltsanalyse (Kuckartz et al. 2023) am Beispiel des Planfeststellungsbeschlusses analysiert.

5.4.1. Zwischenergebnisse

Das Plangebiet liegt gemäß Einsicht des HWRM-Viewers außerhalb von Hochwassergefahren- oder Risikokulissen. Die Berücksichtigung von Starkregenereignissen findet sich im Planfeststellungsbeschluss primär im Zusammenhang mit der wasserrechtlichen Erlaubnis und im Rahmen der Eigenkontrolle (Regierungspräsidium Kassel 2023: 37). In Betrachtung der FPK im Gebietszusammenhang mit der bestehenden Gasverdichterstation Reckrod (vgl. Abb. 19) zeigen sich hierbei nach süd-

lich gerichtete Fließrichtungen von Fließpfaden mit nördlich und tlws. westlich angrenzendem mäßig gefährdeten Ackerland und südlich und östlich wenig gefährdetes Ackerland.

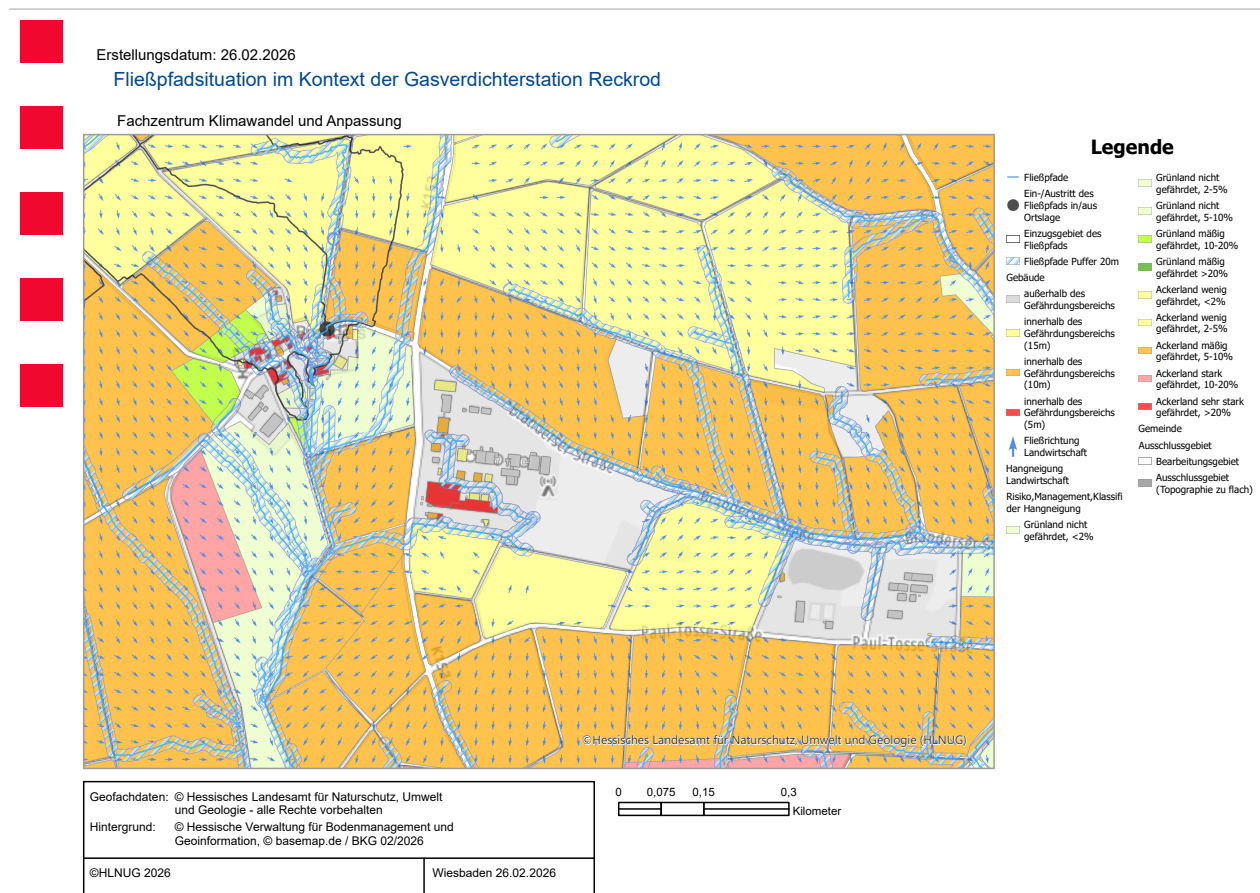


Abbildung 19: Fließpfadsituation im Kontext der Gasverdichterstation Reckrod

Quelle: HLNUG 2026a

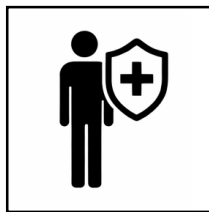
In Betrachtung der bestehenden Gebäudestruktur findet sich ein Gebäude im südlichen Bereich des Geländes innerhalb des 5m Gefährdungsbereiches des Einzugsgebiet eines Fließpfades.

Im Rahmen der Eigenkontrolle müssen hierbei, gem. des Planfeststellungsbeschlusses „Regenwasserabläufe, einschließlich der Schmutzfänger sowie die Anlagen zur Rückhaltung des Niederschlagswassers, [...] regelmäßig durch einfache Sichtprüfung auf ihre Funktionsfähigkeit geprüft werden. Sie sind bei Bedarf von Sand, Schlamm und Laub zu reinigen.“ (Regierungspräsidium Kassel 2023: 37-38). Weitergehend sind die baulichen Anlagen zur Niederschlagswasserableitung- und Rückhaltung mind. alle drei Monate, sowie „unmittelbar nach jedem Starkregenereignis durch Sichtprüfung auf Bauzustand, Betriebssicherheit und Funktionsfähigkeit zu überprüfen. Etwaige Missstände sind umgehend vorschriftsmäßig zu beseitigen. Ausgenommen sind die Abwasserkanäle

und -leitungen zur Niederschlagswasserableitung. Für diese Abwasserkanäle und -leitungen gilt die Abwassereigenkontrollverordnung (EKVO)“ (Regierungspräsidium Kassel 2023: 38). Einmal vierteljährlich ist der von der Regenwasserleitung beeinflusste Gewässerbereich weitergehend "in Augenschein zu nehmen und auf Auffälligkeiten wie z. B. Ablagerungen, An- und Abschwemmungen zu kontrollieren. Etwaige Missstände sind umgehend vorschriftsmäßig zu beseitigen“ (Regierungspräsidium Kassel 2023: 38)“.

Im Hinblick auf Anpassungen an Hitze, oder thermische Vulnerabilität, trifft der Planfeststellungsbeschluss weitergehend keine Aussagen.

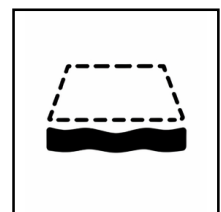
Hinsichtlich der Betrachtung der zweiten Schutzperspektive, den Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt, kann die Analyse des betrachteten Vorhabens entlang Schutzgüter nach § 2 Abs. 1 UVPG (vgl. Abb. 20) durchgeführt werden. Neben der Einschätzung baubedingter Wirkungen des Vorhabens werden in diesem Rahmen auch Anlage- und betriebsbedingte Wirkungen des Vorhabens untersucht, wobei sich die folgende Analyse auf den letzteren Aspekt fokussieren wird.



Menschen, ins. die menschliche Gesundheit



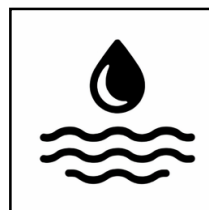
Tiere, Pflanzen und biologische Vielfalt



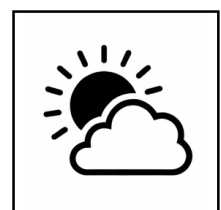
Fläche



Boden



Wasser



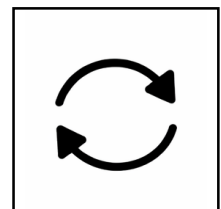
Luft und Klima



Landschaft



Kulturelles Erbe und sonstige Sachgüter



Wechselwirkungen

Abbildung 20: Schutzgüter nach § 2 Abs. 1 UVPG

Quelle: Eigene Darstellung

Im Zusammenhang des Schutzgutes „Mensch“ werden visuelle Beeinträchtigungen angesprochen, welche aus dem anlagebedingten gehölzfrei zu haltenden Streifen, sowie Errichtung von Bauwerken in der Landschaft einhergehen (Regierungspräsidium Kassel 2023: 57). Weitergehend wird mit betriebsbedingten „Schall-, Licht- und in Ausnahmefällen mit geringfügigen Luftschadstoffemissionen“ (ebd.: 57) gerechnet. Immissionsrichtwerte der TA Lärm werden tags und nachts eingehalten, Lichtimmissionen werden auf das sicherheitstechnische Mindestmaß beschränkt (ebd.: 58). Angesprochen werden relevante Luftschadstoffemissionen- bzw. Immissionen im Zusammenhang mit dem Betrieb der zentralen Erdgasausbläsysteme und dem Betrieb der Netzersatzanlage, wobei beide nur in Notfällen betrieben werden und keinen Regelbetrieb darstellen (ebd.: 58). Der Betrieb der Netzersatzanlage stellt im Falle eines Stromausfalls die Strom-Grundversorgung sicher, wenn elektrische Spannungsversorgung aus öffentlichen Netzen nicht gewährleistet ist (ebd.) - diese wird primär zu Zwecken der Prüfung auf Funktionstüchtigkeit betrieben (ebd.).

In Betrachtung des Schutzgutes „Pflanzen“ werden „keine hochwertigen Biotoptypen in Anspruch genommen“ (ebd.: 59) wobei der größte Flächenanteil aus intensiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen besteht und Wald- und Gehölzbiotope dauerhaft für die Anlage der Stationsfläche sowie im Aschutzstreifen beansprucht werden (ebd.). Als Auswirkungen im Zusammenhang mit dem Schutzgut „Tiere“ werden anlagebedingte- und dauerhafte Inanspruchnahme von Habitaten, sowie durch die Flächenversiegelung entstehende dauerhafte Veränderung von Biotop- und Habitatstrukturen von Säugetieren, Amphibien, Schmetterlinge und Libellen (ebd.: 59-60) angesprochen. Im Zusammenhang mit dem Aspekt „Biologische Vielfalt“ wird beschrieben, dass Vorhaben-Wirkungen teilweise zum „Verlust von Individuen insbesondere im Zuge der Baumaßnahmen führen“ (ebd.: 60) und weitergehend Beeinträchtigungen „von Tierlebensräumen, Biotoptypen und Standorten geschützter Pflanzenarten eintreten [können], die teilweise baubedingt und damit temporär, aber auch anlage- und betriebsbedingt und damit dauerhaft sind“ (ebd.: 60).

Das Stationsgelände, in Betrachtung des Schutzgutes „Fläche“, erstreckt sich auf 6,34ha, wobei innerhalb der geplanten Zaunanlage ca. 5,54ha liegen werden (ebd.: 61). Dauerhaft werden hierbei 1,5ha vollständig- und 2,6ha dauerhaft versiegelt (ebd.: 63), was unter das Schutzgut „Boden“ fällt. In diesen Zusammenhängen gehen Bodenfunktionen vollständig verloren, „[d]ie übrigen Flächen werden wieder begrünt, sodass die Bodenfunktionen weitgehend erhalten bzw. wiederhergestellt werden“ (ebd.: 63).

Die Betrachtung des Schutzgutes „Wasser“ wird aufgeteilt in Oberflächengewässer und Grundwasser. Hierbei soll das „im Rahmen der Flächenversiegelung anfallende, gesammelte Niederschlagswasser [...] über einen Entwässerungsgraben in den Vorfluter der Wölfe geleitet werden“ (ebd.: 64).

Dieses soll weitergehend zunächst in einem Regenrückhaltebecken gesammelt und dann kontrolliert über einen Drosselabfluss in den Graben abgegeben werden (ebd.). Eine erhöhte Gefahr der Verschmutzung des Grundwassers wird angesprochen, „zum einen durch die temporäre Verringerung der Grundwasserüberdeckung und zum anderen durch potentiellen Schadstoffeintrag“ (ebd.: 64). Weitergehend führt die Ableitung des Niederschlagswasser und Einleitung über den Entwässerungsgraben dazu, dass dieses der „Grundwasserneubildung nicht mehr oder nur sehr eingeschränkt zur Verfügung“ (ebd.: 65) steht.

Zur Betrachtung des Schutzgutes „Luft und Klima“, wird eine Beeinträchtigung des Kleinklimas durch Überbauung oder Bodenversiegelung angeführt (ebd.: 65). Die die Verdichterstation betriebenen Elektroverdichter emittieren hierbei im Regelbetrieb keine Luftschadstoffe (ebd.: 65), welche durch „durch den zentralen Erdgasausbläser nur in Notfällen in Form von Erdgas- bzw. Methanemissionen freigesetzt, die in 30 m Höhe abgeleitet werden“ (ebd.: 65). Zur Notstromversorgung wird eine Netzersatzanlage betrieben, bei dieser handelt es sich um „einen mit Dieselmotorkraftstoff betriebenen Verbrennungsmotor mit Generator“ (ebd.: 65-66), welche den Regelungen der 44. BImSchV unterliegt und „typische Luftschadstoffe freisetzt“ (ebd.: 66). Betrieben wird diese Anlage „nur zu Zwecken der Prüfung auf Funktionstüchtigkeit“ (ebd.: 66).

Im Kontext der Auswirkungen auf das Schutzgut „Landschaft“, werden keine relevanten anlagebedingten Auswirkungen des Vorhabens auf das Ortsbild der Ortschaft Branders festgestellt (ebd.: 67). Dauerhafte Eingriffe betreffen insbesondere prägende Gehölzreihen innerhalb der Leitungsschutzstreifen und des Stationsgeländes (ebd.: 67). Weitergehend verstärkt die neue Verdichterstation die technische Prägung des Landschaftsbildes, wobei bereits durch die bestehende Infrastruktur (Verdichterstation und Kavernenspeicher) eine erhebliche Vorbelastung gegeben ist (ebd.: 67). Gebäude und Anlagenteile weisen hier eine Höhe von kleiner 10m auf, einzig „der Erdgasausbläser verfügt eine über eine Höhe von 30m (ebd.: 67).

Es sind, in Betrachtung des Schutzgutes „kulturelles Erbe und sonstige Sachgüter“ im Bereich des Vorhabenstandortes, keine Bau- oder Bodendenkmale, vorhanden (ebd.: 67). Verdachtsstrukturen ergaben sich jedoch im Bereich der Stationsfläche (ebd.: 67). Dieses betrifft ein flächiges Bodendenkmal südlich der Montagefläche der Leitungsanbindungen (ebd.), welches jedoch nicht durch das Vorhaben berührt wird. Die landwirtschaftlichen Flächen, welche durch die Verdichterstation dauerhaft in Anspruch genommen werden, stehen einer solchen Nutzung entsprechend nicht mehr zur Verfügung (ebd.: 67). Bauzeitlich in Anspruch genommen Flächen werden nach Abschluss der Bauarbeiten wieder rekultiviert und zwecks landwirtschaftlicher Nutzung zur Verfügung gestellt (ebd.: 67).

Die nach §25 UVPG durchgeführte begründete Bewertung der Umweltauswirkungen kommt zu folgendem Schluss:

	Schutzgut	Bewertung (Anlage- und betriebsbedingte Auswirkungen)
	Mensch	Weder bau- Anlage- oder betriebsbedingt sind erhebliche Umweltauswirkungen zu erwarten (Regierungspräsidium Kassel 2023: 70)
	Pflanzen	Erhebliche Umweltauswirkungen sind nicht zu erwarten (ebd.: 71)
	Tiere	Unter Berücksichtigung der Vermeidungs-, Minderungs- und Schutzmaßnahmen sind erhebliche Umweltauswirkungen sind nicht zu erwarten (ebd.: 73)
	Biologische Vielfalt	Erhebliche Umweltauswirkungen auf die biologische Vielfalt können ausgeschlossen werden (ebd.: 73)
	Fläche	Durch Flächeninanspruchnahme sind „lediglich erhebliche Umweltauswirkungen schwacher Intensität gegeben (ebd.: 73)
	Boden	Bodenfunktionen werden weitgehend erhalten, bzw. wiederhergestellt, wodurch erhebliche Umweltauswirkungen nicht gegeben sind (ebd.: 75)
	Wasser	Weder bau- anlage- oder betriebsbedingte erhebliche Umweltauswirkungen auf Oberflächengewässer sind zu erwarten, noch ist aus Blickrichtung der chemischen, oder mengenmäßigen Sicht mit einer Verschlechterung des Zustands des Grundwassers zu rechnen (ebd.: 76).
	Klima	Durch die Errichtung und den Betrieb der Verdichterstation sind keine erheblichen Umweltauswirkungen zu erwarten (ebd.: 77)
	Landschaft	„Die Beeinträchtigung des Landschafts- und Ortsbildes ist zusammengefasst nicht als erheblich zu bewerten“ (ebd.: 78)
	Kulturelles Erbe und sonstige Sachgüter	Es ist nicht mit erheblichen Auswirkungen auf das kulturelle Erbe zu rechnen, auch in Bezug auf weitere sonstige Schutzgüter sind keine erheblichen Umweltauswirkungen zu erwarten (ebd.: 78)

Tabelle 9: Begründete Bewertung der Umweltauswirkungen in Fallstudie 4

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage Regierungspräsidium Kassel 2023

In Betrachtung der Auswirkungen auf die diversen Schutzgüter lässt sich erkennen, dass gerade die UVP-Systematik in ihrer Deklination in verschiedene Schutzgüter, einen sinnvollen Analyserahmen für die zweite Schutzperspektive bietet.

6. Phase V: Ergebnissynthese zur Identifikation planerischer Steuerungsmöglichkeiten

Dem Schutz kritischer Infrastrukturen ist raumordnerisch Rechnung zu tragen. Planerisch steht diesem „Rechnung tragen“ zunächst eine fehlende einheitliche Definition dessen entgegen, was KRITIS auch raumbezogen sind. Eine weitere Hürde besteht in der Einschätzung der situativen Kritikalität (Gros 2026), da es hinsichtlich Gefährdungskomplexe außerhalb von Hochwasserkontexten Unsicherheiten bezüglich deren Kritikalität für den Betrieb von KRITIS gibt. Dies betrifft beispielsweise den Komplex Hitze. Entsprechend finden sich Hinweise auf den Schutz von KRITIS vorwiegend in Form abstrakter, verbaler Begründungen in den raumordnerischen Flächenkategorien zu Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für den vorbeugenden Hochwasserschutz. Der KRITIS-Schutz konkretisiert sich hierbei primär als Aufgabe der Betreiber von (kritischen) Infrastrukturen auf konkreter lokaler Ebene, was den Handlungsbereich der kommunalen Bauleitplanung umfasst.

Neben den Festlegungen zu Hochwasserrisiko- und -gefahrengebieten aus Datengrundlagen der Wasserwirtschaft, bildet die landesweite Klimaanalyse eine Datengrundlage auf Landesebene, die die Festlegung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für besondere Klimafunktionen ermöglicht. Hintergrund dieser Flächendispositionen ist die Ermittlung thermisch vulnerabler Siedlungsgebiete, die durch die entsprechenden VRG- und VBH, insbesondere durch die Sicherung von Kaltluftentstehungsgebieten, gesichert werden sollen. Eine Überlegung, die weiteren Analysebedarf erfordert, wäre es, in die Begründung dieser Kategorien den Schutz kritischer Infrastrukturen im Hitzekontext aufzunehmen, um insbesondere hitzeempfindliche kritische Infrastrukturen, wie beispielsweise Krankenhäuser, an thermische Belastung anzupassen.

Auch auf regionaler Ebene zeigt sich die zu Beginn des Kapitels angerissene Hürdenstellung. Eine fehlende KRITIS-Definition sowie Einschätzungsschwierigkeiten bezüglich der situativen Kritikalität in Kontexten außerhalb von Hochwasser erschweren die Umsetzung des KRITIS-Grundsatzes. Entsprechende Hinweise zeigen sich auch hier auf den technischen Basisschutz, den Betreiber zu gewährleisten haben, sowie auf die Freihaltung sensibler Raumstrukturen auf Ebene der Kommunen. Der KRITIS-Schutz ist entsprechend in den beiden Hochwasserkulissen, den Risiko- und Gefahrengebieten, verankert.

Die Anwendung der doppelten Schutzperspektive zeigt auf kommunaler Ebene bzw. der Ebene der kommunalen Bauleitplanung Potenzial, den Schutz von KRITIS hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels auf das Planvorhaben einerseits und die Auswirkungen des Planvorhabens auf die Umwelt andererseits zu betrachten. Aus ersterer Perspektive ist es der Dreiklang aus Hochwasser-, Starkregen- und Hitze, der in den betrachteten Fallbeispielen durchaus unterschiedlichen Einfluss auf die Planvorhaben hat. Insbesondere im Zusammenhang mit Starkregen ist es relevant, auf

kommunaler Ebene Starkregengefahrenkarten zu nutzen, um bestehende KRITIS, insofern als solche bekannt, hinsichtlich ihrer jeweiligen potenziellen Gefährdung zu analysieren. Zur ersten Standortlokalisierung kann die im Projekt entwickelte Verschneidung der hessischen KRITIS-Übersichtsliste mit kritischen Prozessen verwendet werden, um diese Standorte zunächst herauszufiltern und im nächsten Schritt mit einer lokalen Kritikalitätsanalyse zu verschneiden. Hierbei besteht Forschungsbedarf, um bundesweite Ansätze wie die von Schmitt (2020) auf lokale Kontexte zu übertragen.

Auf kommunaler Ebene sowie bei der Betrachtung einzelner Fallstudien zeigt sich eine Fokussierung auf den „räumlich bestimmbaren physischen Standort der Infrastruktur“ (vgl. BMVI 2017: 39). Dies grenzt sich von „szenariohaften Betrachtungen für umfassend definierte Einzelfälle [...]“ (vgl. ebd.) zur Ermittlung von Kaskadeneffekten ab. Weiterer Forschungsbedarf besteht hierbei, um Interdependenzen räumlich konkretisiert identifizieren zu können. Aufgrund der ursächlichen Hürde einer fehlenden KRITIS-Definition könnte etwa die KRITIS-Dachgesetzgebung in den Analyse-rahmen eingebunden werden. Ihr Ziel ist es, den physischen Schutz von KRITIS „bundeseinheitlich und sektorenübergreifend in den Blick zu nehmen“ (BMI 2026)⁶.

Grundsätzlich verdeutlichen die Ergebnisse der Erhebung auf unterschiedlichen Planungsebenen, einerseits Limitationen im Zusammenhang mit planerischer Steuerung von KRITIS, jedoch andererseits auch die Relevanz, gerade im Zusammenhang mit einem Anstieg von Hitzewellen, Starkregen- und Extremwetterereignissen, dem Schutz von KRITIS planerisch Rechnung zu tragen.

Zusammenfassend kann betont werden, dass die dynamische Entwicklung des Klimawandels und dessen Folgen es in Zukunft dringlicher machen werden, alle an Planungsvorhaben mit KRITIS-Bezug beteiligten Institutionen, Fachplaner und Betreiber von KRITIS frühzeitig zu inkludieren. Durch die Einbeziehung der beiden im Forschungsprojekt angewendeten Schutzperspektiven kann hierbei ein Beitrag zur Berücksichtigung der Anpassung von KRITIS an die Folgen des Klimawandels sowie zum Schutz der Umwelt vor KRITIS geleistet werden.

⁶ Zum Zeitpunkt der Verfassung des Abschlussberichts hat der deutsche Bundestag den Entwurf eines KRITIS-Dachgesetzes beschlossen (Stand: 29.01.2026).

7. Limitationen

Zu Beginn der Projekts verzögerte sich der ursprüngliche Projektstart aufgrund von Interna an der Justus-Liebig-Universität Gießen im Zusammenhang mit der Corona-Pandemie, auf das Jahr 2021. Zusätzlich verließ die bis dahin zuständige Bearbeiterin des Projektes von Seiten der Justus-Liebig-Universität Gießen das Projekt zum 31.12.2021. Nach einer darauf folgenden Pausierung des Projektes wurde am 01.10.2023 mit der Bearbeitung fortgefahren. Das Projekt wurde entsprechend bis zum 30.09.2025 verlängert, mit einer zusätzlichen kostenneutralen Verlängerung bis zum 31.01.2026.

Zu erstem Beginn des Projekts wurde festgestellt, dass im Rahmen des Forschungsprojekts eine landesweite Bestandsanalyse der hessischen KRITIS nicht abschließend durchführbar ist. Dies ergab sich aus mangelnder Datenverfügbarkeit landesweiter raumbezogener Daten, sowie aus der Abweichung verschiedener zuständiger Stellen bezüglich Methodik und Schwellenwerte in der Identifizierung und Definition der KRITIS. Die Entwicklung einer eigenen Methodik zur Bestimmung zeigte sich somit abschließend als nicht möglich und der Projektverlaufsplan wurde entsprechend angepasst.

Literaturverzeichnis

Abebe, Yared Abayneh / Pregnotato, Maria / Jonkmann, Sebastiaan (2025): Flood impacts on healthcare facilities and disaster preparedness - A systematic review. In: *International Journal of Disaster Risk Reduction* 119, S. 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2025.105340>

Balbus, John / Malina, Catherine (2009): Identifying vulnerable subpopulations for climate change health effects in the untied states. In: *J Occup Environ Med* 5 (1), S. 33 - 37.

BBK (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe) (2023a): Kritische Infrastrukturen. Available at: [https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/kritische-infrastrukturen_node.html#:~:text=%E2%80%9EKritische%20Infrastrukturen%20\(KRITIS\)%20sind,%E2%80%9C\(zuletzt%20gepr%C3%BCft%20am%2022.04.2025\).](https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/kritische-infrastrukturen_node.html#:~:text=%E2%80%9EKritische%20Infrastrukturen%20(KRITIS)%20sind,%E2%80%9C(zuletzt%20gepr%C3%BCft%20am%2022.04.2025).)

BBK (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe) (2023b): KRITIS-Gefahren. Available at: [https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/KRITIS-Gefahrenlagen/kritis-gefahrenlagen_node.html\(zuletzt%20gepr%C3%BCft%20am%2022.04.2025\).](https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/KRITIS-Gefahrenlagen/kritis-gefahrenlagen_node.html(zuletzt%20gepr%C3%BCft%20am%2022.04.2025).)

BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) (2023): INKAR - Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung. Online: <https://www.inkar.de/> (zuletzt geprüft am 01.10.2024).

Birkmann, Jörn / Bach, Claudia / Guhl, Silvie / Witting, Maximilian / Welle, Torsten / Schmude, Miron (2010): State of the Art der Forschung zur Verwundbarkeit Kritischer Infrastrukturen am Beispiel Strom/Stromausfall. Berlin: Forschungsforum Öffentliche Sicherheit.

BMI (Bundesministerium des Inneren) (2009): Nationale Strategie zum Schutz kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie). Online: [https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bevoelkerungsschutz/BMI09324-kritis-strategie.pdf?__blob=publicationFile&v=8\(zuletzt%20gepr%C3%BCft%20am%2008.09.2025\).](https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bevoelkerungsschutz/BMI09324-kritis-strategie.pdf?__blob=publicationFile&v=8(zuletzt%20gepr%C3%BCft%20am%2008.09.2025).)

BMI (Bundesministerium des Inneren) (2026): Pressemitteilung. Bundeskabinett beschließt Gesetzesentwurf zum KRITIS-Dachgesetz. Online: [https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/pressemitteilungen/DE/2025/09/kritis-dg-kabinett.html\(zuletzt%20gepr%C3%BCft%20am%2002.03.2026\).](https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/pressemitteilungen/DE/2025/09/kritis-dg-kabinett.html(zuletzt%20gepr%C3%BCft%20am%2002.03.2026).)

Braubach, Angela (2011): Vulnerabilität der Kritischen Infrastruktur Wasserversorgung gegen über Naturkatastrophen. Bonn: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe.

BSI (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik) (2024): Kriterien für die Standortwahl von Rechenzentren. Online: [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/RZ-Sicherheit/Standort-Kriterien_Rechenzentren.pdf?__blob=publicationFile&v=5\(zuletzt%20gepr%C3%BCft%20am%2022.10.2025\).](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/RZ-Sicherheit/Standort-Kriterien_Rechenzentren.pdf?__blob=publicationFile&v=5(zuletzt%20gepr%C3%BCft%20am%2022.10.2025).)

Bubeck, Philip / Thieken, Annegret (2018): What helps people recover from floods? Insights from a survey among flood-affected residents in Germany. In: *Regional Environmental Change* 18 (1), S. 287 - 296.

Capodaglio, Andrea (2024): Urban Water Supply Sustainability and Resilience under Climate Variability: Innovative Paradigms, Approaches and Technologies. In: *ACS EST Water* 4, S. 5185 - 5206. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.4c00203>

Curt, Corinne / Tacnet, Jean-Marc (2018): Resilience of Critical Infrastructures: Review and Analysis of Current Approaches. In: *Risk Analysis* 38 (11), S. 2441 – 2458.

Curtis, Sarah / Fair, Alistair / Wistow, Jonathan / Val, Dimitri / Oven, Katie (2017): Impact of extreme weather events and climate change for health and social care systems. In: *Environmental Health* 16 (128), S. 23-32. <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0324-3>

Deutscher Bundestag (2023): Schutz kritischer Infrastrukturen. Rechtslage in Deutschland, Finnland, Frankreich, Österreich und Schweden. Online: https://www.bundestag.de/resource/blob/945532/888b342ce610fb078fc3c3ada7d39bc5/WD-3-176-22-pdf-data.pdf?utm_source=chatgpt.-com (zuletzt geprüft am 16.07.2025).

DiFu (2018): Daten und Informationen. Umweltgerechtigkeit. Online: https://toolbox-umweltgerechtigkeit.de/sites/default/files/media/Checkliste_Quellen_Daten_Informationen.pdf (zuletzt geprüft am 29.03.2023).

Diller, Christian / Schnorr, Mareike / Czickus, Niklas (2022): Kritische Infrastruktur aus einer doppelten Schutzperspektive: Methodische Identifizierungsprobleme und planerischer Handlungsbedarf. In: *Standort* 47, S. 340-346.

Fekete, Alexander (2019): Critical Infrastructure and flood resilience: Cascading effects beyond water. In: *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* 6 (5), S. 1-13.

Fekete, Alexander (2024): Risiko, Katastrophen und Resilienz. Eine Einführung in Methoden, Konzepte und Theorien. Berlin, Heidelberg: Springer.

Ferdowsi, Ahmad / Piadeh, Farzad / Behzadian, Kouros / Mousavi, Sayed-Farhad / Ehteram, Mohammad (2024): Urban water infrastructure: A critical review on climate change impacts and adaptation strategies. In: *Urban Climate* 58, S. 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102132>

Folkers, Andreas (2018): Das Sicherheitsdispositiv der Resilienz. Katastrophische Risiken und die Biopolitik vitaler Systeme. Frankfurt am Main: Campus.

Geoportal Hessen (2023a): Überschneidungsgebiete HQ10 nach HWG. Online: https://www.geoportal.hessen.de/mapbender/php/mod_iso19139ToHtml.php?url=https%3A%2F%2Fwww.geoportal.hessen.de%2Fmapbender%2Fphp%2Fmod_dataISOMetadata.php%3FoutputFormat%3Diso19139%26id%3D89449f2e-f1f6-5408-4487-2f4b6f9fb455 (zuletzt geprüft am 11.05.2023).

Geoportal Hessen (2023b): Überschwemmungsgebiete HQ100 nach HWG. Online: https://www.geoportal.hessen.de/mapbender/php/mod_iso19139ToHtml.php?url=https%3A%2F%2Fwww.geoportal.hessen.de%2Fmapbender%2Fphp%2Fmod_dataISOMetadata.php%3FoutputFormat%3Diso19139%26id%3Dad1fd09-b9d5-651c-34cd-20a551f233fe (zuletzt geprüft am 11.05.2023).

Gros, Jan Moritz (2026): Eine Analyse des Umgangs räumlicher Planung mit kritischen Infrastrukturen im Klimawandel in Hessen. Status Quo der Berücksichtigung von KRITIS und Anwendung einer doppelten Schutzperspektive auf das Fallbeispiel Rechenzentrum. (Dissertation, z.Zt. unveröffentlicht).

Groth, Markus / Rose, Julia (2018): Infrastrukturen (Energie- und Wasserversorgung). In: Von Storch, Hans / Meinke, Insa / Claußen, Martin (Hrsg.): *Hamburger Klimabericht. Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland*. Berlin: Springer, S. 193 - 208.

Hanau (2021a): Bebauungsplan Nr. 915.3 „Gewerbegebiet Großbauheim-Kaserne“ in Hanau. Auswirkungen auf das Lokalklima (zuletzt geprüft am 01.10.2025).

- Hanau (2021b): Anlage N zum städtebaulichen Vertrag Bebauungsplan Großauheim-Kaserne (zuletzt geprüft am 01.10.2025).
- Helfferrich, Cornelia (2009): Die Qualität qualitativer Daten. Manual für die Durchführung qualitativer Interviews. 3. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Hessische Landesregierung (2020): Bereiche Kritischer Infrastrukturen. Online: https://hessen.de/sites/hessen.hessen.de/files/2021-11/kritis-uebersicht_sektoren-branchen-kdl-prozesse_he.pdf (zuletzt geprüft am 22.04.2025).
- HLNUG (2026a): Starkregenviewer Hessen. Online: <https://umweltdaten.hessen.de/mapapps/resources/apps/starkregenviewer/index.html?lang=de> (zuletzt geprüft am 11.02.2026).
- HLNUG (2026b): Hitzeviewer Hessen. Online: <https://umweltdaten.hessen.de/mapapps/resources/apps/hitzeviewer/index.html?lang=de> (zuletzt geprüft am 11.02.2026).
- Holling, Crawford Stanley (1973): Resilience and Stability of Ecological Systems. In: Annual Review of Ecology and Systematics 4 (1), S. 1-23.
- iMA (2022): Erstellung einer landesweiten Klimaanalyse / Kaltluftströmsituation unter Berücksichtigung des klimawandelbedingten Temperaturanstiegs. Online: https://landesplanung.hessen.de/sites/landesplanung.hessen.de/files/2024-10/landeswklimaanalysehessen_abschlussbericht_20240918.pdf (zuletzt geprüft am 16.01.2026).
- iWconsult / Detecon (2025): Rechenzentren in Frankfurt am Main und der Region: Standort- und regionalökonomische Wirkungszusammenhänge. Online: https://www.iwconsult.de/fileadmin/user_upload/pdfs/2025/studie_rechenzentren_final_15122025.pdf (zuletzt geprüft am 17.12.2025).
- Krings, Susanne (2020): Doppelt relevant: Kritische Infrastrukturen der Daseinsvorsorge. In: Raumforschung und Raumordnung 78 (6), S. 575 – 593.
- Kuckartz, Udo / Rädiker, Stefan (2024): Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Umsetzung mit Software und künstlicher Intelligenz. 6. Auflage. Weinheim/Basel: Beltz Juventa.
- Kumar, Nikhil / Poonia, Vikas / Gupta, B.B. / Goyal, Manish Kumar (2021): A novel framework for risk assessment and resilience of critical infrastructure towards climate change. In: Technological Forecasting & Social Change 165, S. 1 - 12.
- Köckler, Heike / Agatz, Kerstin / Simon, Daniel / Flacke, Johannes (2020): *Gesundheitsfördernde Stadtentwicklung. Das SUHEI-Modell nutzt hierfür Indikatoren*. Online: https://urbanhealth-digispace.de/wp-content/uploads/2021/11/09_Literatur_Gesundheitsfoerdernde-Stadtentwicklung_SUHEI-Koeckler.pdf (zuletzt geprüft am 27.06.2023).
- Koks, Elco / van Ginkel, Kees / van Marle, Margreet / Lemnitzer, Anne (2022): Brief communication: Critical infrastructure impacts of the 2021 mid-July western European flood event. In: Natural Hazards and Earth System Sciences 22, S. 3831–3838. <https://doi.org/10.5194/nhess-22-3831-2022>
- Kotzanikolaou, Panayiotis / Theoharidou, Marianthi / Gritzalis, Dimitris (2013): Cascading Effects of Common-Cause Failures in Critical Infrastructures. In: 7th International Conference on Critical Infrastructure Protection (ICCIP), Mar 2013, Washington, DC, United States. S.171-182.

- Laugé, Ana / Hernantes, Josune / Sarriegi, Jose (2015): Critical infrastructure dependencies: A holistic, dynamic and quantitative approach. In: *International Journal of Critical Infrastructure Protection* 8, S. 16 - 23.
- Lauwe, Peter / Riegel, Christoph (2008): Schutz Kritischer Infrastrukturen – Konzepte zur Versorgungssicherheit. In: *Informationen zur Raumentwicklung* Heft 1/2 , S. 113 - 125.
- Li, Jibin / Li, Xuan / Liu, Huan / Gao, Li / Wang, Weitong / Wang, Zhenyao / Zhou, Ting / Wang, Qilin (2023): Climate change impacts on wastewater infrastructure: A systematic review and typological adaptation strategy. In: *Water Research* 242, S. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120282>
- Malakar, Krishna / Mishra, Trupti (2016): Assessing socio-economic vulnerability to climate change: a city-level index-based approach. In: *Climate and Development* 9 (4), S. 348 - 363.
- Monstadt, Jochen / Schmidt, Martin (2019): Urban resilience in the making? The governance of critical infrastructures in German cities. In: *Urban Studies* 56 (11), S. 2353-2371.
- Nissen, Katrin / Ulbrich, Uwe: Increasing frequencies and changing characteristics of heavy precipitation events threatening infrastructure in Europe under climate change. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 17 (7), S. 1177 - 1190.
- Pamidimukkala, Apurva / Kermanshachi, Sharareh / Adepu, Nikhitha / Safapour, Elnaz (2021): Resilience in Water Infrastructures: A Review of Challenges and Adoption Strategies. In: *Sustainability* 13, S. 1-15. <https://doi.org/10.3390/su132312986>
- Rai, Masna / Breitner, Susanne / Wolf, Kathrin / Peters, Annette et al. (2019): Impact of climate and population change on temperature-related mortality burden in Bavaria, Germany. In: *Environmental Research Letters* 14 (12), S. 1-13.
- Regierungspräsidium Gießen (2021): Regionalplan Mittelhessen. Entwurf zur Beteiligung gemäß § 6 Abs. 2 und 3 HLPG i. V. m. § 9 ROG. Online: https://rp-giessen.hessen.de/sites/rp-giessen.hessen.de/files/2022-05/x2021_09_15_rpm-textentwurf.pdf (zuletzt geprüft am 22.04.2025).
- Regierungspräsidium Kassel (2023): Planfeststellungsbeschluss für die Errichtung und den Betrieb der Verdichterstation Reckrod 2 sowie Errichtung und Betrieb der Anschlussleitungen AL MIDAL Mitte 2, AL MIDAL Süd, AL MIDAL-Süd Loop und AL STEGAL West von der Verdichterstation an die bestehenden Ferngasleitungen MIDAL-Süd, MIDAL-Süd Loop, STEGAL und MIDAL Mitte im Regierungsbezirk Kassel, Marktgemeinde Eiterfeld, Gemarkungen Reckrod und Wölf der GASCADE Gastransport GmbH, Kassel. Online: https://rp-kassel.hessen.de/sites/rp-kassel.hessen.de/files/2023-03/planfeststellungsbeschluss_vs-reckrod-2_24-02-2023_0.pdf (zuletzt geprüft am 26.02.2026).
- Regierungspräsidium Kassel (2024): Regionalplan Nordosthessen. Entwurf für die 1. Offenlage (Stand September 2024). Online: <https://beteiligungsportal.hessen.de/portal/rpks/beteiligung/themen/1003280/1008602> (zuletzt geprüft am 18.07.2025).
- Rice, Jennifer / Long, Joshua / Levenda, Anthony (2021): Against climate apartheid: Confronting the persistent legacies of expendability for climate justice. In: *EPE: Nature and Space* 5 (2), S. 1-21.
- Rinaldi, Steven / Peerenboom, James / Kelly, Terrence (2002): Identifying, Understanding, and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies. In: *IEEE Control Systems Magazine* 21 (6), S. 11 - 25.

Sandholz, Simone / Sett, Dominic / Greco, Angelica / Wannewitz, Mia / Garschagen, Matthias (2021): Rethinking urban heat stress: Assessing risk and adaptation options across socioeconomic groups in Bonn, Germany. In: *Urban Climate* 37, S. 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100857>

Schmitt, Hanna (2020): Was heißt hier eigentlich ‚kritisch‘? Entwicklung einer Evidenzgrundlage zum Umgang mit kritischen Infrastrukturen in der Raumordnung. Dissertation. Dortmund: TU Dortmund.

Schmidt, Martin / Monstadt, Joachim (2018): Infrastruktur. In: ARL (Hrsg.): *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung*. Hannover: ARL, S. 975 - 988.

Sera, Francesco / Armstrong, Ben / Tobias, Aurelio / Vicedo-Cabrera, Ana Maria et al. (2019): How urban characteristics affect vulnerability to heat and cold: a multi-country analysis. In: *International Journal of Epidemiology* 48 (4), S. 1101 - 1112.

Stadt Frankfurt (2016): Klimaplanatlas 2016 für Frankfurt. Online: <https://frankfurt.de/themen/klima-und-energie/stadtklima/klimaplanatlas> (zuletzt geprüft am 01.10.2024).

Stadt Frankfurt (2023): Starkregengefahrenkarte. Online: [https://geoportal.frankfurt.de/karte/?Map/layerIds=5,1579,1573,1574,1575,1576,1577,1578&visibility=true,true,false,false,true,true,false,false&transparency=30,0,10,0,10,0,10,0&Map/center=\[477363,5551103\]&Map/zoomLevel=7](https://geoportal.frankfurt.de/karte/?Map/layerIds=5,1579,1573,1574,1575,1576,1577,1578&visibility=true,true,false,false,true,true,false,false&transparency=30,0,10,0,10,0,10,0&Map/center=[477363,5551103]&Map/zoomLevel=7) (zuletzt geprüft am 01.10.2024).

Steinführer, A.; Kuhlicke, C. (2007): Social vulnerability and the 2002 flood. Country Report Germany (Mulde River), Floodsite Report Number T11-07-08, UFZ Centre for Environmental Research, Leipzig.

UN General Assembly (2016): *Report of the Open-ended Intergovernmental Expert Working Group on Indicators and Terminology relating to Disaster Risk Reduction*. Online: <https://digitallibrary.un.org/record/852089?ln=en> (zuletzt geprüft am 27.06.2023).

UNDRR (2017): Disaster Risk Reduction Terminology. Critical Infrastructure. Online: <https://www.undrr.org/terminology/critical-infrastructure> (zuletzt geprüft am 20.06.2024).

Valente, Martina / del Prete, Clara / Facci, Guilia / Musso, Francesco / Cenati, Stefano / Calligaro, Sara / Ragazzoni, Luca / Barone-Adesi, Francesco (2026): The impacts of extreme weather events on health services and systems: A systematic review of reviews. In: *Public Health* 250, S. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2025.106049>

WHO (2023): Climate Change. Online: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health> (zuletzt geprüft am 10.02.2026).

Rechtsquellen:

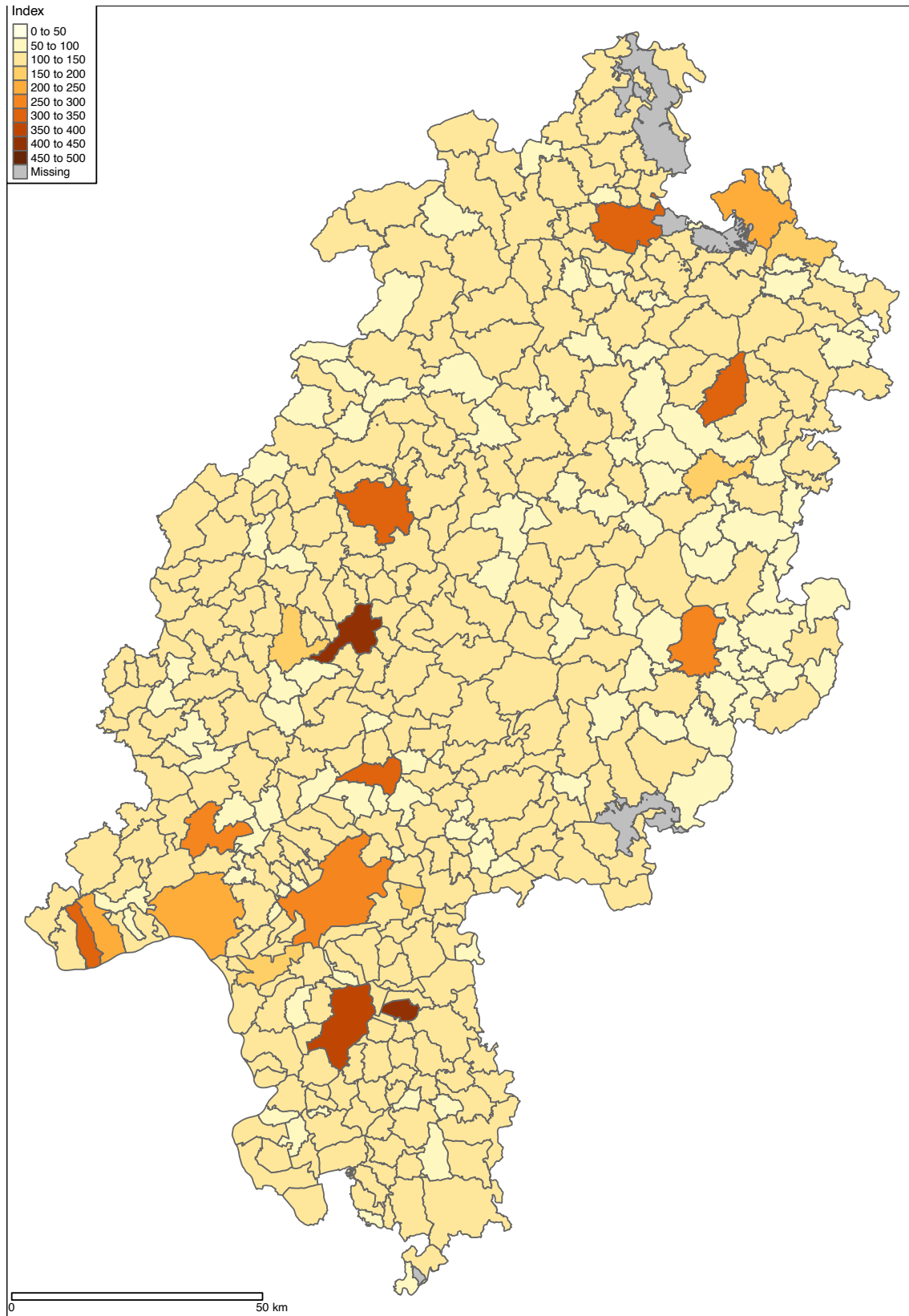
BSI-Kritisverordnung (BSI-KritisV) vom 22. April 2016 (BGBl. I S. 958), die zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 18. Dezember 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 347) geändert worden ist.

Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. März 2021 (BGBl. I S. 540), das zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 22. Dezember 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 348) geändert worden ist.

Raumordnungsgesetz (ROG) vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 12. August 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 189) geändert worden ist.

Anhang

Sozio-Ökonomischer Vulnerabilitätsindex auf Gemeindeebene



Anhang 1: Sozio-Ökonomischer Vulnerabilitätsindex auf Gemeindeebene (Quelle: Eigene Darstellung)

Danksagung

Wir bedanken uns beim hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie für die Förderung, sowie insbesondere bei Frau Dr. Anna-Christine Sander für die Betreuung und Begleitung unseres Projekts. Weitergehend gilt unser Dank Herrn Dr. Aljoscha Kreß für die fachlichen und inhaltlichen Impulse, sowie Frau Dr. Christine Kolbe für die Unterstützung in der ersten Projektphase und Herrn Torsten Bremmer für die Unterstützung in der Fallstudiendurchführung.