

Anlage 2

Fachbeitrag Klima

Fortschreibung des Landschaftsrahmenplans für den Landkreis Elbe-Elster

Erstellt von:

Max Ulrich, M.Sc. Meteorologie, AtmoVera GmbH

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	1
Ziel und Anlass.....	1
Bedeutung des Klimas in der Landschaftsplanung	1
Methodisches Vorgehen	3
Methodisches Grundverständnis	3
Identifikation von klimawirksamen Räumen im Kontext Kaltluft.....	5
Darstellung von bisherigen und zukünftigen Klimaänderungen.....	7
Datengrundlagen	8
Klimawirksame Räume im Kontext Kaltluft	10
Ergebnisse der mesoskaligen Klimamodellierung	10
Ergebnisse der Auswertung von Wetterstationsdaten.....	12
Zusammenfassung	17
Klima und Klimawandel im Landkreis Elbe-Elster.....	19
Heutiges Klima und bisherige Klimaänderungen	19
Zukünftige Klimaänderungen.....	22
Zusammenfassung	29
Zusammenfassung und Fazit.....	30
Diskussion der Ergebnisse.....	30
Ableitung von Handlungsempfehlungen.....	30
Zusammenfassung der Kernergebnisse	31

Einleitung

Der Klimawandel rückt die Bedeutung des Klimas für gesunde und resiliente Landschaften immer mehr in den Fokus, denn bereits die bisherigen Auswirkungen zeigen durch vermehrte Hitzewellen, Trockenperioden, Waldbrände aber auch Überflutungen durch Hochwasser und Starkregen, dass ein sich änderndes Klima zu Herausforderungen für Mensch und Natur führt. Die Landschaftsplanung ist ein wesentlicher Baustein von Klimaresilienz und beeinflusst nicht nur die Ausprägung und Gestaltung von Naturräumen, sondern über deren Funktionen auch das Wohlergehen der Menschen, die in und zwischen den Naturräumen siedeln. Der Landkreis Elbe-Elster ist geprägt von dünner Besiedelung, relativ flacher Topographie und einer reichhaltigen Landschaftsvielfalt mit Flussauen, Wäldern, Heidelandschaften und einer Vielzahl an Fließwegen. Die menschliche Prägung und Gestaltung dieser Kulturlandschaft ist deutlich sichtbar, nicht nur in den Siedlungsräumen, sondern auch in den Seen der Bergbaufolgelandschaft oder der intensiven landwirtschaftlichen Bewirtschaftung in vielen Bereichen. Dieser Fachbeitrag soll die Bedeutung des Klimas und seiner Änderungen für die wechsel- und vielseitige Beziehung von Mensch und Landschaft näher beleuchten.

Ziel und Anlass

Ziel des Fachbeitrags ist es, die klimatischen Rahmenbedingungen und deren Entwicklung unter dem Einfluss des Klimawandels systematisch zu erfassen, zu bewerten und daraus planerisch relevante Erkenntnisse abzuleiten. Angesichts zunehmender klimatischer Veränderungen – etwa durch steigende Temperaturen, veränderte Niederschlagsmuster und eine Zunahme extremer Wetterereignisse – und daraus folgender Anforderungen an den Erhalt und Stärkung der Vitalität der Landschaft kommt der klimaangepassten Landschafts- und Raumplanung eine immer größere Bedeutung zu. Der Beitrag liefert daher eine fachliche Grundlage zur Integration von Klimabelangen in den Landschaftsrahmenplan. Besondere Schwerpunkte liegen dabei auf der Analyse der aktuellen Klimasituation, der mesoskaligen Modellierung von relevanten Räumen für die Kaltluftentstehung nach VDI-Richtlinie 3787 sowie der Analyse bisheriger und zukünftiger Klimaänderungen mit Blick auf ihre Auswirkungen auf Natur, Landschaft und Siedlungsentwicklung.

Bedeutung des Klimas in der Landschaftsplanung

Das Klima gehört zu den wichtigsten Rahmenbedingungen für die Entwicklung, Nutzung und Belastbarkeit von Landschaftsräumen. In der Landschaftsplanung nimmt es eine Querschnittsfunktion ein, da es sowohl natürliche Prozesse wie Vegetationsentwicklung, Wasserhaushalt und Bodenerosion beeinflusst als auch das menschliche Wohlbefinden und die Nutzbarkeit von Flächen betrifft. Besonders unter den Bedingungen des Klimawandels gewinnt die Berücksichtigung klimatischer Aspekte an Bedeutung: Landschaftsräume müssen zunehmend auf ihre Funktion als Temperaturpuffer, Kaltluftentstehungsgebiete, Frischluftkorridore oder Wasseraufnahmeflächen hin bewertet werden. Eine vorausschauende Landschaftsplanung trägt dazu bei, klimatische Ausgleichsprozesse zu sichern und zu stärken, Risiken durch Extremereignisse zu minimieren sowie klimaresiliente Strukturen zu fördern. Damit wird das Klima nicht nur als

Fachbeitrag Klima - Fortschreibung des Landschaftsrahmenplans für den Landkreis Elbe-Elster

Umwelteinfluss, sondern auch als Planungsgröße verstanden, die aktiv in Schutz-, Entwicklungs- und Nutzungskonzepte eingebunden werden muss.

Methodisches Vorgehen

Um die klimatischen Einflüsse auf die Landschaftsplanung im Landkreis Elbe-Elster näher zu beleuchten und dies ressourcenschonend zu tun, wurde eine einfache und effektive Methodik angewendet. Die Methodik zielt darauf ab, flächig innerhalb des Landkreises differenzierbare Eigenschaften des Klimas, das sogenannte „Mesoklima“, durch eine Modellierung darzustellen und alle weiteren klimatischen Einflüsse durch eine gesamtflächige Analyse darzustellen.

Methodisches Grundverständnis

Durch fundierte Vorüberlegungen zur Analyse der für die Landschaftsrahmenplanung wirksamen Klimaeinflüsse konnten die folgenden unterschiedlichen und relevanten Einflüsse des Klimas auf die Landschaft identifiziert und hinsichtlich ihrer räumlichen Differenzierung charakterisiert werden:

- Jahresgang von mittlerer Temperatur und Niederschlag: Dies ist eine Beschreibung der wesentlichen Charakteristika des lokalen Klimas, welche entscheidend sind für die Ausprägung und das Vorhandensein der naturräumlichen Gegebenheiten. Diese Parameter werden auf der Ebene des gesamten Landkreises diskutiert.
- Hitze: Die Auswirkungen von Hitze auf den Menschen sind deutlich und immer stärker spürbar. Auch die Naturräume und die darin vorkommenden Ökosysteme, Pflanzen und Tiere werden durch Hitzebelastungen beeinträchtigt. In diesem Fachbeitrag wird Hitze auf den Gesamttraum bezogen betrachtet, da kleinräumige Variationen vor allem durch die Bebauungsstruktur im besiedelten Raum stattfinden und dies nicht der Projektfokus ist.
- Mesoklima Kaltluft: Kaltluftentstehungsgebiete und thermisch belastete Wirkräume stellen eine wesentliche Leitplanke für die Landschaftsplanung und die sich daraus ableitenden Grundsätze dar. Deshalb wurde dieses Phänomen durch eine mesoskalige, hochauflösende Simulation der nächtlichen Kaltluftsituation dargestellt.
- Trockenheit und Waldbrandgefahr: Diese Erscheinungen sind im Landkreis Elbe-Elster von hoher Relevanz und werden in ihrer Genese bzw. Eintrittswahrscheinlichkeit¹ von großräumigen Witterungsparametern wie Temperatur und Niederschlag beeinflusst, weshalb Trockenheit und Waldbrandgefahr gesamträumlich dargestellt werden.
- Starkniederschläge: Die Auswirkungen von Starkregen durch Bodenerosion und Überflutung sind oftmals kleinräumig und müssen mit hoher Auflösung dargestellt werden². Die Darstellung von Fließwegen und Überflutungsgebieten geht über den Auftrag hinaus und für die räumliche Differenzierung der Ausprägung der Bodenerosion fehlen Gebiete mit

¹ Waldbrände in Deutschland werden zu über 90% durch menschliches Handeln verursacht (Fahrlässigkeit, Brandstiftung). Allerdings schaffen die Witterungsbedingungen erst die Voraussetzungen für das Gefährdungspotential.

² Zum Beispiel anhand von Fließpfad- oder Starkregengefahrenkarten.

starker Hangneigung, weshalb in diesem Fachbeitrag die gesamträumliche Ausprägung von Starkniederschlägen diskutiert wird.

- Hochwasser und Überflutungen: An anderer Stelle in diesem Vorhaben werden Hochwassergefahrenkarten eingebunden. In diesem Fachbeitrag wird komplementär dazu die Genese von Hochwasserereignissen entlang von Elbe und Elster diskutiert auf der Basis von abflussrelevanten Klimakenngrößen³ auf der Ebene der Einzugsgebiete der Flusssysteme.
- Windklima und Sturmböen: In diesem Fachbeitrag werden diese Parameter anhand der gesamträumlichen Ausprägung diskutiert, da eine höher auflösende Betrachtung wenig zielführend ist aufgrund geringer Variationen infolge geringer topographischer Unterschiede. Außerdem würde eine Analyse einer Klimatologie der maximalen Windböen auf höherer Auflösung zu einer Scheingenauigkeit führen, die durch die große zeitliche Variabilität von Jahr zu Jahr nur geringe Aussagekraft hätte.
- Schneefall und Frost: Diese Parameter sind wichtig für natürliche Ökosysteme, die Landwirtschaft und auch kritische Infrastrukturen. Aufgrund der geringen Variationen innerhalb des Untersuchungsgebietes werden auch diese Parameter gesamträumlich betrachtet.
- Konvektive Extremwettererscheinungen: Diese Phänomengruppe umfasst Erscheinungen wie Gewitter und starke Schauer mit Hagel, Sturm, Tornados und Starkregen und ist für einen großen Teil der im Sommerhalbjahr auftretenden Schäden an Natur und menschlicher Infrastruktur verantwortlich⁴, weshalb diese gezielt diskutiert wurden. Auch wenn diese Erscheinungen oftmals kleinräumig auftreten, ist aufgrund der kurzen Zeitreihe (seit etwa 2000) von hochauflösenden Radardaten, mit denen eine Klimatologie erarbeitet werden könnte, eine räumlich aufgelöste Betrachtung nicht zielführend. Dies ist auch deshalb der Fall, da diese Phänomene durch komplexe und unterschiedliche, miteinander wechselwirkende Umstände und Bedingungen beeinflusst werden, die meteorologisch noch nicht komplett verstanden oder mit Datengrundlagen hinreichend abbildbar sind, wie z.B. lokale, kleinräumige Windsysteme⁵. Daher werden konvektive Wettererscheinungen anhand von Umgebungsparametern gesamträumlich betrachtet, die Aufschluss über die Auftretenshäufigkeit dieser Phänomene geben können.

³ Dies sind Kenngrößen wie die zeitlich gewichtete Summe aus Niederschlägen, Verdunstung, Schneeschmelze, sodass Vorfeuchte und Abflussdargebot darstellbar sind. In diesem Fachbeitrag werden Daten genutzt, die in einem Projekt für das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) zur Analyse von heutigen und zukünftigen Gebäudeschäden durch Hochwasser von AtmoVera entwickelt wurden. Siehe auch: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/jahr/2024/machbarkeitsstudie-baukosten/01-start.html?sessionid=F82A6725C0F8DBAE8A6BFD0FB373F2A5.live11314>

⁴ Siehe auch jährliche Veröffentlichungen des Naturgefahrenreports des Gesamtverbands der deutschen Versicherer (GdV): <https://www.gdv.de/resource/blob/183526/d871a7bed27d5c99e20ab387ee393370/naturgefahrenreport-2024-download-data.pdf>

⁵ Beispiel hierfür sind regionale Hangaufwinde am Niordrand der schwäbischen Alb, die mit südwestlichen Bodenströmungen so interagieren, dass regelmäßig Hagelniederschläge in dieser Region verzeichnet werden.

Diese Auflistung ist nicht abschließend, zeigt jedoch die relevantesten Parameter für die Landschaftsplanung auf. Die Bearbeitung der meisten Parameter auf gesamträumlicher Ebene ist ressourcenschonend und aufgrund der geringen topographischen Variationen in der Höhenlage auch repräsentativ für den Gesamttraum.

Identifikation von klimawirksamen Räumen im Kontext Kaltluft

Die Untersuchung der mesoskaligen Ausprägung der Kaltluftentstehung und -Transporte wurde entsprechend den Überlegungen mit einem numerischen Modell simuliert. Zur Analyse des mesoskaligen Klimas mit Fokus auf Kaltluft im Landkreis Elbe-Elster wurde die Simulationssoftware Envi-MET eingesetzt, ein dreidimensionales, nicht-hydrostatisches Modell zur Darstellung des Mikro- und Mesoklimas mit einer Auflösung in der Größenordnung von 1 bis 250 m in unterschiedlichen Raumtypen – vom Objekt bis zur Region. Grundlage für die Anwendung bildet die VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1, die methodische Vorgaben zur Erfassung und Bewertung stadt- raumklimatischer Prozesse macht, insbesondere im Hinblick auf Kaltluftentstehung und -verlagerung. Für die mesoskalige Modellierung wurde eine Auflösung von 50x50 m gewählt und ein typischer sehr warmer Sommertag mit geringen Windgeschwindigkeiten, hohen Temperaturen und ohne Bewölkung simuliert. Das Untersuchungsgebiet umfasst die Grenzen des Landkreises und eine Zone, die einen Puffer von 10 km um den Landkreis mit einschließt. Die zugrunde gelegte Wetterlage wird auch als „autochthone“ Wetterlage bezeichnet und bezeichnet eine Witterung, in der die Auswirkungen der Topographie und des Landschaftsbildes auf lokale Windsysteme und Temperaturverteilungen besonders ausgeprägt und nicht von großräumigen Strömungen überlagert sind. Solche Wetterlagen sind üblicherweise auch die mit der höchsten thermischen Belastung für Mensch und Natur.

Dabei flossen Geländetopographie, Landnutzung, Vegetation, Bodenbeschaffenheit und grob aufgelöste Bebauungsstrukturen in das Modell ein. Ziel war es, potenzielle Kaltluftentstehungsflächen sowie Leitbahnen für nächtliche Kaltluftabflüsse zu identifizieren und deren Wirksamkeit unter gegenwärtigen klimatischen Bedingungen zu beurteilen. Die Modellierung bezieht sich auf einen heißen Tag mit einer Tageshöchsttemperatur von 35°C und einer Tiefsttemperatur von 20°C, was etwa dem mittleren heißesten Tag eines Jahres im aktuellen Klima entspricht. Es wurde ein schwacher Hintergrundwind aus südöstlichen Richtungen mit 1 m/s angenommen, was über die Auswertung von Wetterstationsdaten als typisches Szenario ermittelt wurde und für die Stabilität des numerischen Modells eine wichtige Voraussetzung ist. Die exakte Ausprägung des Tagesganges der Temperatur ist letztendlich nicht ausschlaggebend für die Bewertung, für die die Situation um 04 Uhr morgens herangezogen wurde. Die Bewertung bezieht die folgenden Parameter mit ein und gewichtet diese zur Identifikation von Kalt- und Frischluftwirksamen Räumen in Bezug auf ihre relative Ausprägung innerhalb des Untersuchungsgebietes:

- Lufttemperatur in 2 m Höhe: Die relative Verteilung der Lufttemperatur wurde zur Bewertung der Belastungsräume herangezogen, normiert und zur Identifikation der Kaltluftentstehungsgebiete mit 1/3 gewichtet. Zonen mit mehr als +1 K

Temperaturabweichung vom Gebietsmittel um 04 Uhr werden als thermisch belastet identifiziert. Zonen mit mehr als -1 K gehen in die Analyse der Kaltluftgebiete mit ein.

- Windgeschwindigkeit in 10m Höhe: Die Windgeschwindigkeit spielt eine Rolle im lokalen Transport der Kaltluft. Deshalb wurde sie in Kaltluftentstehungsgebieten berücksichtigt und Windgeschwindigkeiten nach Abzug des Hintergrundwindes von mehr als 0,75 m/s wurden als relevante Kaltluftbewegung/-transport identifiziert.
- Volumenstromdichte bis 50 m Höhe: Die Volumenstromdichte in den al Kaltluftgebieten markierten Gebieten zeigt an, wieviel Luftvolumen vom Boden bis in 50 m Höhe bewegt werden. Je höher dieser Wert, desto relevanter ist ein Kaltluftgebiet. Für die Analysezwecke wurde die Volumenstromdichte normiert und mit 1/3 gewichtet.
- Thermische Advektion: Die thermische Advektion zeigt an, inwiefern kühlere oder wärmere Luft durch lokale bodennahe Windfelder an bestimmten Orten transportiert wird. Die Berechnung erfolgt mittels des Skalarproduktes aus Windvektor und Temperaturgradient. Die Werte wurden normiert und mit 1/3 bei der Identifikation der Kaltluftleitbahnen gewichtet.

Die Gesamtschau identifiziert dann vier wesentliche Raumtypen in Bezug auf Kaltluft:

- Kaltluftentstehungsgebiete: Dies sind Gebiete, die über eine hinreichende Abkühlungsrate im Vergleich zur Umgebung verfügen.
- Kaltluftleitbahnen: Dies sind Gebiete, in denen Kaltluftadvektion durch das bodennahe Windfeld und die Volumenstromdichte stattfindet. Diese Gebiete überlappen in großen Teilen mit den Entstehungsgebieten, da außerhalb der Entstehungsgebiete durch erwärmende oder windschwächende Einflüsse die Kaltluftadvektion oft schnell zum Erliegen kommt.
- Thermisch belastete Gebiete: Dies sind Gebiete mit einer signifikanten Überwärmung. Oftmals sind dies Siedlungsgebiete.
- Gebiete, die keine dieser Kategorien zufallen: Alle anderen Gebiete, die nicht in eine der drei obigen Kategorien fallen. Dies bedeutet nicht, dass diese Gebiete bedeutungslos sind, jedoch erfüllen diese Gebiete keine der wesentlichen Funktionen. Eine bauliche oder landschaftliche Veränderung kann jedoch bewirken, dass auch diese Gebiete entweder in positivem oder negativem Sinne an Bedeutung gewinnen.

Zwecks einfacher Auffassung der kaltluftrelevanten Ausprägungen innerhalb der Gebietskulisse des Landkreises Elbe-Elster wurde auf die von fachfremden Personen oftmals als überfrachtet und verwirrend empfundene Darstellung aus der VDI-Richtlinie verzichtet und eine eigene, reduzierte Variante mit intuitiver Farbskalierung genutzt. Die hier vorliegende Modellierung ist geeignet, um landschaftlich relevante Aussagen zum Kaltluftklima zu treffen, aber nicht um kleinräumige Fragestellungen rund um die Bauleitplanung zu beantworten, da dafür eine explizite und höher aufgelöste Darstellung der Baukörper nötig wäre. Die hier generierten Datensätze für das Gesamtklima des Landkreises können auch z.B. bei der Erstellung eines kreisweiten oder

kommunalen Klimaanpassungskonzeptes genutzt werden oder zumindest als Ausgangspunkt für vertiefte Untersuchungen herangezogen werden.

Darstellung von bisherigen und zukünftigen Klimaänderungen

Die Analyse der bisherigen und projizierten zukünftigen Klimaentwicklung im Landkreis Elbe-Elster basiert auf Auswertungen regionalisierter Klimadatenreihen aus Rasterdaten sowie auf Klimaprojektionen nach verschiedenen Emissionsszenarien. Die hier verwendeten RCP-Szenaren „Representative Concentration Pathways“ gehen von unterschiedlichen Annahmen über die Entwicklung der globalen Treibhausgasemissionen aus und diese werden nach dem wirksamen Beitrag zum Strahlungshaushalt der Erde in W/m^2 bezeichnet und bilden gleichzeitig die Grundlage für die Simulationen des zukünftigen Klimas mit Erdsystemmodellen. Es wurden folgende Szenarien und Zeiträume zugrunde gelegt:

- Klima der nahen Vergangenheit: Die Klimaperiode 1961-1990 wurde als (messbares) Klima der nahen Vergangenheit betrachtet.
- Klima der Gegenwart: Die aktuelle Referenzperiode des DWD von 1991 bis 2020 wird als Klima der Gegenwart bezeichnet.
- Klima der nahen Zukunft: Die Periode 2031-2060 wurde in Einklang mit Projekten der Klimaanpassung als nahe Zukunft definiert. Für die Bereiche Landwirtschaft, Siedlungsentwicklung, Gesundheit und Katastrophenschutz liegt der Fokus bei Aktivitäten der Klimaanpassung oftmals auf diesem Zeitraum.
- Klima der fernen Zukunft: Die Periode 2071-2100 wird als ferne Zukunft definiert. Insbesondere forstwirtschaftliche und auf die Erhaltung von Ökosystemen fokussierte Maßnahmen sind oftmals auf diesen langfristigen Zeitraum ausgerichtet, da Maßnahmen eine lange Dauer bis zum Eintreten der Wirkung sowie eine lange Lebensdauer besitzen.
- Klimaszenario RCP2.6: Dies ist ein Klimaszenario mit hoch wirksamen globalen Klimaschutz und gilt als „Paris-konform“. In den letzten Jahren mehren sich die Erkenntnisse, dass dieses Klimaszenario wenig realistisch ist⁶. Deshalb wird dieses Klimaszenario in diesem Bericht nicht näher thematisiert. Die bisher erreichte Änderung der Energiebilanz von etwa $+2,75 \text{ W/m}^2$ zusammen mit der derzeitigen geopolitischen Entwicklung mit stärkerem Fokus auf Wirtschaftswachstum zeigt schon auf, dass ein RCP mit einem Rückgang des klimawirksamen Strahlungsantriebes nicht erwartbar ist.
- Klimaszenario RCP4.5: Dieses Klimaszenario stellt einen „Mittelweg“ oder „moderaten Klimawandel“ dar und bezeichnet einen Emissionspfad, auf dem am Ende des 21. Jahrhunderts eine globale Temperaturänderung von etwa $+2$ bis $+3 \text{ K}$ gegenüber dem vorindustriellen Klima erreicht würde.
- Klimaszenario RCP8.5: Dieses Klimaszenario stellt eine „fossile Entwicklung“ oder einen „starken Klimawandel“ dar. Auch wenn die aktuellen Entwicklungen im Bereich der

⁶ Siehe z.B. <https://www.cliccs.uni-hamburg.de/de/publications/hamburg-climate-futures-outlook/key-findings.html>

Installationsleistung von erneuerbaren Energien dieses Szenario in Bezug auf die zugrunde gelegten Emissionen von Treibhausgasen durch den Menschen zunehmend unplausibel machen, sprechen eine konservative Risikoabschätzung und die derzeitige Entwicklung des mit Satellitendaten beobachteten Strahlungsantriebes⁷ sowie mögliche Kippunkte im Klimasystem für die Nutzung dieses Szenarios bei der Klimaanpassung. Diese Schlussfolgerung wird dadurch gestützt, dass viele Klimamodelle der neueren CMIP6-Phase eine höhere Klimasensitivität (dieser Begriff bezeichnet die Reaktion eines Klimamodells auf eine bestimmte Änderung der THG-Konzentration in Bezug auf die globale Temperaturänderung) aufweisen, weil hier realistischere Repräsentationen von Wolkenphänomenen enthalten sind. Außerdem werden aktuell zunehmend Beobachtungen gemacht, dass der natürliche Kohlenstoffkreislauf in dynamischer und nur schwer vorhersagbarer Weise auf die komplexen Änderungen durch Klimawandel, steigende THG-Konzentrationen und Ökosystemverluste reagiert⁸. Die Tendenz geht dahin, dass natürliche Kohlenstoffkreisläufe infolge des Anstieges der Temperatur und der weiter anhaltend hohen Vernichtung von natürlichen Lebensräumen weniger leistungsfähig werden in Bezug auf ihre proportionale Aufnahme zusätzlicher, menschenverursachter THG-Emissionen.

Für alle betrachteten Klimaparameter wurden die o.g. dreißigjährigen Zeiträume betrachtet über typische Mittelwerte oder mittlere Extremwerte der Klimakenngrößen. Die Bildung der Differenzen und Änderungssignale bildet den Ausgangspunkt für die Beurteilung von Veränderungen. Dazu wurde ein Quantilmapping der Zeitreihen durchgeführt, indem die Referenzperiode 1991-2020 als Grundlage herangezogen wurde. Die Betrachtung der Bandbreite und Richtungen der Änderungssignale für zukünftige Klimasignale bilden die Grundlage für die Beurteilung der Robustheit. Ein Änderungssignal wird als robust definiert, wenn mindestens 75 % der Klimaprojektionen eines Szenarios in die gleiche Richtung weisen und zu einem statistisch signifikanten Änderungssignal im Ergebnis kommen.

Datengrundlagen

Folgende wesentliche Datengrundlagen wurden genutzt, um die Produkte und Erkenntnisse zu generieren:

- Mesoskalige Klimamodellierung Kaltluft:
- Landnutzungsdaten: Es wurden Landnutzungsdaten mit einer Auflösung von 10x10 m auf der Basis von Satellitendaten genutzt, die in sechs wesentliche Klassen unterteilt wurden (siehe <https://www.mundialis.de/deutschland-2020-landbedeckung-auf-basis-von-sentinel-2-daten/>). Diese wurden mittels der gröber (30x30 m) aufgelösten, aber feiner klassifizierten Landnutzungsdaten (siehe <https://zenodo.org/records/4725429>)

⁷ Die aktuelle Entwicklung der Energiebilanz der Erdatmosphäre wird nur durch Klimamodelle mit hoher Klimasensitivität bzw. hohem Feedback zu gleicher THG-Konzentration wiedergegeben, siehe ua. https://eprints.whiterose.ac.uk/id/eprint/228333/1/Manuscript_revised2_accepted.pdf

⁸ Sieh z.B. <https://www.nature.com/articles/s41467-024-47872-7> (Landökosysteme) und <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2023GL107030> (Marine Ökosysteme).

nachbearbeitet, um Eigenschaften der Landnutzung mit den Klassen und Parametern des Envi-met Modells in Einklang zu bringen.

- Geländemodell: Das DGM-1 mit einer Auflösung von 1 m des Landes Brandenburg wurde genutzt, um die Geländeeigenschaften und deren Auswirkungen auf die Kaltluftsituation zu berücksichtigen.
- Wetterstationsdaten: Die Daten der DWD Wetterstation Doberlug-Kirchhain wurden genutzt, um die typischen Windsituationen an warmen und heißen Sommertagen darzustellen sowie die mittleren Temperaturen für einen typischen „sehr heißen Sommertag“.
- Darstellung von Klimazuständen und -Änderungen:
 - Rasterdaten – HYRAS: Diese Reanalysedaten geben Aufschluss über die Verteilung von Temperaturen und Niederschlägen auf einer räumlichen Auflösung von 1x1 km.
 - Rasterdaten ERA5: Dieses Reanalysedatenset wurde genutzt, um Informationen über stündliche Niederschlagsmengen und weitere Klimaparamter wie Windböen und konvektive Wetterlagen zu berücksichtigen.
 - Klimamodellensemble DWD_v2018 Kernensemble: Siehe auch https://www.dwd.de/DE/forschung/klima_umwelt/klimaprojektionen/fuer_deutschland/fuer_dtsl_rcp-datensatz_node.html – Diese Daten wurden genutzt, um die zukünftigen Klimaentwicklungen abzubilden.

Klimawirksame Räume im Kontext Kaltluft

Die Kaltluftbildung und der Kaltlufttransport sind wesentliche Ökosystemdienstleistungen der Landschaft, die angesichts der zunehmenden Wärmebelastung von zunehmender Bedeutung sind in der räumlichen Planung. Die räumliche Nähe und Erschließung von Kaltluftflüssen für die Entwärmung von Siedlungsgebieten stellt eine wesentliche übergeordnete Maßnahme der Klimaanpassung dar und zielt darauf ab, Wohnkomfort und -gesundheit zu stärken, bzw. bauliche Anpassungsmaßnahmen mit unerwünschten Nebeneffekten wie die Installation von Klimaanlagen möglichst zu reduzieren. Es ist wichtig, nicht aus den Augen zu verlieren, dass die Erschließung der Kaltluftentstehungsgebiete allein oftmals nicht ausreichend ist, um siedlungsplanerisch einen hohen Wärmeschutz zu gewährleisten, da der Klimawandel in Zukunft (siehe nächstes Kapitel) eine weitere erhebliche Verschärfung der Wärmebelastung verursachen dürfte.

Die Landschaft im Landkreis Elbe-Elster ist geprägt von geringen Höhenunterschieden mit einigen Hügeln im südlichen Teil des Landkreises, mit dem Heideberg, der mit 201 m ü.d.M. den Titel „höchster Berg Brandenburgs“ tragen darf. Der größte Teil des Landkreises ist geprägt von den Flussauen der namensgebenden Flüsse Elbe (im Südwesten) und Elster (im Süden, Westen). Weite Teile des Landkreises liegen auf 80 bis 12 m ü.d.M. in leicht welligem Terrain mit landwirtschaftlich genutzten Flächen, Heide- und Waldflächen, die zu großen Teilen unter Naturschutz stehen. Insgesamt erzeugen die Landschaftsformen des Landkreises Elbe-Elster eine klimatische Situation mit relativ geringen spezifischen oder komplexen mikro- oder mesoskaligen Landschaft-Klima-Wechselwirkungen, wie sie etwa in Mittelgebirgen oder Küstenregionen vorkommen. Siedlungsstrukturen im Landkreis sind von kleinen Dörfern und kleineren Städten geprägt, die in den größten Städten des Landkreises bis zu 2 km kontinuierliche Ausdehnung aufweisen, aber insgesamt durch eine relativ geringe Dichte und Höhe der Bebauung gekennzeichnet sind, was in Bezug auf lokale Überwärmungseffekte positiv wirkt.

Ergebnisse der mesoskaligen Klimamodellierung

Die untenstehende Karte fasst die Ergebnisse der Klimamodellierung in Bezug auf die Kaltluftsituation zusammen. Der größte Teil des Landkreises ist aufgrund der geringen räumlichen Variation weder klimatischer Wirkraum mit hohen Belastungen, noch klimatischer Entlastungsraum mit Kaltluftentstehung. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass die geringen Variationen in der Geländestruktur dafür sorgen, dass keine stärkeren lokalen Hangabwinde auftreten, die für größere Kaltluftentstehungsgebiete typisch sind. Die Tatsache, dass sich die Überwärmungsgebiete nicht nur auf Siedlungsgebiete beschränken, sondern vor allem auch auf Ackerflächen zu finden sind wirkt zunächst kontraintuitiv, bedeutet aber lediglich, dass die Siedlungsräume an sich eine nur geringe Überwärmung erfahren, was an sich eine positive Gesamtaussage in Bezug auf die klimatische Funktion der Landschaft im Landkreis Elbe-Elster zulässt. Der südwestliche Teil des Landkreises ist weist besonders wenige Räume mit klarer klimafunktionaler Beschreibung auf. Dies liegt an der hier besonders flachen Auenlandschaft, die hier auch relativ weit von größeren Höhenunterschieden entfernt ist.

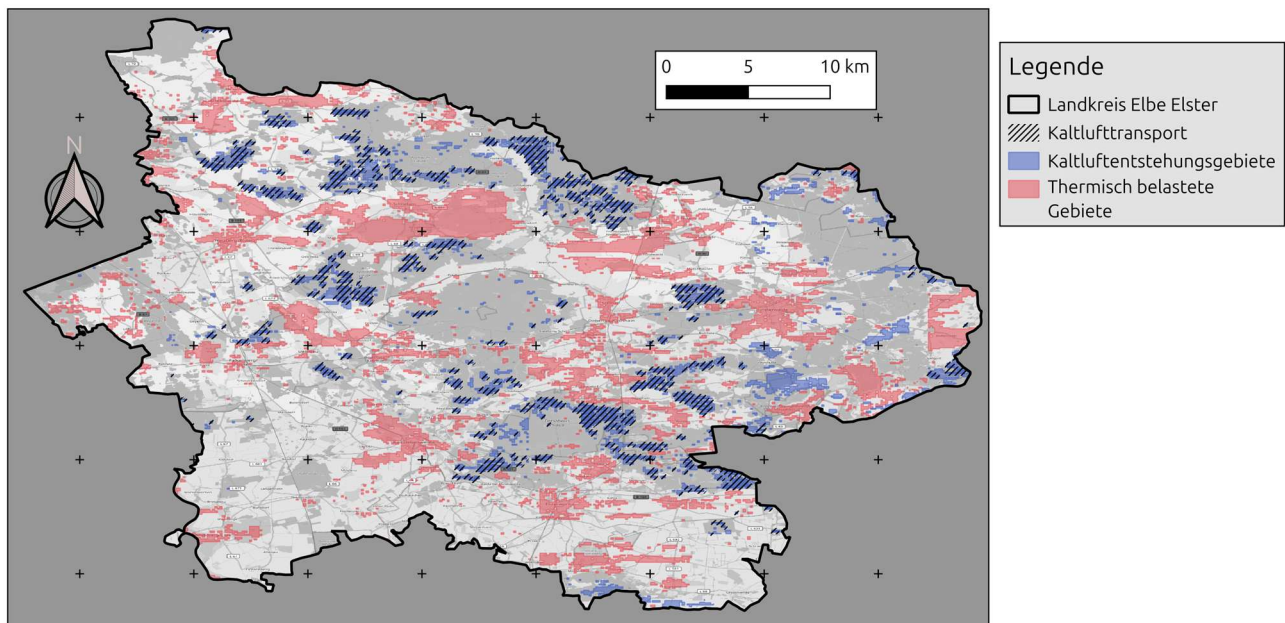


Abbildung 1: Zusammenfassende Karte der Klimamodellierung mit dem Fokus Kaltluft.

Die Ergebnisse lassen sich in unterschiedliche Kernaussagen unterteilen:

- Die meisten Siedlungsgebiete sind in gewissem, geringen bis moderatem, Umfang überwärmt. Davon besonders betroffen sind Herzberg, Bad Liebenwerda, Elsterwerda und Finsterwalde. Doberlug-Kirchhain und Falkenberg/Elster sind vergleichsweise weniger stark überwärmt. Dies dürfte auf die hier weniger kompakten und konzentrischen und mehr sternförmigen Siedlungsstrukturen sowie das Vorhandensein offener Landschaftsformen mit Luftleitbahnen entlang linearer Infrastrukturen (Straßen, Bahnlinien) zurückzuführen sein.
- Ackerflächen sind teilweise auch in gewissem Umfang überwärmt. Dies ist wahrscheinlich auf die Berücksichtigung dieser Flächen im Envi-Met Modell zurückzuführen und die während des Tages erhöhte Wärmespeicherung mangels Vegetations- und Bodendichte im Vergleich zu Wald- und Heideflächen. Dadurch findet nachts ein größerer Wärmefluss aus dem Boden in die darüberliegende Luft statt, der zu höheren Lufttemperaturen führt.
- Die wald- und heidereichen, zusammenhängenden Landschaftsgebiete weisen eine hohe Wirksamkeit in Bezug auf Kaltluftproduktion auf, da hier die Biomasse einen Großteil der Wärme des Tages aufnimmt und nachts ein geringerer Wärmestrom vorherrscht, der zu einer effektiveren Auskühlung führt.
- Die bewaldeten Hügel der Hirschfelder Waldhöhen südlich der Ortschaften Merzdorf, Gröden und Hirschfeld weisen eine Klimafunktion als Kaltluftentstehungsgebiete auf, weisen allerdings durch die Bewaldung und die geringen Höhenlage nur geringe Windgeschwindigkeiten auf, sodass keine wesentliche Weiterleitung der Kaltluft in besiedelte Bereiche nördlich davon zustande kommt.
- Kaltluftleitbahnen im größeren Ausmaße können auf der landschaftlichen Ebene nur schwer ausgemacht werden. Kaltluftentstehungsgebiete im Bereich der Heidelandschaften sind die

Teile des Landkreises, die am ehesten eine leitende Wirkung für Kaltluft entfalten, da hier kleinräumige Windsysteme höhere Fließgeschwindigkeiten erreichen.

- Die Produktivität der Kaltluftentstehungsgebiete ist insgesamt als gut einzustufen, da die Gebiete groß und zusammenhängend sind.
- Die Leitfähigkeit der Landschaft und der Kaltluftentstehungsgebiete ist im allgemeinen gering, was auf die geringe Höhenvariation und Hangneigungen der Landschaft zurückzuführen ist. So entsteht Kaltluft in großen Gebieten, aber die horizontalen Temperaturunterschiede sind gering und die entstehende Kaltluft kann nur sehr langsam entlang der wenig ausgeprägten Neigungen der Landschaft fließen und erreicht die besiedelten Gebiete dadurch nicht, da vor diesem Zeitpunkt die Sonne wieder aufgeht und die Tageserwärmung die Regie übernimmt. Im übertragenen Sinne „wabert“ die entstehende Kaltluft an Ort und Stelle. Gleichzeitig ist hervorzuheben, dass die Überwärmung in den Siedlungsbereichen aufgrund der geringen Siedlungsdichte verhältnismäßig gering ist.

Die Betrachtung der Ergebnisse und der Umstand der geringen Kaltluftleitfähigkeit der Landschaft erhöht die Bedeutung der bestehenden Kaltluftentstehungsgebiete und verdeutlicht die Bedeutung des Erhalts oder der Schaffung von kleinräumigen Gebieten mit Abkühlungspotential im siedlungsnahen Bereich. Solche Bereiche müssen im direkten Umfeld der Siedlungsstrukturen geschaffen bzw. erhalten werden, da die Fließgeschwindigkeiten gering sind und somit die entstehende Kaltluft z.B. auf einem Feld oder einer an eine Siedlung angrenzenden Aue nur wenige Dutzend Meter in die Siedlungsbereiche eindringen wird. Diese Fragestellungen sind auf der Ebene der Landschaftsplanung nur schwer zu berücksichtigen bzw. daraus ergeben sich Handlungsempfehlungen, die im letzten Kapitel der vorliegenden Untersuchung näher beleuchtet werden.

Ergebnisse der Auswertung von Wetterstationsdaten

Die Daten der DWD-Station Doberlug-Kirchhain in der Mitte des Landkreises wurden als repräsentative Kennwerte ausgewertet, um die Strömungssituation an warmen (max. Temperatur $\geq 25^{\circ}\text{C}$) und heißen ($T_{\text{max}} \geq 30^{\circ}\text{C}$) Sommertagen zu charakterisieren.

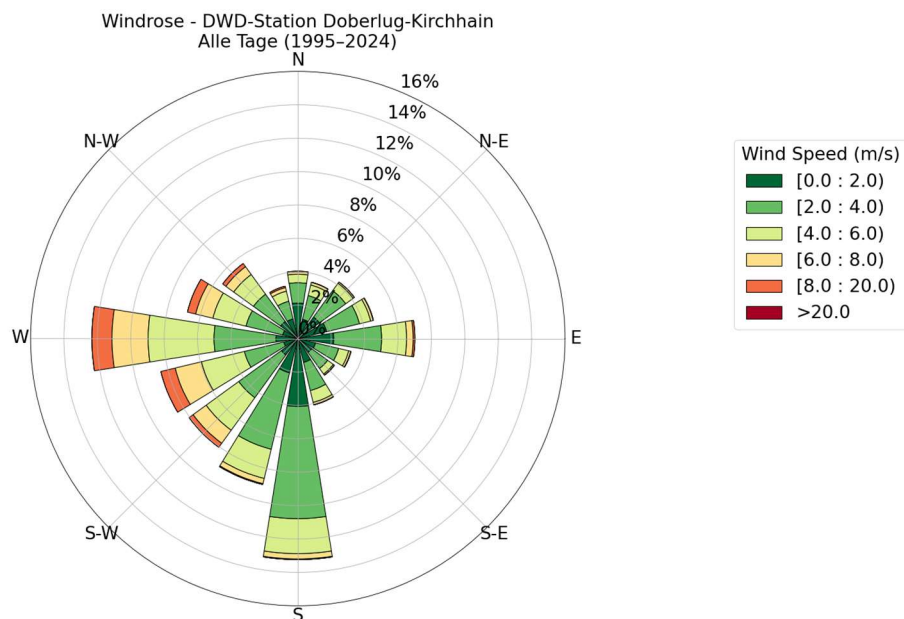
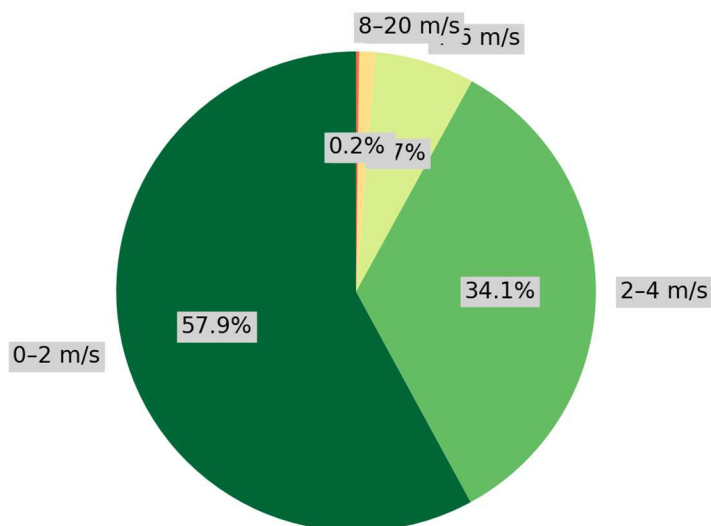


Abbildung 2: Windrose in Doberlug-Kirchhain für alle Tage.

Die Windrose für alle Tage zeigt für die Auswertung der stündlichen Windvektoren, dass die Winde im Landkreis Elbe-Elster vor allem aus dem Sektor West bis Süd kommen, mit 50 % aller Meldungen. Winde aus nördlicher oder südöstlicher Richtung sind eher selten. Starke Winde mit mehr als 8 m/s (Windstärke 5 oder mehr) kommen nahezu exklusiv aus Nordwest bis Südwest.

Nächtliche Windverteilung - DWD-Station Doberlug-Kirchhain
Sommertage (Tmax $\geq$ 25°C, 1995-2024)



Nächtliche Windverteilung - DWD-Station Doberlug-Kirchhain
Heiße Tage ($T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$, 1995-2024)

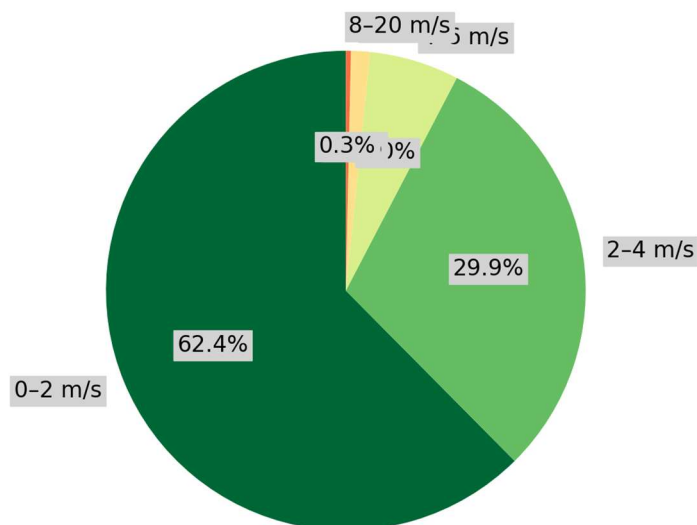


Abbildung 3: Auswertung der Häufigkeit von stündlichen Windgeschwindigkeiten in Doberlug-Kirchhain für Sommertage mit $T_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ (oben) und $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ (unten).

Die Sommertage mit $T_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ weisen meistens geringe Windgeschwindigkeiten auf, unterhalb von 2 m/s spricht man von „autochthonen“ Verhältnissen, welche an 58 % der Stunden während solcher Sommertagen auftreten. Mit steigenden T_{max} steigt auch die Häufigkeit der autochthonen Wetterlagen, welche an heißen Tagen auf rund 62 % der Zeit steigt. Winde mit mehr als 4 m/s treten zum einen oftmals im Laufe des Tages mit thermischen Zirkulationen auf und sind an sommerlichen und heißen Tagen mit jeweils etwa 8 % auch eher selten. Diese Aussagen zeigen, dass die Verhältnisse an heißen Tagen im Landkreis Elbe-Elster oftmals windschwach sind und eine autochthone Wetterlage dann oftmals eine realistische Zustandsbeschreibung der vorherrschenden Verhältnisse darstellt.

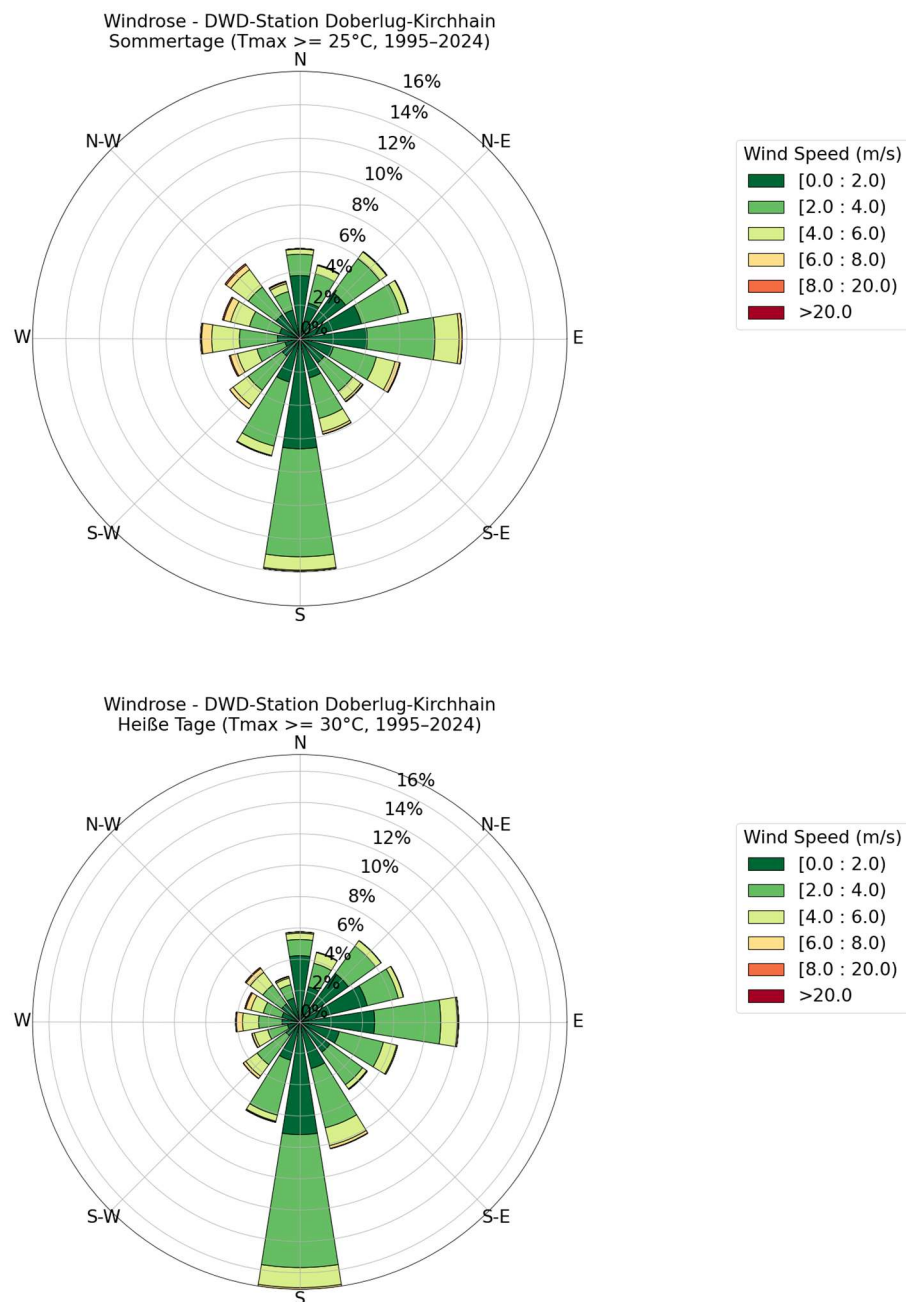


Abbildung 4: Auswertung der Häufigkeit von stündlichen Windgeschwindigkeiten und -Richtungen in Doberlug-Kirchhain für Sommertage mit Tmax $\geq$ 25°C (oben) und Tmax $\geq$ 30°C (unten).

Die Windrosen für die sommerlichen warmen und heißen Tage zeigen im Unterschied zur Windrose für alle Tage, dass die Winde an warmen Tage vor allem aus dem Sektor Süd bis Ost kommen und auch die Dominanz von schwachen Winden wird sichtbar. An besonders warmen Tagen kommt der Wind nur noch selten aus westlichen oder nordwestlichen Richtungen.

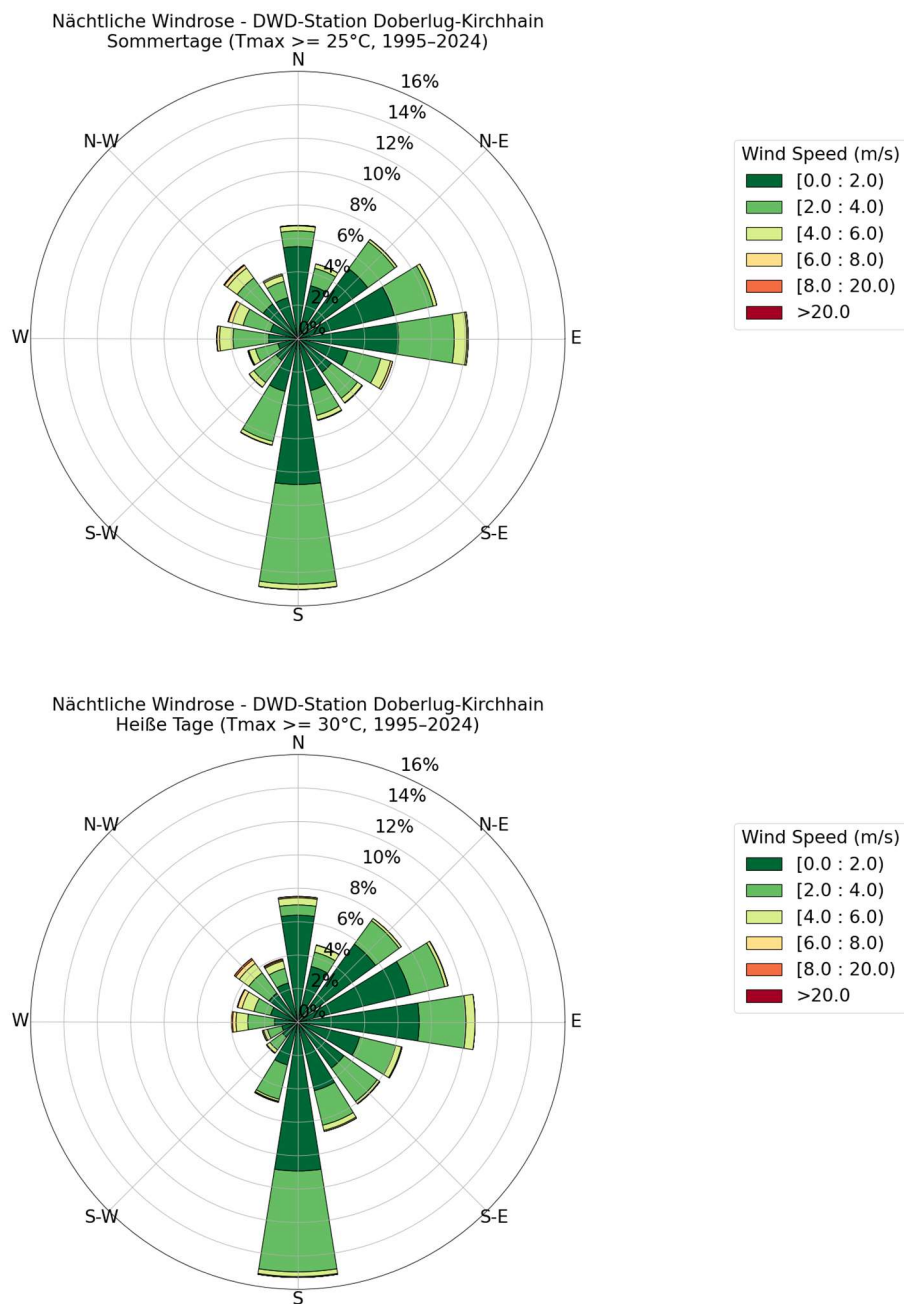


Abbildung 5: Auswertung der Häufigkeit von stündlichen Windgeschwindigkeiten und -Richtungen in Doberlug-Kirchhain für Sommertage mit $T_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ (oben) und $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ (unten) während der Nachtstunden.

Die Untersuchung der nächtlichen Ausprägung des Windfeldes im Landkreis Elbe-Elster an warmen und heißen Sommertagen zeigt, dass die nächtlichen Windgeschwindigkeiten geringer sind als während des Tages und auch, dass Süd und Ost die dominierenden Windrichtungen sind. Die Tatsache, dass die Winde während der Nacht schwächer, aber auch aus der gleichen Richtung wehen an warmen und heißen Tagen deutet bereits darauf hin, dass es nicht zur Ausprägung von

nächtlichen Windsystemen kommt, die sich von den großräumigen Hintergrundwinden unterscheiden. Dies bestätigt die Ergebnisse der Modellierung, auch wenn die Auswertung der Daten an der Wetterstation Doberlug-Kirchhain nur für eben diesen Punkt aussagekräftig ist hinsichtlich nächtlicher Windsysteme.

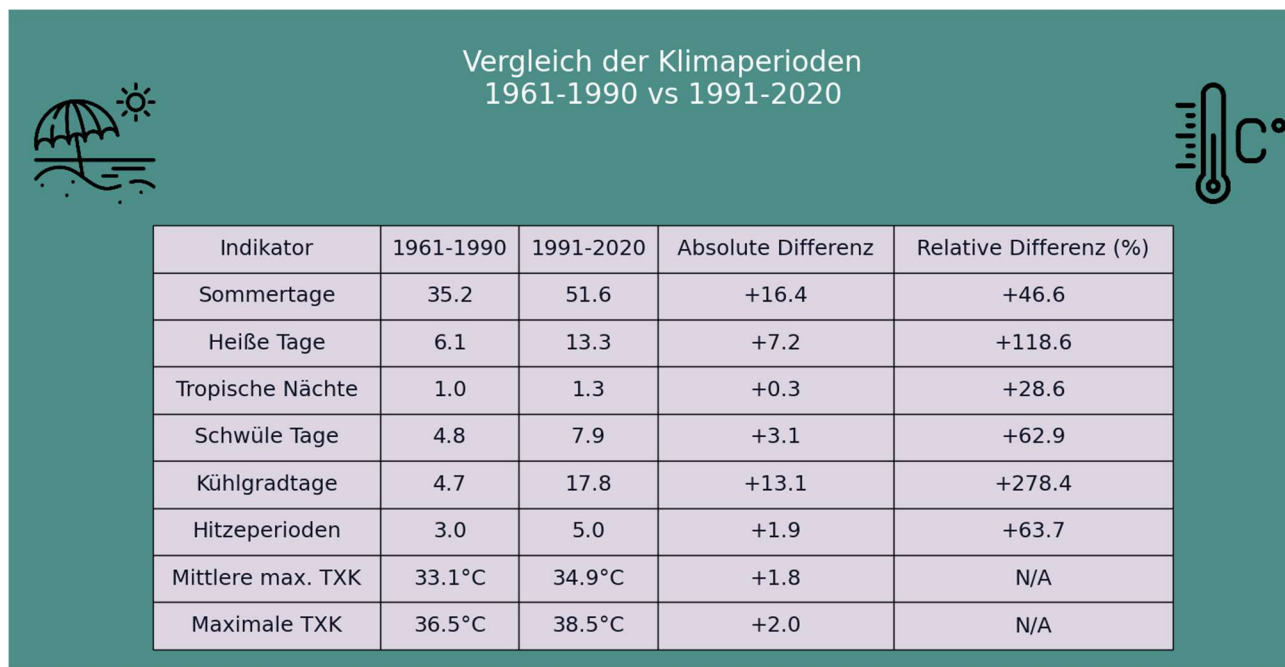


Abbildung 6: Auswertung von sommerlichen Kenntagen für Doberlug-Kirchhain für die Klimaperioden der Gegenwart (1991-2020) und der nahen Vergangenheit (1961-1990) sowie der Differenz.

Die Auswertung von warmen Temperaturkenntagen zeigt, dass sich das Klima in der Region in der Gegenwart gegenüber der nahen Vergangenheit bereits deutlich verändert hat. Alle relevanten Kenngrößen zeigen eine deutliche Erwärmung. Während tropische Nächte noch eher selten auftreten, sind Sommertage im Klima der Gegenwart mit knapp 52 Tagen pro Jahr häufig und auch heiße Tage treten an 13 Tagen pro Jahr auf. Dies bedeutet, dass autochthone Wetterlagen an wenigstens 30 Tagen im Jahr auftreten. Die maximale mittlere Jahrestemperatur beträgt knapp 35°C und der Rekordwert liegt bei 38,5°C. Daher wurde die Wahl von 20°C als Tiefst- und 25°C als Höchsttemperaturen und damit wesentliche Randbedingungen für die Modellierung des Mesoklimas gewählt.

Zusammenfassung

Es lassen sich im wesentliche diese Kernaussagen treffen in Bezug auf die mesoskalige Ausprägung von nächtlichen Klimafunktionen mit dem Fokus Kaltluft:

- Autochthone Wetterlagen mit schwachen Winden sind an warmen und heißen Tagen im Bereich des Landkreises Elbe-Elster häufig und treten an rund 30 Tagen pro Jahr auf. Winde kommen an diesen Tagen häufig aus Süden oder Osten. Aus den Beobachtungsdaten des

DWD an der Wetterstation Doberlug-Kirchhain lässt sich ablesen, dass nächtliche Windsysteme an solchen Tagen schwächer sind als während des Tages und keine wesentliche Änderung der Richtung stattfindet.

- Die numerische Modellierung zeigt im wesentlichen sehr schwache nächtliche Luftbewegungen, was auch Kaltluftleitbahnen einschließt. Durch die geringen Höhenunterschiede im Gelände entstehen nur sehr flache und schwache Windssysteme. Kaltluftleitbahnen sind eng begrenzt und aufgrund geringer Tiefen und Windgeschwindigkeiten nur kleinräumig wirksam.
- Kaltluftentstehungsgebiete sind weiträumig und vor allem auf siedlungsfernen Heidegebieten ausgeprägt.
- Überwärmte Gebiete finden sich vor allem in den Siedlungsbereichen, aber auch teilweise auf den Ackerflächen des Landkreises. Dies zeigt im Umkehrschluss, dass die Überwärmung in den Siedlungen verhältnismäßig gering ist, begründet durch relativ geringe Siedlungsdichte und teilweise günstige Ausrichtung der Siedlungsgebiete (Sternform), die dafür sorgt, dass kleinräumig wirksame Entwärmungsflächen direkt an die Siedlungen angrenzen.

In der Gesamtschau der Ergebnisse zeigt sich, dass die mesoskaligen Prozesse der Kaltluftentstehung aufgrund geringen Luftaustausches nur wenig Auswirkungen auf das nächtliche Siedlungsklima haben. Gleichzeitig sorgt die relativ großflächige nächtliche Auskühlung und die geringe Dichte und Kompaktheit der Siedlungsstrukturen für eine vergleichsweise geringe Belastung. Diese insgesamt positive Situation gilt es durch gezielte Entwicklung siedlungsnaher Entwärmungsflächen und räumlich geschickter Ausgestaltung von zukünftigen Siedlungsentwicklungen mit idealerweise geringer Kompaktheit zu erhalten und zu stärken. Über die klimaangepasste Siedlungsentwicklung hinaus ist zu sagen, dass die Kaltluftentstehungsprozesse während der Nacht auch tagsüber wirksam sein können, da die Aufnahme von Wärme durch vitale Vegetation eine gewisse Reduktion der täglichen Aufheizung und vor allem einen Wärmeentzug durch die Wärmespeicherung in der Landschaft zur Folge hat. Dies kann z.B. bei der Etablierung oder Stärkung klimaresilienter Waldbewirtschaftung und Landwirtschaft berücksichtigt werden. Eine Erhöhung und Stärkung der Vitalität des Grünvolumens würde insbesondere in längeren Hitzephasen für eine großflächig effektivere nächtliche Abkühlung sorgen.

Klima und Klimawandel im Landkreis Elbe-Elster

Heutiges Klima und bisherige Klimaänderungen

In den folgenden Tabellen sind die Mittelwerte und die Änderungssignale des Klimas der Gegenwart (1991-2020) und der nahen Vergangenheit (1961-1990) gesammelt dargestellt. Für jede der Klimaelemente wird eine kurze Zusammenfassung gegeben.

Jahresgang von mittlerer Temperatur und Niederschlag

Die Temperatur zeigt einen typischen Jahresgang für warm-gemäßigtes Klima. Der Jahresniederschlag entspricht einem ozeanisch geprägten, warm-gemäßigten Klima der Westwindzone. Die Temperaturen haben sich in der Gegenwart bereits durchweg erwärmt, am deutlichsten in den Sommer- und Wintermonaten, aber auch im April. Am geringsten fällt die bisherige Erwärmung im Herbst aus. Beim Niederschlag ergeben sich insgesamt geringe Änderungen in Bezug auf die Jahressumme, aber eine gewisse Abtrocknung des Frühlings und ein geringer Anstieg der Niederschläge in den restlichen Jahreszeiten. Die deutlichsten Veränderungen finden sich in einzelnen Monaten wieder, mit deutlichen Anstiegen im Juli, Januar und März und deutlichen Rückgängen im April, Mai und Juni. Insgesamt scheint der späte Frühling/Frühsummer deutlich trockener geworden zu sein, während in den anderen Jahreszeiten eher Umverteilungen stattfinden.

	Temperatur			Niederschlag		
Zeitraum	1961-1990 [°C]	1991-2020 [°C]	Änderung [K]	1961-1990 [mm]	1991-2020 [mm]	Änderung [%]
Jahr	9,07	10,17	+1,10	639	633	-0,9
Winter	0,19	1,56	+1,37	143	146	+2,1
Frühling	8,39	9,60	+1,21	161	143	-11,2
Sommer	17,64	19,04	+1,38	193	198	+2,6
Herbst	9,87	10,31	+0,44	142	146	+2,8
Januar	-0,82	0,89	+1,71	45	54	+15,6
Februar	0,41	1,73	+1,32	41	40	-2,4
März	3,88	4,81	+0,93	45	50	+11,1
April	8,10	9,66	+1,56	52	37	-28,8
Mai	13,19	14,13	+0,94	64	56	-12,5
Juni	16,65	17,73	+1,08	67	59	-11,9
Juli	18,23	19,75	+1,52	59	77	+30,5
August	18,02	19,60	+1,58	67	62	-7,5
September	14,65	15,23	+0,58	49	52	+6,1
Oktober	10,20	10,36	+0,16	44	45	+2,3

	Temperatur			Niederschlag		
Zeitraum	1961-1990 [°C]	1991-2020 [°C]	Änderung [K]	1961-1990 [mm]	1991-2020 [mm]	Änderung [%]
November	4,75	5,34	+0,59	49	49	0
Dezember	1,02	2,06	+1,04	57	52	-8,8

Hitze

Die Anzahl aller Hitzekenngrößen ist deutlich gestiegen, insbesondere Hitzetage und Tropennächte. Die mittleren und maximalen Tmax sind ebenfalls angestiegen, im Vergleich auch stärker als die mittleren Sommertemperaturen.

Klimakenngröße	1961-1990	1991-2020	Änderung
Anzahl der Sommertage (Tmax >= 25°C)	23,1	36,8	+59 %
Anzahl der Hitzetage (Tmax >=30°C)	2,3	6,4	+178 %
Anzahl der Tropennächte (Tmin >=20°C)	0,7	2,9	+314 %
Mittleres Tmax im Sommer	21,7 °C	23,2 °C	+1,5 K
Mittleres jährliches Tmax	31,2 °C	33,1 °C	+2,1 K

Trockenheit

Trockenheit wird durch die Bilanz aus Niederschlag und temperaturabhängiger Verdunstung bestimmt. Da die Temperaturen deutlich ansteigen und sich bei den mittleren Niederschlägen kaum Veränderung zeigt, deutet dies auf zunehmenden Trockenstress hin. Diese Andeutung wird verstärkt durch die Analyse der Anzahl der Trockentage, die sowohl im Jahreserlauf, insbesondere aber im Frühling zunehmen und auch im Sommer zeigt sich eine Zunahme. Die Zunahme der Trockentage im Jahr kommt fast ausschließlich aus diesen beiden Jahreszeiten, in denen auch der Wasserbedarf am größten ist.

Klimakenngröße	1961-1990	1991-2020	Änderung
Anzahl der Trockentage mit P < 1 mm pro Jahr	217	223	+2,8 %
Anzahl der Trockentage mit P < 1 mm im Frühling	53	57	+7,5 %
Anzahl der Trockentage mit P < 1 mm im Sommer	54	55	+1,9 %

Starkniederschläge

Die Indikatoren für die Analyse von Starkniederschlägen zeigen, dass sich die Intensität der stärksten Niederschläge und die Häufigkeit besonders starker Niederschläge erhöht hat. Die Erhöhung der Intensität der Niederschläge ist dabei vor allem für kurze Perioden von Stunden oder Tagen deutlich, während längere Perioden mit anhaltenden Niederschlägen kaum Veränderung erfahren haben.

Klimakenngröße	1961-1990	1991-2020	Änderung
Anzahl der Tage mit $P \geq 10$ mm pro Jahr	12,4	12,4	0 %
Anzahl der Tage mit $P \geq 20$ mm pro Jahr	1,6	2,1	+31 %
Mittlerer maximaler jährlicher Stundenniederschlag	5,7 mm	6,2 mm	+8,8 %
Mittlerer maximaler jährlicher Tagessiederschlag	28,5 mm	31,2 mm	+12,6 %
Mittlerer maximaler jährlicher 5-Tages-Niederschlag	54,4 mm	54,4 mm	0 %

Windklima und Sturmböen

Die Anzahl besonders windiger oder stürmischer Tage hat in der Gegenwart deutlich zugenommen, wobei die auf die sehr windigen 90er Jahre zurückzuführen ist. Die maximalen Windgeschwindigkeiten selbst haben dagegen kaum zugenommen.

Klimakenngröße	1961-1990	1991-2020	Änderung
Anzahl der Tage mit Windböen Starke 8 oder mehr pro Jahr	17,3	19,1	+10,4 %
Anzahl der Tage mit Windböen Starke 9 oder mehr pro Jahr	4,8	5,6	+14,6 %
Mittlere maximale jährliche Windböe	25,5 m/s	25,7 m/s	+0,7 %

Schneefall und Frost

Parallel zur Erwärmung des Winters haben Frostperioden sowohl in Dauer als auch Intensität deutlich nachgelassen. Dies trifft auch Schneefälle und Schneedecken zu. Insgesamt ist der Rückgang der stärksten Fröste und Schneedecken noch deutlich stärker als der Rückgang der mittleren Frost- und Schneedeckenperioden.

Klimakenngröße	1961-1990	1991-2020	Änderung
Anzahl der Frosttage ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$)	82,5	71,0	-13,9 %
Anzahl der Eistage ($T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$)	25,7	16,9	-34,2 %

Klimakenngröße	1961-1990	1991-2020	Änderung
Anzahl der strengen Frosttage (T _{min} < -10°C)	9,7	4,5	-53,6 %
Mittleres Jährliches T _{min}	-15,9 °C	-13,0 °C	+2,9 K
Mittlere jährliche Schneefallmenge	76,6 mm	56,3 mm	-26,5 %
Mittlere maximale tägliche Schneefallmenge	9,8 mm	6,8 mm	-30,6 %
Mittlere maximale jährliche Schneedeckenhöhe	17,4 mm WÄQ ⁹	11,6 mm WÄQ	-33,3 %
Anzahl der Tage mit Schneefall	49,4	38,6	-17,8 %
Anzahl der Tage mit Schneedecke	55,4	39,8	-28,2 %

Konvektive Extremwettererscheinungen

Um das Konvektionspotential zu beurteilen, wurden die Anzahl der potentiell konvektiv wirksamen Tage mit schwerem Konvektionspotential, also möglichen Unwetterlagen, als auch die verfügbare Wasserdampfmenge (PWAT) für die Niederschlagsbildung berücksichtigt. Es zeigt sich ein deutlicher Anstieg in der Häufigkeit von konvektiven Tagen und auch ein Anstieg der Werte von PWAT, die stärkere Niederschlagsereignisse bedingen können. Dies korreliert mit dem Anstieg von maximalen täglichen und stündlichen Niederschlagssummen.

Klimakenngröße	1961-1990	1991-2020	Änderung
Anzahl der Tage mit schwerem Konvektionspotential ¹⁰	5,9	6,8	+15,3 %
Anzahl der Tage mit PWAT ≥ 25 mm	15,9	18,9	+18,9 %
Mittleres jährliches Maximum des PWAT	36,7 mm	37,9 mm	+3,3 %

Zukünftige Klimaänderungen

Die zukünftigen Klimaänderungen gegenüber der Referenzperiode 1991-2020 wurden aus den Klimaprojektionen des DWD_v2018 Kernensembles berechnet. In den Tabellen wird der Übersichtlichkeit halber das Ensemblemittel dargestellt. Robuste Änderungssignale werden in **geänderter Farbe und Schrift** dargestellt, wobei sich die Farbgebung intuitiv auf die Bedeutung des Klimasignals bezieht.

⁹ Schneedecken werden in Rasterdaten in mm Wasseräquivalent (WÄQ) angegeben.

¹⁰ Dieser Indikator gewichtet für Konvektion günstige Umgebungsbedingungen wie vertikale Windscherung, labile Schichtung, hohe Feuchte und Temperaturen in der unteren Troposphäre. Der Schwellenwert bezieht sich auf die Verknüpfung mit Versicherungsdaten zu Schäden durch Hagel/Sturm oder Starkregen im Sommerhalbjahr.

Jahresgang von mittlerer Temperatur und Niederschlag

Alle Änderungssignale der mittleren Temperaturen sind robust für alle betrachteten Klimaszenarien und Zeiträume. Erwartungsgemäß ist die Erwärmung im RCP4.5 schwächer als im RCP8.5 und schreitet in beiden Szenarien mit der Zeit voran, wobei sich die Erwärmung im RCP8.5 gegen Ende des Jahrhunderts beschleunigt und im RCP4.5 mit geringerer Geschwindigkeit fortsetzt. Die jahreszeitliche Differenzierung der Änderungssignale hinsichtlich ihrer Intensität ist uneinheitlich, wobei sich im RCP4.5 eine besonders deutliche Erwärmung der Wintermonate abzeichnet und im RCP8.5 eine stärkere Erwärmung der Sommermonate sowie eine vergleichsweise schwächere Änderung der Temperaturen im Frühling.

Die zukünftigen Niederschlagsänderungen in den Klimaprojektionen zeichnen ein uneinheitliches Bild. In Bezug auf die Jahresniederschlagsmengen gibt es im RCP4.5 eine leichte, aber robuste Zunahme, die sich mit der Zeit weiter intensiviert. Im RCP8.5 gibt es diese Zunahme auch, allerdings zunächst mit geringerem, nicht robustem Signal und gegen Ende des Jahrhunderts mit etwa +8 % eine deutliche, robuste Änderung. Im Gegensatz zur Temperatur sind die Spannweiten der Änderungssignale im Klimamodellensemble sehr groß und oftmals werden von den Klimaprojektionen sowohl Signale für mehr als auch weniger Niederschläge angezeigt. Dies verdeutlicht, dass Niederschlagsänderungen durch den Klimawandel mit hohen Unsicherheiten verbunden sind und Aussagen dazu nur mit geringer Sicherheit getroffen werden können.

Die jahreszeitliche Verteilung der Änderungen des Niederschlages zeigt, dass die Niederschläge im Winter deutlich und robust zunehmen dürften. Dies ist im RCP8.5 deutlicher ausgeprägt. Mit zunehmender Erwärmung und gegen Ende des Jahrhunderts zeigt das Klimamodellensemble auch im Frühling eine robuste Steigerung der Niederschlagsmengen. Die Änderungssignale für den Sommer sind insgesamt nicht robust, aber im Mittel zeichnet sich eine Abnahme der Niederschläge ab. Für den Herbst gibt es keine klaren Aussagen zu den Änderungssignalen und der Betrag ist eher gering. Für einzelne Monate betrachtet, lassen sich robuste Änderungssignale vor allem in der Zeit von November bis März finden. Für den August und September werden im RCP8.5 teilweise im Ensemblemittel große Reduktionen gezeigt, wobei das Ensemble uneinheitlich ist. Einzelne Klimamodelle zeigen im RCP8.5 sowie in der fernen Zukunft im RCP4.5 sehr deutliche Rückgänge der Niederschlagsmengen, teilweise mehr als -40 %.

Insgesamt sind die Aussagen zum Thema Niederschlag eher uneindeutig, außer die zu den Niederschlägen im Winter und Frühling. Bezüglich der potentiellen Zunahme sommerlicher Trockenheit finden sich im Klimamodellensemble Hinweise, allerdings sind diese überwiegend nicht statistisch robust, obwohl die Änderungssignale einzelner Klimamodelle in Bezug auf ihre Größe im Juli, August und September am größten sind, bis zu -80 % in einzelnen Modellen. Möglicherweise ist hier eine im langjährigen Mittel unauffällige Entwicklung mit zunehmender Bifurkation zwischen sehr nassen und sehr trockenen Sommern denkbar.

	Temperaturänderung Ensemblemittel				Niederschlagsänderung Ensemblemittel			
	RCP4.5		RCP8.5		RCP4.5		RCP8.5	
Zeitraum	2031-2060	2071-2100	2031-2060	2071-2100	2031-2060	2071-2100	2031-2060	2071-2100
Jahr	+0,95 K	+1,58 K	+1,43 K	+3,56 K	+3,3 %	+4,5 %	+1,9 %	+8,3 %
Winter	+1,20 K	+1,67 K	+1,37 K	+3,57 K	+8,4 %	+11,1 %	+14,3 %	+25,3 %
Frühling	+0,87 K	+1,56 K	+1,20 K	+2,80 K	+1,2 %	+10,1 %	+1,2 %	+9,1 %
Sommer	+0,88 K	+1,40 K	+1,61 K	+4,00 K	-0,4 %	-3,5 %	-4,9 %	-9,0 %
Herbst	+0,87 K	+1,66 K	+1,55 K	+3,86 K	+3,8 %	-0,9 %	-3,4 %	+4,3 %
Januar	+1,19 K	+1,74 K	+1,39 K	+3,85 K	+7,2 %	+12,6 %	+12,3 %	+30,9 %
Februar	+0,83 K	+1,38 K	+0,94 K	+3,15 K	+4,9 %	+3,1 %	+13,2 %	+19,3 %
März	+0,99 K	+1,77 K	+1,28 K	+3,14 K	+9,7 %	+13,1 %	+3,2 %	+13,2 %
April	+1,04 K	+1,39 K	+1,25 K	+2,52 K	-3,7 %	+9,0 %	+2,6 %	+9,5 %
Mai	+0,59 K	+1,28 K	+1,06 K	+2,73 K	+0,1 %	+10,2 %	-1,2 %	+6,4 %
Juni	+0,79 K	+1,18 K	+1,23 K	+3,23 K	+3,7 %	+0,7 %	+1,0 %	+5,6 %
Juli	+0,82 K	+1,39 K	+1,67 K	+4,15 K	+3,3 %	+5,0 %	+5,9 %	-7,2 %
August	+1,02 K	+1,62 K	+1,93 K	+4,60 K	-7,7 %	-10,1 %	-20,8 %	-29,8 %
September	+0,91 K	+1,68 K	+1,99 K	+4,36 K	+4,7 %	-4,3 %	-11,0 %	-11,8 %
Oktober	+0,95 K	+1,76 K	+1,47 K	+3,75 K	+4,0 %	+1,9 %	-0,8 %	+9,7 %
November	+0,75 K	+1,55 K	+1,20 K	+3,49 K	+7,3 %	+1,0 %	+1,1 %	+12,0 %
Dezember	+1,54 K	+1,90 K	+1,74 K	+3,71 K	+13,5 %	+16,7 %	+18,0 %	+26,3 %

Hitze

Wie anhand des Anstiegs der mittleren Temperaturen zu erwarten, steigt durch den Klimawandel die Hitzebelastung in der Zukunft weiter an im Vergleich mit der Referenzperiode. Der Anstieg der Tropennächte und Hitzetage ist besonders stark ausgeprägt. Im RCP8.5 könnten gegen Ende des Jahrhunderts bis über 30 Hitzetage pro Jahr und eine ähnliche Anzahl an Tropennächten auftreten. Auch die mittleren und extremen Höchsttemperaturen steigen teilweise sehr deutlich an. Im RCP4.5 ist der Anstieg deutlich weniger stark ausgeprägt und erreicht weniger drastische Werte. Dennoch sind auch in diesem Klimaszenario deutlich heißere Sommer als in der Referenzperiode zu erwarten. Für alle in diesem Steckbrief betrachteten Kenngrößen sind die Änderungssignale in allen Klimaszenarien und Zukunftszeiträumen robust.

	Änderung Ensemblemittel			
	RCP4.5		RCP8.5	
Kenngröße	2031-2060	2071-2100	2031-2060	2071-2100
Anzahl der Sommertage (Tmax ≥ 25°C)	+21,4 %	+37,9 %	+40,6 %	+99,1 %
Anzahl der Hitzetage (Tmax ≥ 30°C)	+41,9 %	+88,4 %	+116,7 %	+319,6 %
Anzahl der Tropennächte (Tmin ≥ 20°C)	+80,9 %	+502,0 %	+253,5 %	+1043,4 %
Mittleres Tmax im Sommer	+0,82 K	+1,29 K	+1,63 K	+4,09 K
Mittleres jährliches Tmax	+1,13 K	+1,80 K	+2,38 K	+5,20 K

Trockenheit

Die Änderung der mittleren Temperaturen und Niederschläge deuten bereits auf längere Vegetationsperioden, nassere Winter aber eher trockenere oder wenig veränderte Niederschläge im Sommer hin. Das hieße, dass Trockenheit aufgrund größerer natürlicher Wasserbedarfe durch längere Vegetationsperioden und höhere Temperaturen nicht hinreichend durch höhere Niederschläge im Winter ausgeglichen würden, da die Wasserbedarfe vor allem im Sommerhalbjahr steigen dürften. Bei der Betrachtung der Anzahl der trockenen Tage fällt auf, dass die mittleren Änderungssignale im Sommer auf mehr trockene Tage hindeuten, während im Frühling eher mehr nasse Tage zu erwarten sind. Die Änderungssignale sind für das RCP8.5 im Sommer sowie das RCP4.5 in der fernen Zukunft robust. Die jährlichen Änderungssignale zeigen weniger starke und nicht robuste Änderungen auf. In der Gesamtschau erscheint unter den Bedingungen des RCP8.5 zumindest in einzelnen Jahren eine sich verschärfende Trockenstresssituation wahrscheinlich und im RCP4.5 in abgeschwächter Weise plausibel. Diese Erkenntnisse werden von der Gesamtschau aus Temperaturanstieg, Niederschlagsänderungen und Änderungen in der Anzahl/Häufigkeit von Niederschlagstagen deutlich.

	Änderung Ensemblemittel			
	RCP4.5		RCP8.5	
Kenngröße	2031-2060	2071-2100	2031-2060	2071-2100
Anzahl der Trockentage mit P < 1 mm pro Jahr	-0,7 %	-0,3 %	+0,5 %	+1,0 %
Anzahl der Trockentage mit P < 1 mm im Frühling	-0,5 %	-2,7 %	-0,5 %	-1,1 %
Anzahl der Trockentage mit P < 1 mm im Sommer	+1,0 %	+2,1 %	+3,8 %	+7,7 %

Starkniederschläge

Im Gegensatz zu den mittleren Niederschlägen sind die Änderungssignale für Starkregen sehr eindeutig und überwiegen robust. Unter den Bedingungen von RCP4.5 und RCP8.5 werden starke Niederschläge insgesamt sowohl häufiger als auch intensiver ausfallen. Dies trifft insbesondere auf kurzzeitige Niederschläge zu und betrifft die intensiveren Ereignisse stärker als schwächere Ereignisse. In der nahen Zukunft sind die Änderungen in beiden Klimaszenarien ähnlich, in der fernen Zukunft verstärkt sich die Zunahme im RCP8.5 deutlicher als im RCP4.5. Vor allem die robuste und im Ensemblemittel sehr deutliche Änderung des maximalen Stundenniederschlags – ein Indikator für die Intensität von erosionsgefährlichen Starkregenereignissen – zeigt die Bedeutung und Intensität der Klimaänderungen im Landkreis Elbe-Elster. Für längere Niederschlagsperioden fällt die Änderung nicht mehr so deutlich aus, ist aber immer noch erheblich und im RCP8.5 auch in allen Zeiträumen robust.

	Änderung Ensemblemittel			
	RCP4.5		RCP8.5	
Kenngröße	2031-2060	2071-2100	2031-2060	2071-2100
Anzahl der Tage mit $P \geq 10$ mm pro Jahr	+9,0 %	+14,4 %	+10,2 %	+28,5 %
Anzahl der Tage mit $P \geq 20$ mm pro Jahr	+20,8 %	+21,5 %	+19,1 %	+50,8 %
Mittlerer maximaler jährlicher Stundenniederschlag	+11,6 %	+21,6 %	+12,0 %	+36,0 %
Mittlerer maximaler jährlicher Tagesniederschlag	+7,4 %	+10,4 %	+4,7 %	+23,5 %
Mittlerer maximaler jährlicher 5-Tages-Niederschlag	+2,2 %	+5,3 %	+2,7 %	+17,7 %

Windklima und Sturmböen

Die Änderungssignale der Anzahl und Intensität von Sturmereignissen ist insgesamt wenig robust, auch wenn die Änderungen durchaus relevante Umfänge annehmen. Insgesamt deuten die Klimaprojektionen an, dass starke Sturmböen eher häufiger auftreten dürften und dabei auch intensiver sein könnten. Die Klimamodelle innerhalb der Ensembles stimmen allerdings nicht in der Intensität und Richtung der Änderungen überein. Dies ist möglicherweise den unterschiedlichen Effekten zuzuordnen, die sich auf die Klimatologie von Sturmereignissen auswirken können. Dazu zählt zum einen die abschwächend wirkende Nordwärtsverlagerung der Zugbahnen der atlantischen Tiefdruckgebiete, die für großräumige Sturmlagen sorgen. Auf der anderen Seite steht bei höheren Temperaturen mehr Energie durch höhere Verdunstung aus dem Atlantik bereit, was verstärkend auf intensivere Ereignisse wirken könnte. Letztendlich ist die Intensität und Häufigkeit von Sturmtiefs auch immer dekadischen Variabilitäten, der Ausprägung der Meeresströmungen im Nordatlantik

und der Position der Polarfront ausgesetzt. Alle diese Faktoren unterliegen z.B. durch die Abschwächung der Nordatlantischen Zirkulation, die ein mögliches Klimakippelement darstellt, einer hohen Ungewissheit, die in den Daten zum Ausdruck kommt. Dennoch kann gesagt werden, dass durch die Kombination aus zunehmender Trocken- und Hitzeschädigung der heimischen Vegetation ein steigendes Schadenspotential durch Windwurf entsteht, da der Schwellenwert für Windwurf bei vorgeschädigten Pflanzen abgesenkt wird.

	Änderung Ensemblemittel			
	RCP4.5		RCP8.5	
Kenngröße	2031-2060	2071-2100	2031-2060	2071-2100
Anzahl der Tage mit Windböen Stärke 8 oder mehr pro Jahr	+1,7 %	+2,3 %	-0,3 %	+1,8 %
Anzahl der Tage mit Windböen Stärke 9 oder mehr pro Jahr	+3,9 %	+7,0 %	-6,8 %	+8,8 %
Mittlere maximale jährliche Windböe	+1,6 %	+1,1 %	+1,9 %	+0,5 %

Schneefall und Frost

Die Entwicklungen bei Schnee und Frost folgen den Entwicklungen der Temperaturen: mit milderem Winter wird es weniger Frost und weniger Schneedecken geben. Auch die als Schnee fallenden Niederschläge werden deutlich abnehmen. Eine Ausnahme bilden möglicherweise (siehe Klimasignal im RCP8.5 in der nahen Zukunft) die maximalen Schneefallmengen an einzelnen Tagen, wo die Kombination von milderem und nasserem Winter dafür sorgt, dass die maximale Schneefallmenge insgesamt weniger oder kaum abnimmt. Dies ist insbesondere auffällig im Vergleich zu den anderen winterlichen Witterungsparametern, die eine robuste Erwärmung zeigen. Das RCP8.5 zeigt stärkere Erwärmungsraten und daher einen stärkeren Rückgang von Frost und Schneedecken an. Die extremen Tiefsttemperaturen steigen deutlicher als die mittleren Wintertemperaturen.

	Änderung Ensemblemittel			
	RCP4.5		RCP8.5	
Kenngröße	2031-2060	2071-2100	2031-2060	2071-2100
Anzahl der Frosttage (Tmin < 0°C)	-20,9 %	-30,1 %	-26,2 %	-61,8 %
Anzahl der Eistage (Tmax < 0°C)	-31,1 %	-39,4 %	-30,5 %	-73,4 %
Anzahl der strengen Frosttage (Tmin < -10°C)	-45,8 %	-57,5 %	-55,3 %	-81,2 %
Mittleres Jährliches Tmin	+3,3 K	+3,25 K	+3,33 K	+7,67 K

	Änderung Ensemblemittel			
	RCP4.5		RCP8.5	
Kenngröße	2031-2060	2071-2100	2031-2060	2071-2100
Mittlere jährliche Schneefallmenge	-22,5 %	-32,5 %	-22,8 %	-49,2 %
Mittlere maximale tägliche Schneefallmenge	-12,2 %	-13,0 %	+0,7 %	-33,7 %
Mittlere maximale jährliche Schneedeckenhöhe	-27,2 %	-28,9 %	-27,7 %	-62,0 %
Anzahl der Tage mit Schneefall	-20,1 %	-32,8 %	-25,5 %	-51,9 %
Anzahl der Tage mit Schneedecke	-24,2 %	-29,4 %	-29,9 %	-69,0 %

Konvektive Extremwettererscheinungen

Alle untersuchten konvektiven Parameter zeigen in allen Klimaszenarien eine robuste und sehr deutliche Verschärfung der konvektiven Rahmenbedingungen. Das heißt, dass in allen Klimaszenarien eine proportional zur mittleren Erwärmung der Sommermonate steigende Erhöhung der Häufigkeit und der Intensität der verfügbaren konvektiven Energie und Wasserdampfgehalt zu erwarten ist. Wie die Änderungssignale zur Anzahl der trockenen Tage und der Starkregenindikatoren zeigen, bedeutet dies, dass an weniger Tagen wahrscheinlich wesentlich heftigere Starkregen-, Hagel-, und Sturmerscheinungen im Zusammenhang mit sommerlicher Konvektion zu erwarten sind, darunter möglicherweise auch Tornados. Die Klimamodelle sind aufgrund ihrer groben Auflösung nicht in der Lage, die Intensität und das Auftreten von konvektiven Unwettern besonders gut abzubilden. Allerdings kann die hier durchgeführte Analyse der wesentlichen Umgebungsbedingungen für heftige Konvektion sehr wohl valide Schlussfolgerungen auf der Basis gröber aufgelöster Daten liefern, da die Rahmenbedingungen von Konvektion großräumig gegeben sind im Falle konvektiver Wetterlagen.

	Änderung Ensemblemittel			
	RCP4.5		RCP8.5	
Kenngröße	2031-2060	2071-2100	2031-2060	2071-2100
Anzahl der Tage mit schwerem Konvektionspotential ¹¹	+89,4 %	+230,5 %	+190,9 %	+663,4 %
Anzahl der Tage mit PWAT >= 25 mm	+47,4 %	+80,0 %	+54,2 %	+149,3 %

¹¹ Dieser Indikator gewichtet für Konvektion günstige Umgebungsbedingungen wie vertikale Windscherung, labile Schichtung, hohe Feuchte und Temperaturen in der unteren Troposphäre. Der Schwellenwert bezieht sich auf die Verknüpfung mit Versicherungsdaten zu Schäden durch Hagel/Sturm oder Starkregen im Sommerhalbjahr.

	Änderung Ensemblemittel			
	RCP4.5		RCP8.5	
Kenngröße	2031-2060	2071-2100	2031-2060	2071-2100
Mittleres jährliches Maximum des PWAT	+6,7 %	+10,9 %	+11,5 %	+24,8 %

Zusammenfassung

Das aktuelle Klima im Landkreis Elbe-Elster ist warm-gemäßigt und geprägt von eher geringen Jahresniederschlägen, vergleichsweise milden Wintern und warmen Sommern. Niederschläge sind im Sommer etwas stärker als im Winter und Frühling. Starkniederschläge und Sturmböen ebenso wie konvektive Wettererscheinungen treten gelegentlich auf. Der bisherige Klimawandel der letzten 30 Jahren hat das vormals nahezu kontinentale Klima bereits deutlich erwärmt, im Mittel um +1,1 K. Bei den Niederschlägen hat sich die Gesamtsumme kaum verändert, einzelne Monate sind jedoch deutlich trockener (April) oder nasser geworden (Juli), ohne dass diese Trends sich in Zukunft fortsetzen müssen. Trockenheit hat durch höhere Temperaturen, längere Vegetationsperioden und dadurch gesteigerten Wasserbedarfe ebenso wie längere Trockenphasen und häufigere Trockentage an Relevanz für Klima und Landschaft im Landkreis elbe-Elster gewonnen. Gleichzeitig haben Starkniederschläge und konvektive Wettererscheinungen ebenfalls in Intensität zugenommen. Der Klimawandel hat dazu geführt, dass Schneefälle und anhaltende Frostperioden seltener und schwächer geworden sind.

Unter der Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5 dürften sich die identifizierten klimatischen Trends der letzten 30 Jahre, also Erwärmung, nassere Winter, mehr Trockenphasen, stärkere Starkniederschläge und Konvektion sowie mildere und schneeärmere Winter weiter fortsetzen und zu weiteren deutlichen Änderungen im Klima führen. Bedeutung der identifizierten Kaltluftentstehungsgebiete nimmt vor dem Hintergrund steigender Temperaturen weiter zu.

Zusammenfassung und Fazit

Der vorliegende Fachbeitrag zeigt deutlich, dass sich das Klima im Landkreis Elbe-Elster bereits spürbar verändert hat und sich diese Entwicklung in Zukunft fortsetzen wird. Neben einer signifikanten Temperaturerhöhung seit 1961 wurden insbesondere ein Anstieg von Hitzetagen und Tropennächten, eine Verlängerung der Vegetationsperiode sowie eine Intensivierung von Starkniederschlägen festgestellt. Zukünftige Klimaszenarien deuten auf eine Verschärfung dieser Entwicklungen hin, insbesondere im Falle des RCP8.5-Szenarios.

Die Modellierung der Kaltluftentstehung im Landkreis zeigt, dass trotz großflächiger Potenziale eine geringe Leitfähigkeit besteht, was die lokale Wirksamkeit einschränkt. Gleichzeitig sind Siedlungsbereiche im Landkreis bislang relativ gering von Überwärmung betroffen – eine Chance, um klimaresiliente Strukturen gezielt zu fördern. Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse die Notwendigkeit, Klimafolgen in der Landschaftsplanung systematisch zu berücksichtigen, um Risiken zu minimieren und Anpassungspotenziale auszuschöpfen.

Diskussion der Ergebnisse

Die Analyse macht deutlich, dass die Landschaft im Landkreis Elbe-Elster vergleichsweise günstige Ausgangsbedingungen für eine klimaangepasste Entwicklung bietet, etwa durch eine geringe Siedlungsdichte und große naturnahe Flächen sowie geringe Risiken durch Sturzfluten und Erosion aufgrund fehlender topographischer Ausprägung (Mittelgebirge). Dennoch existieren relevante Herausforderungen: Die nächtliche Kaltluftproduktion ist durch geringe topographische Unterschiede nur bedingt in der Lage, siedlungsnahe Bereiche effektiv zu entwärmen. Gleichzeitig zeigt sich eine zunehmende Belastung durch Hitze und Trockenheit, die insbesondere die Landwirtschaft, die Forstwirtschaft sowie die Biodiversität betreffen dürften. Ökosysteme könnten auch durch die Einwanderung von wärmeliebenden Arten zusätzlich unter Stress geraten. Auch die Gefahr von Starkregenereignissen und konvektiven Extremwetterlagen nimmt zu. Die Analyse hebt hervor, dass viele Prozesse kleinräumig wirken, aber im Rahmen einer großräumigen Landschaftsplanung frühzeitig berücksichtigt werden müssen. Zudem bestätigen die Ergebnisse die Bedeutung kombinierter Maßnahmen – technischer, planerischer und ökologischer Art – um der zunehmenden Klimadynamik wirksam zu begegnen.

Ableitung von Handlungsempfehlungen

Aus den Erkenntnissen der Untersuchung lassen sich für die Landschaftsrahmenplanung und darüber hinaus folgende Handlungsempfehlungen ableiten:

- Erhalt und Entwicklung von Kaltluftentstehungsflächen: Besonders siedlungsnahe Kaltluftentstehungsgebiete sind gezielt zu schützen und durch planerische Maßnahmen zu sichern. Neue Siedlungsentwicklungen sollten Kaltluftleitbahnen nicht unterbrechen.
- Förderung klimastabiler Vegetation: Die Vitalität der Vegetation ist zentral für die Kühlleistung der Landschaft. Maßnahmen zur Förderung klimaresilienter Wälder, Heiden und Agrarlandschaften sollten priorisiert werden.

- Integration von Entwärmungsstrukturen in Siedlungsräume: In urbanen und suburbanen Bereichen sind grüne und blaue Infrastrukturen (z. B. Parks, Wasserflächen, Dach- und Fassadenbegrünung) zu fördern, um Hitzebelastung lokal zu reduzieren.
- Berücksichtigung zukünftiger Klimaextreme in Planungen: Die zunehmende Häufigkeit von Starkregen und Trockenperioden sollte in Bauleitplanung, Wassermanagement und Infrastrukturentwicklung systematisch einfließen.
- Stärkung der interkommunalen Kooperation: Klimaanpassung wirkt über kommunale Grenzen hinweg. Eine gemeinsame Koordination zur Nutzung von Kaltluftentstehungsgebieten und zur Sicherung ökologischer Verbundachsen innerhalb der Kommunen des Landkreises eröffnet Chancen auf höhere Wirkungsgrade der Maßnahmen.

Zusammenfassung der Kernergebnisse

- Das Klima im Landkreis Elbe-Elster hat sich bereits deutlich erwärmt; zukünftige Szenarien zeigen eine Verschärfung dieser Trends.
- Hitzetage, Tropennächte und Trockenperioden nehmen zu, ebenso die Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen.
- Kaltluftentstehung erfolgt vorrangig in großflächigen Heide- und Waldgebieten, deren kühlende Wirkung durch geringe topographische Unterschiede jedoch räumlich begrenzt bleibt.
- Siedlungsbereiche zeigen bislang eine vergleichsweise geringe Überwärmung, was Chancen für präventive Maßnahmen zur Klimaanpassung eröffnet.