

GWS Discussion Paper 2025/3

Identifizierung von Wetterclustern als Unterstützung für Klimaanpassungsprozesse ländlicher Räume

Clara Hirsch
Jannik Daßler

Impressum

Autor:innen

Clara Hirsch

E-Mail: hirsch@gws-os.com

Jannik Daßler

Tel.: +49 (0) 541 40933-281, E-Mail: dassler@gws-os.com

Titel

Identifizierung von Wetterclustern als Unterstützung für Klimaanpassungsprozesse ländlicher Räume

Veröffentlichungsdatum

© GWS mbH Osnabrück, September 2025

Lektorat

Inka Peters

Haftungsausschluss

Die in diesem Papier vertretenen Auffassungen liegen ausschließlich in der Verantwortung des Verfassers / der Verfasser und spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung der GWS mbH wider.

Herausgeber der GWS Discussion Paper Series

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH

Heinrichstr. 30

49080 Osnabrück

ISSN 1867-7290

Das Discussion Paper im Überblick

1	Einleitung	1
2	Theoretischer Hintergrund	2
2.1	Klimarisiken und Anpassung (in Deutschland)	2
2.2	Ländliche Räume	3
3	Clusteranalyse	5
3.1	Die Daten	5
3.2	Hierarchische Clusteranalyse nach Ward	6
4	Entstandene Wettercluster	7
4.1	Gesamtbild der Wettercluster	7
4.2	Wettercluster ländlicher Kreise	9
5	Diskussion	11
5.1	Klimaanpassungskapazität ländlicher Kreise	11
5.2	Kritische Reflexion der Ergebnisse	14
6	Fazit	15
7	Anhang	16
	Literaturverzeichnis	19

1 Einleitung

Mit der Beschleunigung des Klimawandels wächst die Notwendigkeit, das Wissen über die gegenwärtigen und zukünftigen Veränderungen der lokalen Klimabedingungen und deren Auswirkungen zu verbessern. Wichtig ist es, Klimarisiken zu bewerten, die relevantesten Risikotreiber und betroffenen Sektoren zu verstehen sowie die am besten geeigneten Klimaanpassungsoptionen zu entwickeln (Crespi et al. 2023: 2). Die Klimarisiken werden nicht nur durch die Zunahme von klimatischen Gefahren verschärft, sondern auch dadurch, inwieweit sich Gesellschaften auf sie vorbereiten (Europäische Umweltagentur 2024: 6). Um zukunftsfähige und klimaresiliente Gesellschaften zu gestalten, müssen auch auf lokaler Ebene entsprechende Entscheidungen getroffen, Konzepte entwickelt und Maßnahmen für die Anpassung an Klimarisiken umgesetzt werden. Dies betrifft auch ländliche Kommunen, die vielfältige Möglichkeiten und Potenziale haben, aktiv zu werden (Peters 2018: 5). Um die Auswirkungen und Risiken in einem bestimmten Gebiet zu bewerten, ist die räumliche Visualisierung aktueller und zukünftiger Klimabedingungen eine Schlüsselkomponente (Crespi et al. 2023: 1).

Vor diesem Hintergrund konzentriert sich diese Arbeit auf die Identifizierung von Klimarisiken in ländlichen Räumen Deutschlands und die Visualisierung der Betroffenheit. Ziel ist es, beispielhaft eine Entscheidungshilfe für Anpassungsentscheidungen zu entwickeln. Um die Betroffenheit und Verwundbarkeit der ländlichen Räume zu identifizieren, wird eine Clusteranalyse in der Programmumgebung R-Studio auf Basis von Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes durchgeführt. Die Analyse findet auf der Ebene von Landkreisen und kreisfreien Städten statt. Um ländliche Räume und ihre sozioökonomischen Rahmenbedingungen differenziert betrachten zu können, sind die gewonnenen Wettercluster anschließend mit der Thünen-Typisierung (Küpper 2016) verschnitten, sodass Erkenntnisse über Anpassungskapazitäten gewonnen werden können.

Klimaindikatoren bzw. Wetterdaten wurden bereits auf verschiedenen Ebenen in Clusteranalysen verwendet. Mahlstein und Knutti (2010) identifizierten mithilfe einer Clusteranalyse auf globaler Ebene regionale Muster des Klimawandels – im Status quo des mittleren Klimas und in projizierten Änderungen. Dies soll bei der Auswahl geeigneter Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen helfen. Für den europäischen Raum haben Carvalho et al. (2016) Regionen mit ähnlichen projizierten Klimaänderungen anhand von Temperatur- und Niederschlagsänderungen identifiziert. Ein weiteres Beispiel ist eine Clusteranalyse von Singh et al. (2017), in der auf Basis monatlicher Niederschlagsdaten räumliche und zeitliche Gruppierungen des „Western Maritime Continent“ (WMD) untersucht und mit historischen Niederschlagsgruppierungen verglichen wurden. Auf nationaler Ebene für Deutschland ist hier die Clusteranalyse von Crespi et al. (2023) zu nennen, in der anhand von Mittelwerten verschiedener Klimaindikatoren in einer räumlichen Auflösung von 5×5 km (z. B. mittlere Niederschlagssumme im Winter und Sommer) Klimaraumtypen und Klima-Hotspot-Karten erstellt wurden. Diese Analyse floss schließlich in die *Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021* (Kahlenborn et al. 2021b) ein.

Für die vorliegende Analyse stehen Wetterdaten aus den Jahren 2023 und 2018 zur Verfügung, was im Vergleich zu den eben genannten Clusteranalysen weniger umfassend ist. Da bei Crespi et al. (2023) beispielsweise Daten aus den Jahren 1971–2000 in die Analyse

eingeflossen sind, kann in dieser Arbeit im Ergebnis nicht von Klimaclustern, sondern eher jeweils von Wetterclustern über den Zeitraum eines Jahres (2023 und 2018) gesprochen werden. Die vorliegende Analyse ist also auch ein Versuch herauszufinden, inwiefern bereits kurzfristige Wetteranalysen einen Anknüpfungspunkt für langfristige Klimaherausforderungen und damit eine Grundlage für die Entscheidung für Anpassungsmaßnahmen bieten können. Die Ergebnisse der Clusteranalyse sollen Gemeinsamkeiten in den ländlichen Räumen aufzeigen und Kooperationsmöglichkeiten zwischen Landkreisen mit ähnlichen klimatischen bzw. Wetter-Bedingungen und sozioökonomischen Voraussetzungen ermitteln. Nach einer theoretischen Einordnung von Klimarisiken und Klimaanpassung sowie der Konzeptualisierung ländlicher Räume wird die Methode der Clusteranalyse vorgestellt. In der anschließenden Diskussion werden die Ergebnisse auf ihre Praxisrelevanz geprüft und Ableitungen zur Klimaanpassungskapazität ländlicher Kreise diskutiert.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Klimarisiken und Anpassung (in Deutschland)

Klimarisiko ist definiert als das „Potenzial für nachteilige Folgen für menschengemachte oder natürliche Systeme, unter Berücksichtigung der Vielfalt der Werte und Ziele, die mit solchen Systemen verbunden sind“ (Kahlenborn et al. 2021a: 21). Die potenziellen oder realisierten Folgen der Risiken – sogenannte Klimawirkungen – können alle Lebensbereiche betreffen. Im Zusammenhang mit den Auswirkungen des Klimawandels ergeben sich die Risiken aus „dynamischen Wechselwirkungen zwischen klimatischen Einflüssen und der räumlichen Exposition sowie der Sensitivität und Anpassungskapazität des betroffenen menschengemachten oder natürlichen Systems“ (Kahlenborn et al. 2021a: 13). Unter Anpassungskapazität wird die Fähigkeit von Systemen, Institutionen, Menschen und anderen Lebewesen verstanden, sich auf potenzielle Schäden einzustellen, Vorteile zu nutzen oder auf Auswirkungen zu reagieren (IPCC 2022a: 5). Die gezielte Identifizierung und Bewertung der Anpassungskapazität ist ein wichtiger Ausgangspunkt für Anpassungsentscheidungen und kann Handlungsnotwendigkeiten und -möglichkeiten aufzeigen (Kahlenborn et al. 2024). Zur Bewertung der lokalen Anpassungsfähigkeit gibt es eine Vielzahl von Ansätzen, z. B. die Analyse der sechs Dimensionen der Anpassungskapazitäten aus der Klimarisiko- und Anpassungsanalyse: „Wissen“, Motivation und Akzeptanz“, „Technologie und natürliche Ressourcen“, „Finanzielle Ressourcen“, „Institutionelle Struktur und personelle Ressourcen“ sowie „Rechtliche Rahmenbedingungen und politische Strategien“ (Kahlenborn et al. 2021a: 29).

Für die Identifikation von regions- und sektorübergreifenden Risiken für alle Kontinente hat der Bericht „Climate Change 2022: Impacts, Adaption and Vulnerability“ (IPCC 2022) der Arbeitsgruppe II des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) einen wichtigen Beitrag geleistet. Sind Risiken bekannt, können sich Gesellschaften und Systeme je nach Anpassungskapazität damit auseinandersetzen. Eines der für Europa identifizierten Schlüsselrisiken, d. h. Risiken, die potenziell schwerwiegend werden können oder bereits sind, ist beispielsweise *Key Risk 2 (KR2)*: „Risk of Losses in Crop Production, Due to Compound Heat and Dry Conditions, and Extreme Weather“ (Badnar-Friedl et al. 2022: 1876). Im Fall

von KR2 ist unter anderem die Entwicklung von Versicherungsprodukten gegen wetterbedingte Ernteausfälle als Anpassungsmaßnahme genannt.

Den strategischen Rahmen für die Klimaanpassung auf allen Verwaltungsebenen setzt in Deutschland das im November 2023 verabschiedete Bundes-Klimaanpassungsgesetz (KAnG). Nach §12 Abs. 1 werden auch die Landkreise grundsätzlich von den Ländern zur Erstellung von Klimaanpassungskonzepten verpflichtet. Außerdem ist in §4 die Erstellung einer Klimarisikooanalyse festgeschrieben, die mindestens alle acht Jahre aktualisiert werden muss. Für die letzte Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland wurden über 100 Klimawirkungen betrachtet: Die Auswertung zeigt, dass vor allem die sechs klimatischen Einflüsse durchschnittlicher Temperaturanstieg, Hitze, Trockenheit, Starkregen, durchschnittliche Niederschlagsabnahme und Starkwind einen Großteil der Klimawirkungen beeinflussen (Kahlenborn et al. 2021a: 104). Insgesamt 31 Klimawirkungen mit sehr dringendem Handlungsbedarf in verschiedenen Handlungsfeldern (Wald- und Forstwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz, Wasserhaushalt und -wirtschaft, Bauwesen und Menschliche Gesundheit) wurden identifiziert. Für zwei Szenarien (optimistischer und pessimistischer Fall) wurden die Risiken für einzelne Handlungsfelder bewertet. Die Ergebnisse dieser Analyse sind auch in die Fortschreibung der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) gemäß §3 KAnG eingeflossen. Die DAS stellt in sieben Themenclustern („Infrastruktur“, „Land und Landnutzung“, „Menschliche Gesundheit und Pflege“, „Stadtentwicklung, Raumplanung und Bevölkerungsschutz“, „Wasser“, „Wirtschaft“ und clusterübergreifende Themenbereiche) messbare Ziele der Klimaanpassung sowie entsprechende Indikatoren und Maßnahmen vor (BMUV 2024). Im Cluster „Übergreifende Handlungsfelder“ ist beispielsweise das Ziel formuliert, dass bis 2030 für 80 % der Gemeinden bzw. Landkreise Klimaanpassungskonzepte vorliegen sollen (BMUV 2024: 10).

Global werden sektor- und regionsübergreifende Fortschritte bei der Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen festgestellt, allerdings ist der Fortschritt ungleichmäßig verteilt und von Anpassungslücken gekennzeichnet. So priorisieren viele Initiativen eine unmittelbare und kurzfristige Verringerung der Klimarisiken, was die Möglichkeiten für transformative Anpassung verringern kann. Außerdem besteht eine Lücke zwischen dem aktuellen Anpassungslevel und einem Level, das für die Auswirkungen und Risiken tatsächlich gebraucht werden würde (IPCC 2022a: 20). Es zeigt sich, dass die Anpassung an den Klimawandel eine Querschnittsaufgabe ist: Erfolgreiche Anpassung hängt von vielen verschiedenen Einflussfaktoren ab und erfordert regional unterschiedliche Maßnahmen. Im Gegensatz zu stark bebauten Städten finden sich in ländlichen Regionen meist andere Voraussetzungen für die Anpassung an den Klimawandel.

2.2 Ländliche Räume

„Ländliche Räume in ihrer aktuellen Differenziertheit zu erfassen, ist eine wichtige Grundlage, um dem komplexen Forschungsgegenstand gerecht zu werden“ (Grabski-Kieron und Dünckmann 2024: 22). Längst reicht es für eine intensive Auseinandersetzung mit dem ländlichen Raum nicht mehr aus, dichotom zwischen Stadt und Land zu unterscheiden. Während noch bis in die 1969er Jahre unter dem Begriff „Ländlicher Raum“ ein relativ homogener Raumtyp verstanden werden konnte, der sich vor allem durch die große Bedeutung der Landwirtschaft, eine geringe Bevölkerungsdichte sowie die Dominanz bestimmter

ländlicher Lebensweisen auszeichnete, trifft dieses Bild heute nicht mehr zu (Mose 2018: 1324). Statt von dem einen ländlichen Raum wird zunehmend von ländlichen Räumen im Plural gesprochen und deren Heterogenität betont. Aus dem veränderten Verständnis von ländlichen Räumen ergeben sich unterschiedliche Definitionen. So wird laut Mose (2018) in der Literatur häufig immer noch ein unzureichendes Bild ländlicher Räume gezeichnet, das in der Regel auf generalisierenden Raumbeschreibungen beruht und zahlreiche Stereotype und Klischees, aber auch Idealisierungen ländlicher Räume bzw. von Ländlichkeit (Ruralität) bedient (Mose 2018: 1326). Ein differenzierterer Blick greift dagegen auch die Erkenntnis auf, dass mit Ländlichkeit keineswegs automatisch sozioökonomische Problemlagen einhergehen (Milbert et al. 2012: 52). Dem Verständnis ländlicher Räume in dieser Arbeit liegt die folgende Arbeitsdefinition von Ulrike Grabski-Kieron (2011: 830) zugrunde:

"Ländliche Räume sind Teile des Gesamtraumes, die durch eine in hohem Maße land- und forstwirtschaftlich genutzte oder zumindest geprägte Freiraumstruktur und durch vorherrschend freiraumbezogene Ressourcennutzungen gekennzeichnet sind. Sie weisen heterogene, vielfach vorrangig klein- und mittelständische Wirtschaftsstrukturen auf. In ihnen herrschen – im Vergleich zu städtischen Räumen – geringere Bevölkerungs- und Siedlungsdichten und disperse Siedlungsstrukturen mit vorrangig unter- bis mittelzentralen und azentralen Siedlungen vor. Je nach natürlichen Ausgangsbedingungen und je nach Lage im Netz von Entwicklungsachsen und Orten höherer Zentralität unterliegen die ländlichen Räume unterschiedlichen Entwicklungsdynamiken" (Grabski-Kieron 2011: 830).

Die unterschiedlichen Entwicklungsdynamiken machen eine Typisierung der ländlichen Räume notwendig – dies ist auch in dieser Arbeit für die spätere Verschneidung mit den entwickelten Clustern relevant. Mit der Typisierung ländlicher Räume haben sich bereits verschiedene Institutionen beschäftigt und dabei verschiedene Unterscheidungsmerkmale herangezogen. Zu nennen sind zum Beispiel die siedlungsstrukturellen Kreistypen des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) auf der räumlichen Ebene der Kreisregionen: Ursprünglich Ende der 1970er Jahre aus einer indikatorgestützten Bestandsaufnahme des ländlichen Raumes entsprungen, wurde die Methode der siedlungsstrukturellen Gebietstypen weiterentwickelt und umfasst heute die vier Typen „Kreisfreie Großstädte“, „Städtische Kreise“, „Ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen“ sowie „Dünn besiedelte ländliche Kreise“ (Milbert 2015: 174). Kriterien sind der „Bevölkerungsanteil in Groß- und Mittelstädten“, die „Einwohnerdichte der Kreisregion“ und die „Einwohnerdichte der Kreisregion ohne Berücksichtigung der Groß- und Mittelstädte“. Mit den siedlungsstrukturellen Kreistypen soll das Bild einer Stadt/Land-Dichotomie durch ein Stadt/Land-Kontinuum abgelöst werden (Grabski-Kieron und Küpper 2024: 65). Da diese jedoch kaum Rückschlüsse auf die soziokulturellen und sozioökonomischen Bedingungen in den Regionen zulassen, findet in dieser Arbeit eine andere Typologie Verwendung: Die Thünen-Typologie nutzt zum einen als Dimension einen *Ländlichkeit-Index*, um ländlichen von nicht-ländlichen Räumen abzugrenzen und innerhalb dieser Raumkategorie zwischen eher ländlichen und sehr ländlichen Räumen zu unterscheiden. Zum anderen werden die Räume anhand der Dimension sozioökonomische Lage (gut / weniger gut) weiter differenziert (Küpper 2016: 3). Betrachtet werden 361 Kreisregionen, die sich von den Landkreisen und kreisfreien Städten dadurch unterscheiden, dass die kleinen kreisfreien Städte (<100 000 Einwohner:innen) mit ihrem Umlandkreis zusammengefasst werden. Damit ist

der Regionalisierung der Lebenswelten Rechnung getragen, also der Beobachtung, dass sich das Leben der Menschen nicht mehr auf einen Ort fokussiert, sondern sich in größeren räumlichen Zusammenhängen abspielt (Küpper 2020). Die vier Typen weisen auf reale Unterschiede in den Lebensverhältnissen hin: In sehr ländlichen Kontexten ist es tendenziell aufwendiger und kostenintensiver, technische und soziale Infrastruktur sowie privatwirtschaftliche Dienstleistungen in der Fläche bereitzustellen. Eine gute sozioökonomische Lage bietet jedoch die Möglichkeit, siedlungsstrukturell bedingte Nachteile eher kompensieren zu können (Grabski-Kieron und Küpper 2024: 69). Trotzdem muss berücksichtigt werden, dass die „objektiven“ Verhältnisse, die zur Typisierung herangezogen werden, nicht unbedingt mit den subjektiven Erfahrungen der Bewohner:innen übereinstimmen. Auch die Thünen-Typisierung ist immer noch eine Vereinfachung der wesentlich vielfältigeren Raumstrukturen, bildet aber die Vielfalt besser ab als einfache Stadt/Land-Unterscheidungen. Die geringe Anzahl an Typen hilft dabei, eine Übersichtlichkeit herzustellen. Gleichzeitig suggeriert die Einteilung aber auch eine Eindeutigkeit in der Zuordnung von Regionen, die jedoch nicht unbedingt gegeben ist. Für die Analyse in dieser Hausarbeit stellt die Thünen-Typisierung eine geeignete Ebene dar, um Hinweise auf die Anpassungskapazitäten ländlicher Räume zu erhalten, da die Indikatoren der Typisierung auf Dimensionen der Anpassungskapazitätsbewertung (z.B. finanzielle Ressourcen oder personelle Ressourcen) hindeuten können.

3 Clusteranalyse

3.1 Die Daten

Für die Clusteranalyse der Landkreise und kreisfreien Städte werden Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) aus dem Jahr 2023 sowie aus dem Jahr 2018 verwendet, um einen Vergleich herstellen zu können. So kann festgestellt werden, wie robust die Clustereinteilung ist und welche Veränderungen zu möglichen Clusterwechseln geführt haben. Im Vergleich z. B. zur Clusteranalyse von Crespi et al. (2023) fließen weniger Wetterindikatoren in die Analyse ein. Für die Analyse werden die Daten in die R-Studio Programmierumgebung mithilfe des R-Packages `rdwd` heruntergeladen. Sie liegen als Rasterdaten mit einer räumlichen Auflösung von 1×1 km vor. Zusätzlich wird eine Shapefile-Datei (.shp) in R eingelesen, welche die geometrischen Informationen aller Landkreise und kreisfreien Städte in Deutschland enthält. Um die Wetterparameter für die jeweiligen Kreise zu extrahieren, ist eine Schleife implementiert, die basierend auf den Koordinaten der Kreisflächen die entsprechenden Werte aus der Rasterdatei abrufen. Dies ermöglicht eine räumliche Zuordnung der Wetterdaten zu den jeweiligen administrativen Einheiten. Der entstandene Datensatz enthält die Mittelwerte je Landkreis / kreisfreie Stadt für folgende Indikatoren: *Frosttage*, *heiße Tage*, *mittlere Temperatur Sommer*, *mittlere Temperatur Winter*, *Niederschlagssumme Sommer*, *Niederschlagssumme Winter* und *Tage Starkregen (20 mm)*.

Zu Beginn der Analyse waren die aktuellsten verfügbaren Daten jene des Jahres 2023. Der Abstand von fünf Jahren zu 2018 erscheint sinnvoll, da die Einteilung der Landkreise und kreisfreien Städte seitdem unverändert geblieben ist. Beide Jahre weisen aus klimatologischer Sicht besondere Extreme auf: Friedrich et al. (2024) stellen in ihrem klimatologischen Rückblick auf das Jahr 2023 fest, dass das Jahr 2023 das bis dahin wärmste Jahr seit

Beginn regelmäßiger Messungen war. Insbesondere ein milder Winter und ein warmer Herbst führten zu diesem Rekordwert. Gleichzeitig sind insbesondere die letzten drei Monaten von einer hohen Niederschlagsrate gekennzeichnet. Aufgrund gesättigter Böden kam es gebietsweise zu extremen Hochwassersituationen – besonders im Norden Deutschlands. Im Jahr 2018 belegte Deutschland im globalen Klima-Risiko-Index (Eckstein et al. 2020) den dritten Platz und war damit nach Japan und den Philippinen am stärksten von Extremwetterereignissen betroffen. Grund dafür ist die starke Hitzewelle zwischen April und Juni, an der mehr als 1000 Menschen starben. Gleichzeitig führte die geringe Niederschlagsmenge bei 70 % der Böden zu einer Dürre und damit zu massiven Ernteaussfällen, die insgesamt 3 Mrd. Euro Schaden verursachten (Eckstein et al. 2020: 6). Diese Extreme sind in den Wetterdaten gut erkennbar. Da aber auch die Jahre zwischen 2018 und 2023 von Extremen geprägt sind (z. B. der Temperaturrekord von mehr als 42 °C im Juli 2019 (DWD 2020: 4)) und ähnliche Entwicklungen für zukünftige Jahre zu erwarten sind, erscheinen die Jahre repräsentativ.

3.2 Hierarchische Clusteranalyse nach Ward

Die Clusteranalyse gehört zu den explorativen Datenanalyseverfahren, „da sie im Ergebnis zu Vorschlägen für eine Gruppierung erhobener Untersuchungsobjekte führt und damit „neue Erkenntnisse“ generiert bzw. Strukturen in Datensätzen entdeckt“ (Backhaus et al. 2021: 491). Durchgeführt wird die Clusteranalyse ebenfalls in der Programmierumgebung R bzw. R-Studio. Der vollständige Code ist dem Anhang (Tabelle 1) beigefügt und zunächst für 2023 und anschließend identisch für 2018 durchgeführt: Zunächst werden die Variablen auf ihre Korrelation überprüft, da stark korrelierte Variablen die Clusteranalyse dominieren und die Ergebnisse verzerren können (Backhaus et al. 1996: 313.). Es wird davon ausgegangen, dass Variablen mit einem Korrelationskoeffizient von $r > 0,8$ ausgeschlossen werden sollten (Schmidt 1995: 77). Dies ist bei drei Variablenpaaren der Fall. Für den Ausschluss sind drei Variablen ausgewählt, deren Korrelationswert auch mit den anderen Variablen am höchsten liegt, nämlich *Frosttage*, *mittlere Temperatur Sommer* und *Niederschlagssumme Sommer*. Für die Daten des Jahres 2018 fallen die Korrelationswerte derselben Variablen etwas niedriger aus als für das Jahr 2023, aber immer noch höher als 0,8. Anschließend werden die vier verbleibenden Variablen mit der Funktion `scale()` standardisiert, um eine unterschiedliche Gewichtung der Variablen nach ihrer Skaleneinheit zu vermeiden.

Für die Berechnung der Cluster kommt die Ward-Methode zum Einsatz – eines der hierarchischen agglomerativen Verfahren. Es werden Objekte (Gruppen) vereinigt, die die Varianz in einer Gruppe möglichst wenig erhöhen. Grundlage für das Proximitätsmaß ist die quadrierte Euklidische Distanz. Es werden also zunächst die Objekte mit der kleinsten quadrierten Euklidischen Distanz vereinigt und anschließend die Distanzen dieser Gruppe zu den verbleibenden Objekten bestimmt (Backhaus et al. 2021). Der Fusionierungsprozess entsprechend dem Ward-Verfahren kann in Form eines Dendrogramms dargestellt werden (vgl. Anhang, Abbildung 4). Zur Bestimmung der optimalen Clusteranzahl wurden der Test von Mojena nach Handl und Kuhlenkasper (2017) sowie der sogenannte Ellenbogen-Test durchgeführt und miteinander verglichen. Basierend auf den Tests ist eine Clusteranzahl von 5 gewählt. Für die Daten von 2018 zeigen diese eine Anzahl von 4 bzw. 6 als optimale

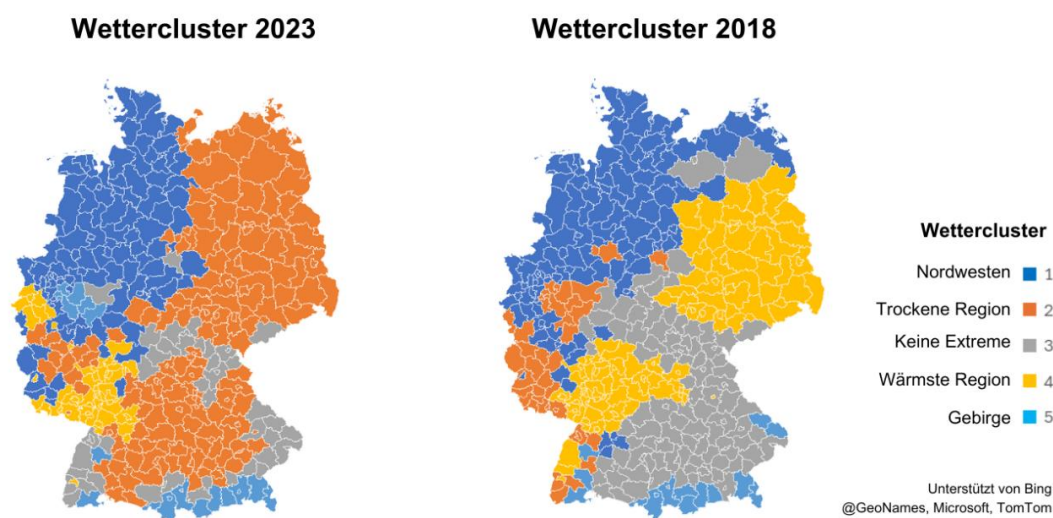
Clusteranzahl an. Aus Gründen der Vergleichbarkeit werden allerdings auch hier 5 Cluster gewählt, was bei der Diskussion der Ergebnisse berücksichtigt werden muss. Für die Cluster sind für beide Jahre die Mittelwerte berechnet (vgl. Anhang, Tabelle 1 und Tabelle 2) und zuletzt eine Member.csv gebildet, die den Objekten (die Landkreise) die Cluster zuordnet. Mithilfe der Flächenkartogramm-Funktion von Excel können die Cluster für beide Jahre jeweils auf einer Karte dargestellt werden. Im letzten Schritt wird das Ergebnis der beiden Jahre jeweils mit der Typisierung der ländlichen Räume des Thünen-Instituts verschnitten. Dazu werden zunächst die Daten der Zuordnung der Kreisregionen zu den Thünen-Typen über den Thünen-Landatlas (Thünen-Institut 2025) heruntergeladen und anschließend die Typen auf die Ebene der Landkreise und kreisfreien Städte übertragen und zusammen mit den Wetterclustern für beide Jahre dargestellt.

4 Entstandene Wettercluster

4.1 Gesamtbild der Wettercluster

Deutschland befindet sich in der gemäßigten Klimazone Mitteleuropas und ist nach der Köppen-Geiger-Klimaklassifikation im nordwestlichen Teil als *Cfb* (*gemäßigtes Ozean-klima*), also gemäßigt mit keiner Trockenzeit und warmem Sommer, klassifiziert und im Südosten als *Dfb* (*sommerwarmes, feuchtes Kontinentalklima*), d. h. kalt mit keiner Trockenzeit und warmem Sommer (Beck et al. 2018). Aufgrund der geografischen und topografischen Gegebenheiten ist das regionale Klima jedoch sehr unterschiedlich, was sich besonders in einem Nord/Süd-Unterschied zeigt. Diese klimatischen Konditionen lassen sich auch anhand der entstandenen Karten der Wettercluster für 2023 und 2018 erkennen (Abbildung 1). Als Ergebnis der Analyse entstehen überwiegend regional zusammenhängende Cluster. Insbesondere die topografischen Ebenen scheinen sich in den Clustern widerzuspiegeln.

Abbildung 1: Wettercluster für Deutschland im Jahr 2023 und 2018



Quelle: eigene Darstellung anhand von Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD)

Es ist wichtig zu beachten, dass die Cluster trotz gleicher Farbgebung und Nummerierung in den Jahren 2023 und 2018 nicht gleich sind. Nach der ersten Berechnung für 2023 wurde die Clusteranalyse mit den Daten von 2018 komplett neu durchgeführt, sodass nur die Objekte, die ausgewählten Indikatoren und die Clusteranzahl gleich sind. Dementsprechend sind die Cluster im Vergleich der Jahre durch unterschiedliche Mittelwerte gekennzeichnet (vgl. Anhang, Tabelle 1 und Tabelle 2). In der Übersicht der Mittelwerte sind jeweils die niedrigsten und höchsten Werte pro Variable markiert. Der Vergleich zeigt, dass die Höchstwerte der Variablen in beiden Jahren den gleichen Clustern (4 und 5) zugeordnet sind. Bei den niedrigsten Werten unterscheiden sich die Jahre 2023 und 2018. Cluster 3 weist in beiden Jahren bei keiner Variable einen der höchsten oder niedrigsten Werte auf.

Im Folgenden sind die Cluster nacheinander für 2023 beschrieben und anschließend mit 2018 verglichen. Der Vergleich der beiden Jahre macht es schwer, eindeutige Bezeichnungen für die Cluster zu wählen – die Namen dienen vor allem der Übersichtlichkeit. Zur Beschreibung der Cluster werden die sieben Klimaraumtypen der Clusteranalyse von Crespi et al. (2023) als Hilfestellung herangezogen.

- ▶ **Cluster 1, „Nordwesten“:** Das Cluster 1 erstreckt sich im Jahr 2023 von der Nordsee her über die nordwestdeutsche Tiefebene bis hin zum Pfälzer Wald im Westen. Auffällig ist die klare Grenze zwischen Ost- und Westdeutschland. Cluster 1 weist im Vergleich der zu den anderen Clustern am wenigsten heiße Tage auf (7,8) und liegt bei den Wetterindikatoren „Mittlere Temperatur Winter“ und „Niederschlagssumme Winter“ etwas über dem Mittelwert aus allen Clustern, bei den Starkregen-Tagen etwas unter dem Mittelwert. Das Cluster ist in der Nähe von Nord- und Ostsee durch den maritimen Einfluss geprägt.
- ▶ **Cluster 2, „Trockene Region“:** Das Cluster nimmt 2023 den größten Teil der Landkreise und kreisfreien Städte ein. Es erstreckt sich über Ostdeutschland, große Teile Baden-Württembergs und Bayern sowie Rheinland-Pfalz. Das Cluster ist durch die wenigsten Starkregentage unter den Clustern gekennzeichnet, mit 4,65 Tagen. Bei „Niederschlagssumme Winter“ und „Mittlere Temperatur Winter“ liegt es knapp unter dem Mittelwert aus allen Clustern.
- ▶ **Cluster 3 „Keine Extreme“:** Das Cluster 3 verteilt sich auf Bereiche um die Grenze zwischen Bayern und Thüringen, den Osten Bayerns sowie im Süden Bayerns vor dem Cluster 5. Außerdem nimmt das Cluster im Süd-Westen Baden-Württembergs einen großen Teil ein. Landkreise des Clusters 3, die nicht in einem Cluster-3-Verbund sind, sind der Hochsauerlandkreis (welcher aber direkt an das Cluster 5 angrenzt), der Landkreis Goslar und der Erzgebirgskreis. Die Gesamt-Mittelwerte aller Cluster decken sich bei allen Variablen ziemlich genau mit denen bei Cluster 3 – nur die Temperatur im Winter liegt etwas höher als jene des Clusters.
- ▶ **Cluster 4, „Wärmste Region“:** Cluster 4 befindet sich im Westen Deutschlands entlang des Niederrheins in Nordrhein-Westphalen sowie über große Teile von Rheinlandpfalz und dem Saarland bis in den Norden Baden-Württembergs. Das Cluster 4 zeichnet sich durch die wärmsten Temperaturen aus. Besonders extrem ist der Unterschied bei der Anzahl der heißen Tage: Mit 19,27 heißen Tagen weist Cluster 4 mehr als 5 heiße Tage mehr auf als der Gesamt-Mittelwert der Cluster. Mit einigem Abstand folgt Cluster 2 mit 13,9 heißen Tagen.

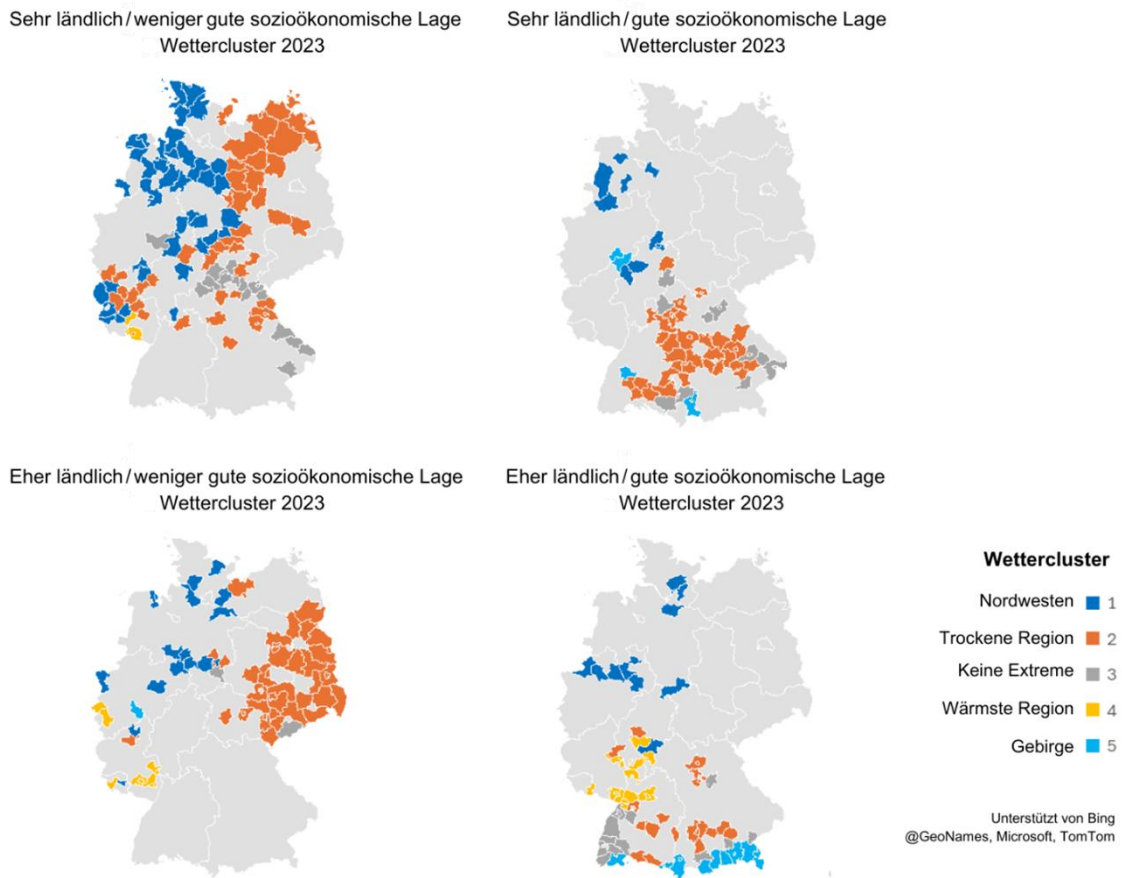
- ▶ **Cluster 5 „Gebirge“:** Den größten zusammenhängenden Teil des Cluster 5 macht die alpine Gebirgsregion in Bayern aus. Dazu kommen zwei Landkreise im Schwarzwald und außerdem eine größere zusammenhängende Region aus dem Sauerland und dem Rheinischen Schiefergebirge. Diese Regionen machen das kälteste und mit großem Abstand feuchteste Cluster aus.

Der Vergleich dieses Ergebnisses mit dem von 2018 zeigt verschiedene Aspekte auf: Die Cluster 1 und 5 sind weitgehend konstant geblieben. Eine Ausnahme bildet die Region aus Sauerland / Rheinischem Schiefergebirge, die 2018 dem Cluster 2 zugeordnet ist. Cluster 1 erstreckt sich 2018 zusätzlich über den Ostseeküstenraum in Mecklenburg-Vorpommern – zudem sind die Kreise um Tübingen/Stuttgart dem Cluster 1 zugeordnet. Cluster 3 nimmt 2018 deutlich mehr Raum ein und erstreckt sich weitläufig in den Mittelgebirgsraum sowie in große Teile Baden-Württembergs und Bayerns. Mit Ludwigslust-Parchim und der Mecklenburgischen-Seenplatte sind Cluster 3 auch zwei Landkreise aus Mecklenburg-Vorpommern zugeordnet. Cluster 4 ist im Jahr 2018 genau wie im Jahr 2023 das wärmste Cluster, es umfasst allerdings vor allem große Teile Ostdeutschlands, die 2023 dem Cluster 2 zugeordnet sind. Da sich Cluster 2 und 4 hinsichtlich der Mittelwerte (hohe Temperaturen und wenig Niederschlag) und im Vergleich zu den Klimaraumtypen von Crespi et al. (2023) ähneln, ist diese Änderung plausibel.

4.2 Wettercluster ländlicher Kreise

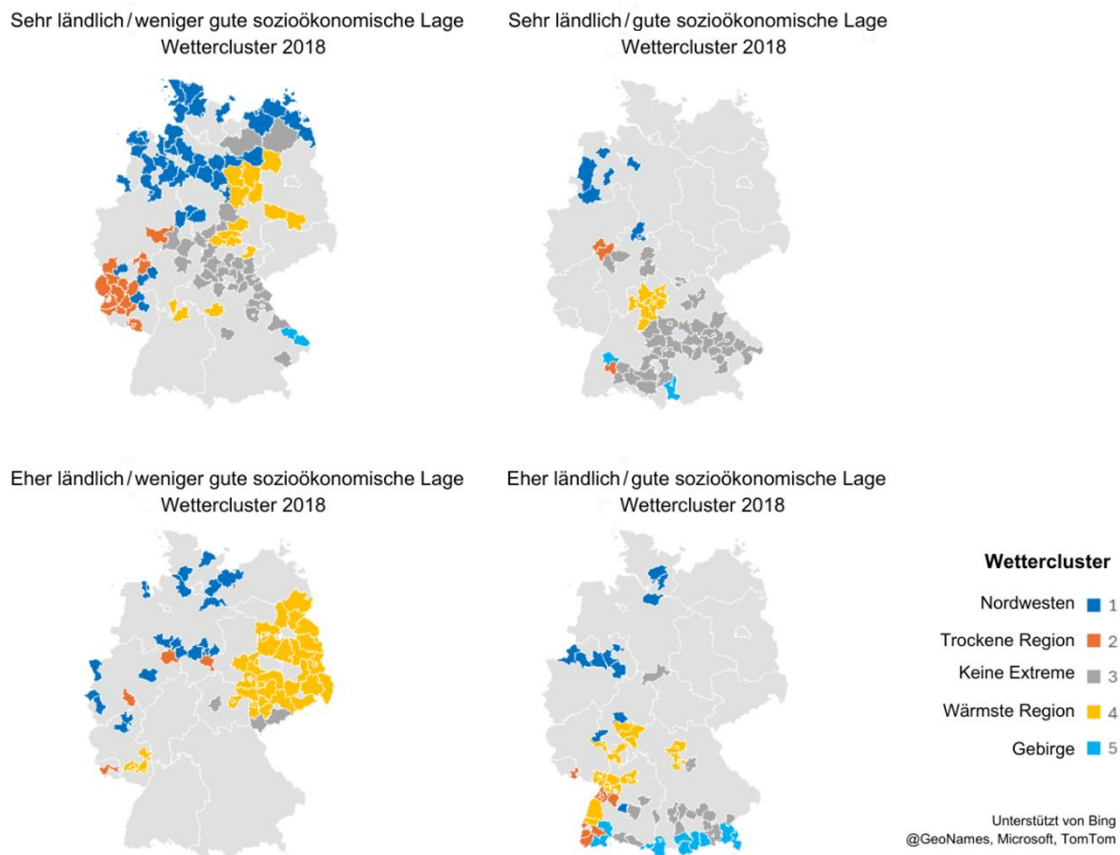
Bei der Verschneidung der Wettercluster mit den Typen ländlicher Räume des Thünen-Instituts sind für jedes Jahr vier Karten entstanden (Abbildung 2 und Abbildung 3). Die unterschiedlichen Typen ländlicher Kreise verteilen sich über ganz Deutschland – insofern finden sich in so gut wie jedem Typ Landkreise aller Wettercluster wieder. Ausnahmen davon sind der Typ „Sehr ländlich / gute sozioökonomische Lage“ im Jahr 2023 (kein Cluster 4) und der Typ „Eher ländlich / weniger gute sozioökonomische Lage“ im Jahr 2018 (ohne Cluster 5). Spannend sind vor allem die Bundesländer, in denen Landkreise des gleichen Ländlichkeit-Typs von unterschiedlichen Wetterclustern charakterisiert sind. Dies ist in Baden-Württemberg der Fall, z. B. bei „Eher ländlich / gute sozioökonomische Lage“ mit allen fünf Clustern. Interessant ist auch der Unterschied der Clusteranzahl eines Ländlichkeit-Typs in einer Region in den Jahren von einem zu drei Clustern, wie es beispielsweise in Mecklenburg-Vorpommern (sehr ländlich / weniger gute sozioökonomische Lage) der Fall ist.

Abbildung 2: Wettercluster für die ländlichen Räume nach der Thünen-Typisierung für Deutschland im Jahr 2023



Quelle: eigene Darstellung anhand von Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2025) sowie Daten des Thünen-Landatlas (Thünen-Institut 2025)

Abbildung 3: Wettercluster für die ländlichen Räume nach der Thünen-Typisierung für Deutschland im Jahr 2018



Quelle: eigene Darstellung anhand von Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes sowie Daten des Thünen-Landatlas (Thünen-Institut 2025)

5 Diskussion

5.1 Klimaanpassungskapazität ländlicher Kreise

Allein auf Basis der entstandenen deutschlandweiten Wettercluster für 2023 und 2018 lassen sich keine Unterschiede zwischen Stadt und Land erkennen. Allerdings unterscheiden sich die Betroffenheit durch das Wetter im Jahresdurchschnitt und die langfristige Betroffenheit durch das Klima bei den ländlichen Regionen und Städten. Die Wettercluster weisen auf regionale Klimawirkungen hin, bei denen die Klimawirkungs- und Risikoanalyse sehr dringende Handlungserfordernisse sieht, also dass dort bei einem starken Klimawandel hohe Klimarisiken drohen, während die Anpassung der bedrohten Systeme viel Zeit braucht (Kahlenborn et al. 2021a). In den Clustern 2 und 4 sind durch den geringen Niederschlag besonders die Folgen für alle wassernutzenden und wasserabhängigen Systeme zu nennen. In den ländlichen Regionen im Osten und in der westlichen Mitte Deutschlands begünstigt diese Trockenheit z. B. den Wassermangel im Boden. Es kommt in der Landwirtschaft zu Ertragsausfällen und wirtschaftlichen Verlusten. Durch den geringen Niederschlag resultiert ein Mangel an Bewässerungswasser in der Landwirtschaft, der auch die

Wasserkonkurrenz zwischen der Landwirtschaft und der privaten Nutzung verstärkt. Neben der Landwirtschaft ist auch das Handlungsfeld Wald- und Forstwirtschaft stark von Hitze- und Trockenstress betroffen. Auf die menschliche Gesundheit haben die vielen heißen Tage und allgemein die höhere Temperatur der zwei Cluster in den ländlichen Regionen aufgrund der hohen Freiflächenanteile und einer geringen Versiegelung weniger Auswirkungen als in Städten. Cluster 5 zeichnet sich besonders durch hohe Starkregentage aus, aber auch andere enge Talregionen (z.B. Mittelgebirgstäler, vorrangig Regionen in Cluster 3) sind von den Folgen von Starkregen, Sturzfluten und Hochwasser für Infrastrukturen und Gebäude betroffen. Die Folgen des graduellen Temperaturanstiegs (wie der Anstieg des Meeresspiegels) sind für natürliche und naturnutzende Systeme besonders an Küsten (Cluster 1), aber auch an Gewässern im ländlichen Raum (alle Cluster) und im Gebirge spürbar (Cluster 5) (Kahlenborn et al 2021a: 117).

Obwohl die Regionen zwischen 2018 und 2023 regional überwiegend im gleichen Cluster oder zumindest in einem ähnlichen Cluster (Cluster 2 und 4) geblieben sind, gibt es auch hier interessante Ausnahmen. So ist beispielsweise in Nordrhein-Westfalen die Region Sauerland / Rheinisches Schiefergebirge mit den Kreisen Siegen-Wittgenstein und Olpe (sehr ländlich / gute sozioökonomische Lage) sowie dem Oberbergischen Kreis (eher ländlich / weniger gute sozioökonomische Lage) im Jahr 2018 dem Cluster 2 mit dem wenigsten Niederschlag im Winter und verhältnismäßig wenig Starkregentagen zugeordnet. Im Jahr 2023 gehört sie wiederum dem Cluster 5 an, das bei „Niederschlagssumme Winter“ und „Tage Starkregen“ jeweils den höchsten Wert aufweist. Der Fokus auf das Jahreswetter bei der Clusterbildung und der Vergleich zwischen den Jahren zeigt, dass die ländlichen Regionen nicht nur von einer Klimawirkung betroffen sind, sondern sich bei der Anpassung flexibel auf unterschiedlich Entwicklungen und Extreme vorbereiten müssen.

Die Themen und Handlungsfelder von Klimaanpassungsmaßnahmen sind dabei so vielfältig wie die ländlichen Räume selbst: Von Bedeutung sind beispielsweise Maßnahmen in den Bereichen Land- und Forstwirtschaft, Fischerei und Aquakultur, biologische Vielfalt und räumliche Planung / Infrastruktur (BMEL 2020: 87). Besondere Herausforderungen für die Klimaanpassung in ländlichen Räumen können die Konkurrenz zu anderen Sektoren wie der Landwirtschaft sein, bspw. bei Moor-Wiedervernässungsprojekten oder im Spannungsfeld Wasser- und Flächenverbrauch. Bei der Anpassung sind die Landkreise Schlüsselakteure. Sie haben – anders als kreisfreie und kreisangehörige Städte und Gemeinden – mit Blick auf das Aufgabenspektrum, die Zuständigkeiten und die eigene Rolle im Verwaltungsapparat eine Doppelrolle zu erfüllen: Sie sind Gebietskörperschaften und Gemeindeverbände zugleich, da in ihrer Hand nicht nur öffentliche Aufgaben von überörtlicher Bedeutung liegen, sondern auch die Unterstützung der Gemeinden und der angemessene Ausgleich der Gemeindelasten (Völker et al. 2024: 6). Dadurch erfüllen die Landkreise auch bei der Klimaanpassung Rollen als Dienstleister, Koordinator, Vermittler, Umsetzer und nehmen eine Vorbildfunktion ein. Daraus ergeben sich Aufgaben wie die Erstellung von Klimaanpassungskonzepten, Starkregengefahrenkarten oder Hitzeaktionspläne oder die Beratung der einzelnen Gemeinden hinsichtlich Förderprogrammen. Mit Blick auf die Dimensionen der Anpassungskapazitätsbewertung (Kahlenborn et al. 2021) kann festgestellt werden, dass die Landkreise und Kommunen bei der Entwicklung und Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen vor Herausforderungen stehen. Diese betreffen ländliche wie städtische Landkreise, vor allem aber Kreise mit einer weniger guten sozioökonomischen

Lage: Finanzschwache Kommunen können neben ihren Pflichtaufgaben kaum investive Aufgaben erledigen und damit auch keine Ausgaben in Klimaschutz und Klimaanpassung tätigen (Kahlenborn et al. 2024: 354). Dies betrifft auch personelle Ressourcen. Hier zeichnet sich ein Ost/West-Unterschied ab: Zwischen 1998 und 2014 wurden die personellen Ressourcen (gemessen in Vollzeitäquivalenten) bundesweit um 12,6 % abgebaut – im Osten deutlich stärker als im Westen. Gleichzeitig nahm die Aufgabenlast der Kommunen zu, sodass im Ergebnis die um die Einwohnerzahl gewichtete Personaldichte im gleichen Zeitraum je nach Bundesland um bis zu 48 % abgenommen hat (Holler et al. 2017). In einer Umfrage zur Wirksamkeit der DAS wurden bereits vor der Coronapandemie mangelnde finanzielle und personelle Ressourcen von 75 % der Kommunen als (teilweise) starke Barrieren der Vorbereitung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen genannt (Hasse und Willen 2019: 57). Neben mangelndem Geld und Personal fehlt den Regionen auch Zeit und Expertise für wirksame Klimaanpassung. Außerdem erwähnen 33 % der befragten deutschen Kommunen die unzureichende Datengrundlage / Prognosen als (teilweise) starke Barriere bei der Umsetzung von lokalen Anpassungsmaßnahmen (Hasse und Willen 2019: 57).

In Anbetracht der vielfältigen Herausforderungen im Rahmen der Klimaanpassung ist es wichtig, Wege zu finden, wie Ressourcen gebündelt und möglichst effizient eingesetzt werden können. Die im Rahmen dieser Arbeit gebildeten Cluster und die Verschneidung mit den Typen ländlicher Räume können als Beispiel dafür gesehen werden, wie die Visualisierung von Betroffenheiten durch das Wetter bzw. durch das Klima (bei langfristigeren Daten) dazu genutzt werden kann, um eine Orientierung zu geben, welche Landkreise ähnliche Herausforderungen und Voraussetzungen hinsichtlich der Anpassung an Klimarisiken haben. Landkreise eines bestimmten Ländlichkeit-Typs können anhand der Karten erkennen, welche Landkreise in der näheren Umgebung einen ähnlichen Typ aufweisen und dem gleichen Wettercluster zugeordnet sind. Ein intensiverer Austausch zwischen diesen Landkreisen könnte nun Synergieeffekte ergeben. Möglicherweise sind in einem Landkreis bereits bestimmte Maßnahmen erfolgreich umgesetzt worden, die sich aufgrund gleicher Bedingungen leicht auf den anderen Landkreis übertragen lassen. Bspw. läge es nahe, den Landkreisen Lippe und Soest in Nordrhein-Westfalen (Clusterkarten von 2023) eine Zusammenarbeit bei Anpassungsmaßnahmen zu empfehlen, obwohl zwischen ihnen der Landkreis Paderborn liegt, der zwar zum gleichen Wettercluster, aber zu einem anderen Ländlichkeit-Typ gehört. In Thüringen beispielsweise grenzt der Wartburgkreis (Cluster 2) u. a. an zwei Landkreise aus dem gleichen Thünen-Typ (sehr ländlich / weniger gute sozioökonomische Lage): Schmalkalden-Meiningen (Cluster 3) und Unstrut-Hainich-Kreis (Cluster 2). Auch hier könnten sich Vorteile aus der Zusammenarbeit der beiden Landkreise aus Cluster 2 ergeben. Ähnlich wie bei der Wärmeplanung auf kommunaler Ebene könnten die Landkreise Klimaanpassungsmaßnahmen landkreisübergreifend im Konvoi planen. Für die Landkreise desselben Ländlichkeit-Typs könnte aus der Zusammenarbeit eine zentrale Beratung der Kommunen durch die Landkreise entstehen, welche z. B. Informationen zu Fördermitteln oder Checklisten für Anpassungsprozesse bereitstellt. Durch die Bündelung von Ressourcen könnte auf landkreisübergreifender Ebene der Fokus auf flexible und anpassungsfähige Strategien gelegt werden – sogenannte adaptive Strategien (Birkmann et al. 2024), die die Synergien zwischen den Zielen des Klimaschutzes, der Klimaanpassung und der Nachhaltigkeit gegenüber Klimaänderungen mitbeachten. Dadurch ist

berücksichtigt, dass sich die Landkreise u. a. auf unterschiedliche Wetterextreme einstellen müssen und geplante Maßnahmen nicht nur streng für einen Sektor geplant, sondern mit einem ganzheitlichen Bild auf die Herausforderungen entwickelt werden sollen.

Eine pauschale Zuschreibung einer geringen Anpassungskapazität für sehr ländliche Kreise in Verbindung mit einer weniger guten sozioökonomischen Lage wird der Heterogenität der ländlichen Räume auch innerhalb eines ländlichen Typs nicht gerecht. Dennoch kann diese oberflächliche Einordnung auch Hinweise für Unterstützungsbedarf von außen geben. Es lohnt sich, den Blick zu weiten: Ländliche Räume weisen auch in Abhängigkeit mit städtisch geprägten Zentren viele Anpassungspotenziale auf: beispielsweise bei der Infrastruktur (z. B. erneuerbare Energien), für oder mit der ökologischen Ressourcen- und Ausgleichsfunktion (z. B. hinsichtlich einer gesicherten Versorgung mit Trinkwasser auch für Großstädte und Stadtregionen oder in Form von Kaltluftschneisen) (Grabski-Kieron und Dickmann 2024, Völker et al. 2024). Es ist daher zu empfehlen, urbane und ländliche Räume bzw. Siedlungsstrukturen und Freiräume bei der Klimaanpassung gemeinsam zu betrachten. Nichtsdestotrotz ist es wichtig, die spezifischen Herausforderungen der verschiedenen ländlichen Räume gesondert zu berücksichtigen, um effiziente Anpassungsmaßnahmen entwickeln zu können.

5.2 Kritische Reflexion der Ergebnisse

Die Ebene der Landkreise und kreisfreien Städte ist in dieser Arbeit durch den Maßstab der zur Verfügung gestellten Daten zwar bereits bedingt, bietet aber zusammen mit der Thünen-Typologie eine gute Differenzierung bei der Raumebene der Klimaanpassung. Auf der anderen Seite können Landkreise – gerade mit einer großen Flächenausdehnung – sehr heterogen sein und Klimaanpassungskonzepte können nur dann zielführend umgesetzt werden, wenn sie einen ausreichenden Detailgrad aufweisen (Völker et al. 2024: 9). Trotzdem oder gerade deswegen ist ein großes Potenzial für die Landkreise als Vermittler zwischen verschiedenen Akteur:innen, die bei der Klimaanpassung mitbedacht werden müssen, zu erkennen. Allein die Berücksichtigung des Thünen-Typs reicht allerdings nicht aus, um die Anpassungskapazität ländlicher Räume zu bewerten. Dafür hätten die Komplexität und Vielfalt von Wirkbeziehungen (z. B. Dominanz unterschiedlicher Sektoren, administrative Berichtswege, bestehende Fördermöglichkeiten oder Stadt/Land-Abhängigkeiten) stärker berücksichtigt werden müssen. Eine Herausforderung bei der Klimaanpassungskapazitätsbewertung ist es u. a., dass statt ausschließlich real messbarer Tatbestände die Potenziale bewertet und in die Zukunft geblickt werden muss (Kahlenborn et al. 2024: 356). Hierfür wäre eine genauere Auseinandersetzung mit den Arbeitsweisen in den Landkreisen sinnvoll, z. B. in Form von Interviews mit Landkreisen unterschiedlicher Wettercluster und Thünen-Typen oder eine Betrachtung von Best-Practice-Beispielen. Außerdem könnte die Clusteranalyse durch andere Methoden der regionalen Klimamodellierung ergänzt werden, um Szenarien für die Zukunft zu bilden. Da in die Clusteranalyse nur Daten aus zwei Jahren eingeflossen sind, konnten nicht immer eindeutige Aussagen getroffen werden. Zum einen, weil die Cluster und ihre Werte an sich im Vergleich der Jahre nicht identisch sind, zum anderen, wenn sich das Cluster eines Landkreises zwischen den Jahren ändert. Beispielsweise kann dem Wartburgkreis im Jahr 2018 eine Zusammenarbeit mit Schmalkalden-Meiningen empfohlen werden, 2023 aber eher mit dem Landkreis Unstrut-Hainich. Für

stabile Cluster wären langfristige Betrachtungen mit den Mittelwerten aus einem längeren Zeitraum notwendig. Mit nur einem großen Datensatz wäre auch nicht die Herausforderung gegeben, für eines der Jahre nicht die ideale Clusteranzahl zu verwenden (zum Zwecke der Vergleichbarkeit). Allerdings verändern sich die Wetterbedingungen in den letzten Jahren/Jahrzehnten immer schneller und Extreme nehmen zu. Insofern könnten auch kurzfristige Betroffenheitsanalysen eine Orientierung für Handlungserfordernisse und Priorisierungen bieten.

Interessant wäre auch eine erneute Clusteranalyse mit weiteren Indikatoren wie in der Clusteranalyse von Crespi et al. (2023), z. B. die „Bodenfeuchte“ oder „Extremer Wind“. Insgesamt hat die Anwendung der Clusteranalyse in dieser Arbeit gezeigt, dass die Methode für die Visualisierung von Wetter- und Klimawirkungen sinnvoll ist, da die eigene Betroffenheit einfach erkannt werden kann und Entscheidungsträger:innen potenziell schnell entsprechende Aktionen anstoßen und z. B. die Betroffenheit einer breiten Öffentlichkeit präsentieren könnten, um für mehr Akzeptanz von möglichen Anpassungsmaßnahmen zu werben.

6 Fazit

Als Folge des Klimawandels und der Reaktionen von Systemen und Gesellschaften darauf entstehen Klimarisiken, von denen Regionen sehr unterschiedlich betroffen sind. Um zukunftsfähig zu sein und zu bleiben, müssen Anpassungsmaßnahmen für die spezifischen Herausforderungen geplant und umgesetzt werden. Ländliche Räume machen in ganz Deutschland einen großen Teil der Landkreise aus, sodass es sich lohnt, im Kontext von Klimawandel und Klimaanpassung einen besonderen Blick auf diese Räume zu werfen. Aus der Clusteranalyse der Wetterdaten der Jahre 2023 und 2018 im Rahmen dieser Arbeit sind Hinweise auf Klimawirkungen abgeleitet, die auf eine große Handlungserfordernis von ländlichen Räumen schließen lassen. Da die Anpassungsdauer bei vielen Klimarisiken fast immer als mittel bis lang eingestuft ist – es also deutlich mehr als zehn Jahre dauert, die Klimarisiken großräumig in Deutschland wirksam zu reduzieren (Kahlenborn et al. 2021b) –, ist es wichtig, schnell zu handeln und Hürden bei der Planung und Umsetzung von Maßnahmen abzubauen. In Anbetracht der vielen Herausforderungen dabei ist die Ebene der Landkreise für eine breite Umsetzung in ganz Deutschland besonders wichtig. Ihnen kommt die zentrale Aufgabe zu, in integrierten Klimaanpassungsprozessen eine Vielzahl von Akteur:innen mitzunehmen, Ebenen und Zuständigkeiten einzubinden und damit in die Umsetzung und Verstetigung zu kommen. Als einer der ersten Schritte ist es wichtig, die regionale Betroffenheit zu identifizieren und zu kommunizieren, um eine gemeinsame Handlungsebene zu schaffen. Diese Arbeit zeigt beispielhaft, wie die regionalen Herausforderungen aufgrund von Wetterverhältnissen mithilfe einer Clusteranalyse erkannt werden können. Durch die Verschneidung mit der Thünen-Typisierung können bereits mögliche regionale Hindernisse wie z. B. geringe finanzielle Ressourcen identifiziert werden. Diese Analyse eröffnet Entscheidungsträger:innen ländlicher Kreise die Möglichkeit, sich mit anderen Akteur:innen, die ähnliche Voraussetzungen für die Anpassung haben, zusammenzuschließen, um Ressourcen zu bündeln und das große Potenzial für Anpassungsmaßnahmen in ländlichen Räumen zu nutzen.

7 Anhang

Tabelle 1: Mittelwerte Clusteranalyse – 2023

Cluster- nummer	Heisse Tage	Mittlere Temperatur Winter	Niederschlag- summe Winter	Tage Starkregen
1	7,8	3,87	225,53	7,54
2	13,9	2,63	138,47	4,65
3	13,7	1,81	198,78	9,38
4	19,27	4,16	124,85	5,56
5	11,13	1,8	269,88	19,08
Mittelwert	13,16	2,85	191,50	9,24

Anmerkung: dunkles Türkis, weiße Schrift = höchster Wert der Variable; helles Türkis, normale Schrift = niedrigster Wert der Variable

Quelle: eigene Tabelle

Tabelle 2: Mittelwerte Clusteranalyse – 2018

Clusternummer	Heisse Tage	Mittlere Temperatur Winter	Niederschlag- summe Winter	Tage Starkregen
1	17,4	2,39	224,74	2,67
2	22,72	1,35	160,97	4
3	17,2	0,44	262,85	6,88
4	28,38	2,98	216,28	4,33
5	12,34	0,21	384,34	11,38
Mittelwert	19,61	1,47	249,84	5,85

Anmerkung: dunkles Türkis, weiße Schrift = höchster Wert der Variable; helles Türkis, normale Schrift = niedrigster Wert der Variable

Quelle: eigene Tabelle

Script 1: R-Script Clusteranalyse, beispielhaft für die Daten für 2023

Pakete einlesen

```
library(dplyr)
library(readxl)
library(ggplot2)
library(factoextra)
library(cluster)
library(NbClust)
library(corrplot)
library(psych)
library(tidyverse)
```

```

library(data.table)
library(mclust)
library(writexl)

# Einlesen der Daten
Variablen_2023 ← read_excel("Variablen_2023.xlsx")
colnames(Variablen_2023) ← gsub(" ", "_", colnames(Variablen_2023))
Variablen_filtered ← Variablen_2023 %>%
  select(-Short_name, -Regional_code, -Jahr)
#Variablen filtered = Variablen mit den 7 Indikatoren

# Korrelation überprüfen
Cr <- cor(Variablen_filtered)
corrplot(Cr, method = "circle")

# Indikatoren Niederschlagssumme, mittlere Temperatur Sommer und Frosttage raus
Variablen_NoCor ← Variablen_filtered %>%
  select(-Niederschlagssumme_Sommer, -Mittlere_Temperatur_Sommer, -Frosttage)

# Standardisierung
Variablen_scaled ← scale(Variablen_NoCor)

# Clusteranalyse

# Hierarchisch nach Ward (5 Cluster)
#*****

# 1. Distanzmatrix
d <- dist(Variablen_scaled, method="euclidean")

# 2. Dendrogramm
fit.1 <- hclust(d, method="ward.D2")

# 3. Visualisierung
plot(fit.1, hang=-1, labels=Variablen_2023$Short_name, cex=.7)
rect.hclust(fit.1, k=5, border="red")

# 4. Test von Mojena nach Handl et. al.(2017) → optimale Clusteranzahl?
Cluster ← 1+sum((fit.1$height-mean(fit.1$height))/sqrt(fit.1$height)>2.75)
Cluster
Cluster ← 1+sum((fit.1$height-mean(fit.1$height))/sqrt(fit.1$height)>3.5)
Cluster

# 5. Ellenbogen-Abbildung
plot(1:10, btss, type="b", ylab="Between SS / Total SS", xlab="Cluster")

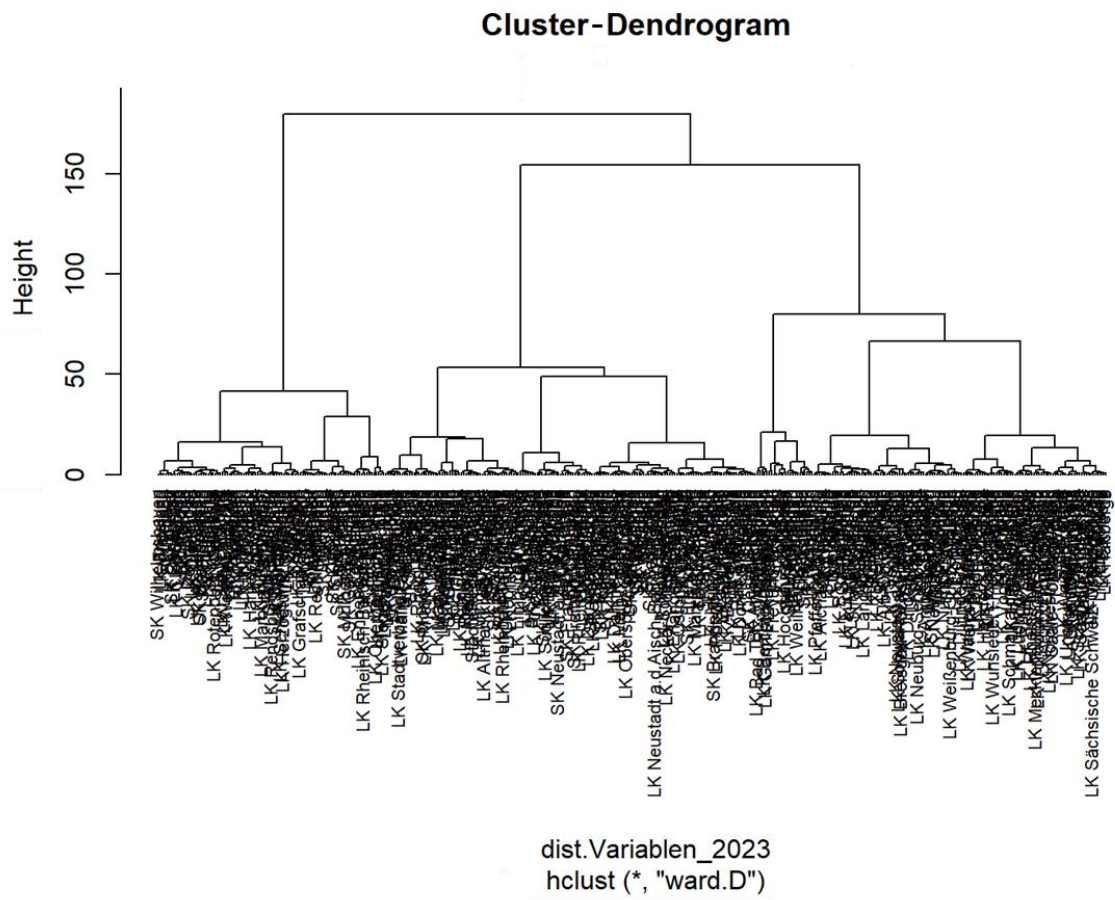
# 6. Clustergruppen → Auswahl: 5 Cluster
groups = cutree(fit.1, k=5)

# 7. Cluster Mean (Wie sind die Cluster charakterisiert?)
aggregate(Variablen_NoCor,list(member.c),mean)
ClusterMean ← aggregate(d,list(member.c),mean)
write.csv(ClusterMean,"ClusterMean.csv")

# 8. Member.csv erstellen
k ← 5
member.c <- cutree(fit.1,k)
write.csv(member.c,"memberc18k.csv")

```

Abbildung 4: Cluster-Dendrogramm für 2023



Quelle: eigene Darstellung mit R-Studio

Literatur

- Backhaus, K., Erichson, B., Gensler, S., Weiber, R. & Weiber, T. (Hrsg.) (1996): Multivariate Analysemethoden. Wiesbaden.
- Backhaus, K., Erichson, B., Gensler, S., Weiber, R. & Weiber, T. (2021): Clusteranalyse. In: Backhaus, K., Erichson, B., Gensler, S., Weiber, R. & Weiber, T. (Hrsg.): Multivariate Analysemethoden, Wiesbaden, S. 489–575.
- Beck, H., Zimmermann, N., McVicar, T., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. (2018): Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Sci Data*, Vol. 5(180214).
- Bednar-Friedl, B., Biesbroek, R., Schmidt, D., Alexander, P., Børsheim, K., Carnicer, J., Georgopoulou, E., Haasnoot, M., Le Cozannet, G., Lionello, P., Lipka, O., Möllmann, C., Muccione, M., Mustonen, T., Piepenburg, D. & Whitmarsh, L. (2022): Europe. In: IPCC (ed.): *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*, Cambridge/New York, pp. 1817–1927.
- Birkmann, J., Bouwer, L., Greiving, S. & Serdecny, O. (2024): Die Bewertung von Gefahren, Expositionen, Verwundbarkeiten und Risiken. In: Brasseur, G., Jacob, D. & Schuck-Zöller, S. (Hrsg.): *Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*, Berlin, S. 333–344.
- Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUV) (2024): *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2024. Vorsorge gemeinsam gestalten*. Berlin.
- Carvalho, M., Melo-Gonçalves, P., Teixeira, J. & Rocha, A. (2016): Regionalization of Europe based on a K-Means Cluster Analysis of the climate change of temperatures and precipitation. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Vol. 94, pp. 22–28.
- Crespi, A., Renner, K., Zebisch, M., Schauser, I., Leps, N. & Walter, A. (2023): Analysing spatial patterns of climate change: Climate clusters, hotspots and analogues to support climate risk assessment and communication in Germany. *Climate Services*, Vol. 30, pp. 1–17.
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (2020): *Klimastatusbericht Deutschland Jahr 2019*. Langen.
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (2025): *Grids Germany*. DWD Climate Data Center (CDC). https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/, abgerufen am 16.02.2025.
- Eckstein, D., Künzel, V., Schäfer, L. & Zinges, M. (2020): *Global Climate Risk Index 2020. Who Suffers Most from Extreme Weather Events? Weather-Related Loss Events in 2018 and 1999 to 2018*. Bonn/Berlin.
- Europäische Umweltagentur (2024): *Europäische Bewertung der Klimarisiken – Zusammenfassung*. EUA-Bericht Vol. 1/2024. Luxemburg.

- Grabski-Kieron, U. (2011): Geographie und Planung ländlicher Räume in Mitteleuropa. In: Gebhardt, H., Glaser, R., Radtke, U., Reiber, P. & Vött, A. (Hrsg.): Geographie. Physische Geographie und Humangeographie, Heidelberg, S. 820–837.
- Grabski-Kieron, U. & Dünckmann, F. (2024): Theoretische Grundlagen und Zugänge zum Themenfeld "Ländliche Räume". In: Grabski-Kieron, U., Kordel, S. Krajewski, C., Mose, I. & Steinführer, A. (Hrsg.): Geographie ländlicher Räume, Stuttgart, S. 21–60.
- Grabski-Kieron, U. & Küpper, P. (2024): Typisierung ländlicher Räume als Grundlage raumstruktureller Analysen. In: Grabski-Kieron, U., Kordel, S. Krajewski, C., Mose, I. & Steinführer, A. (Hrsg.): Geographie ländlicher Räume, Stuttgart, S. 61–86.
- Friedrich, K., Niermann, D., Imbery, F., Bissolli, P., Daßler, J., Zins, V., Haeseler, S. & Ziese, M. (2024): Klimatologischer Rückblick auf 2023: Das bisher wärmste Jahr in Deutschland. Offenbach.
- Handel, A. & Kuhlenkasper, T. (2017): Multivariate Analysemethoden – Theorie und Praxis mit R. Berlin.
- Hasse, J. & Willen, L. (2019): Umfrage Wirkung der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) für die Kommunen. Dessau-Roßlau.
- Holler, F., Raffer, C., Carstens, J. & Löffler, L. (2017): Weniger Personal, mehr Aufgaben. Studie zur Entwicklung der Personaldichte kreisfreier Städte. Berlin.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2022): Climate change: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge/New York.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2022a): Summary for Policymakers. In: IPCC (ed.): Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. Cambridge/New York, pp. 3–33.
- Kahlenborn, W., Porst, L., Voß, M., Fritsch, U., Renner, K., Zebisch, M., Wolf, M., Schönthaler, K. & Schauer, I. (2021a): Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021 (Kurzfassung). Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau.
- Kahlenborn, W., Porst, L., Voß, M., Hölscher, L., Undorf, S., Wolf, M., Schönthaler, K., Renner, K., Zebisch, M., Fritsch, U., & Schauer, I. (2021b): Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021 (Teilbericht 6). Teilbericht 6: Integrierte Auswertung - Klimarisiken, Handlungserfordernisse und Forschungsbedarfe. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau.
- Kahlenborn, W., Reusswig, F. & Schaser, I. (2024): Analyse von Anpassungskapazitäten. In: Basseur, G., Jacob, D. & Schuck-Zöller, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, S. 345–359.
- Küpper, P. (2016): Abgrenzung und Typisierung ländlicher Räume. Braunschweig.

- Küpper, P. (2020): Was sind eigentliche ländliche Räume? In: Bundeszentrale für politische Bildung/bpb (Hrsg.): Ländliche Räume. Bonn. <https://www.bpb.de/shop/zeitschriften/izpb/laendliche-raeume-343/312687/was-sind-eigentlich-laendliche-raeume/>, abgerufen am 12.02.2025.
- Küpper, P. & Milbert, A. (2022): Typisierungen ländlicher Räume für Politik und Wissenschaft in Deutschland. In: Dosch, F., Eichfuss, S., Einig, K., Gareis, P., Milbert, A., Kellenberger, M., Gennaro Frascini, M., Saul, S., Sander, N., Taubenböck, H., Droin, A., Gähler, M., Standfuß, I., Wurm, M., Beetz, S., Küpper, P. & Humer, A. (Hrsg.): Die Abgrenzung des ländlichen Raums – ein (un)mögliches Unterfangen? Dokumentation des BBSR-Online-Workshops am 29. April 2022. Bonn, S. 9–24.
- Mahlstein, I. & Knutti, R. (2010): Regional climate change patterns identified by cluster analysis. *Climate Dynamics*, Vol. 35 (4), pp. 587–600.
- Milbert, A. (2015): Raumabgrenzungen – Methodik und Entwicklung der BBSR-Typen. In: Meinel, G., Schumacher, U., Behnisch, M. & Krüger, T. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring VII. Boden – Flächenmanagement – Analysen und Szenarien. Berlin, S. 173–179.
- Milbert A., Krischausky, G. Burgdorf, M., Eltges, M., Kuhlmann, P., Nielsen, J. & Zaspel, B. (2012): Raumabgrenzungen und Raumtypen des BBSR. Bonn.
- Mose, I. (2018): Ländliche Räume. In: ARL - Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung. Hannover, S. 1323–1334.
- Peters, M. (2018): Klimaschutz & ländlicher Raum. Ideen und Impulse für erfolgreichen Klimaschutz in ländlichen Kommunen. Berlin.
- Schmidt, B. (1995): Kreistypisierung und zentralörtliche Gliederung mit statistischen Verfahren. Regensburg.
- Singh, S., Lo, Edmond Y. & Qin, X. (2017): Cluster Analysis of Monthly Precipitation over the Western Maritime Continent under Climate Change. *Climate*, Vol. 5 (84), pp. 1–20.
- Thünen-Institut (2025): Thünen Typologie Kreisregionen 2016. In: Thünen-Institut Forschungsbereich ländliche Räume (Hrsg.): Thünen-Landatlas. Braunschweig. www.landatlas.de, abgerufen am 16.02.2025.
- Völker, V., Ochsmann, M. & Plank, E. (2024): Fit für die interkommunale Klimaanpassung. Rolle und Bedeutung für Landkreise. Berlin.