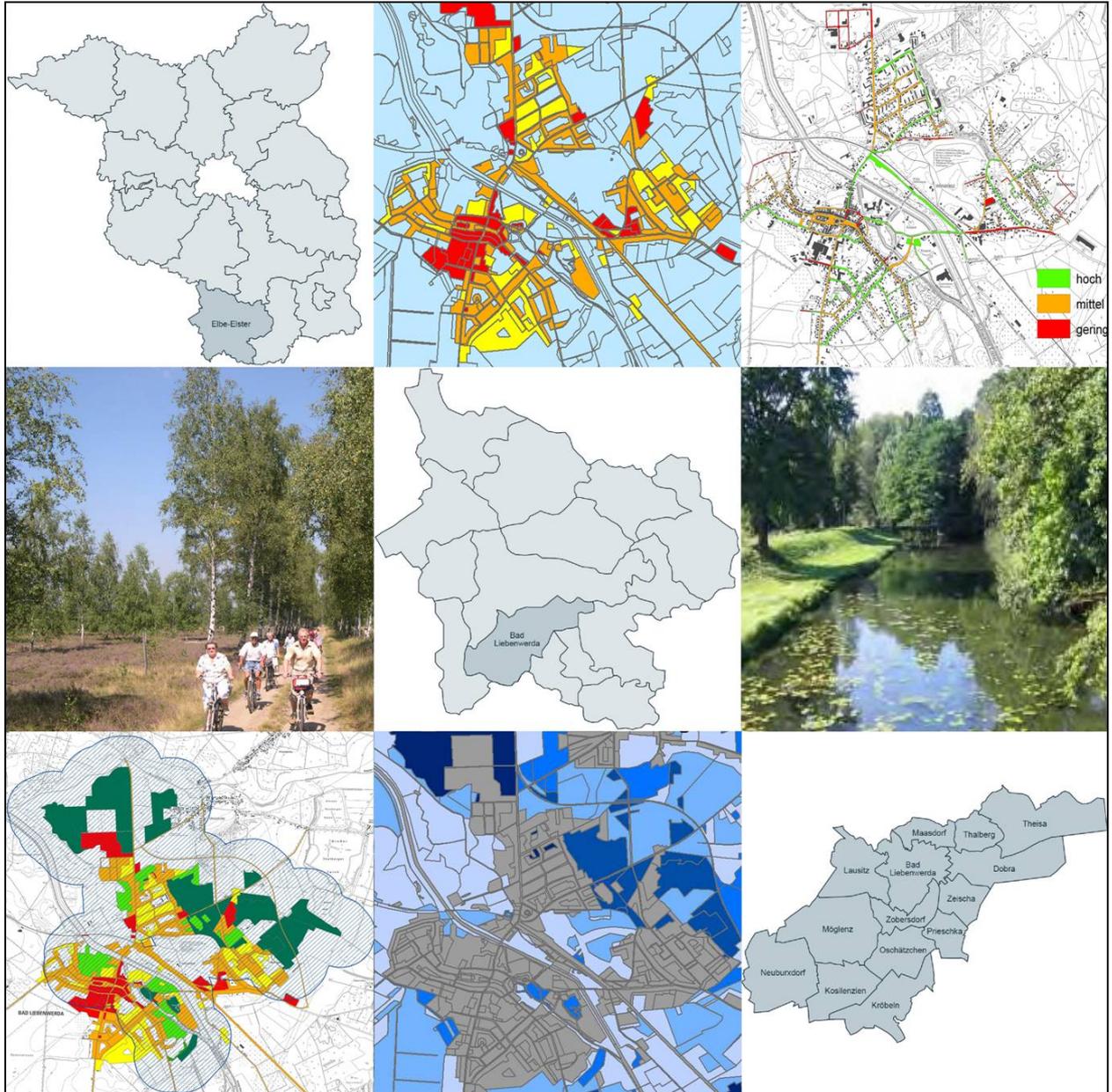


Bad Liebenwerda

Studie zur lokalen Betroffenheit durch potentielle Folgen des Klimawandels



"Das Projekt der Stadt Bad Liebenwerda ist ein Modellvorhaben des Experimentellen Wohnungs- und Städtebaus (ExWoSt) im Forschungsfeld "Urbane Strategien zum Klimawandel – Kommunale Strategien und Potenziale" des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)/Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)"

Impressum

Auftraggeber:



Stadt Bad Liebenwerda
Der Bürgermeister
Markt 1
04924 Bad Liebenwerda

Auftragnehmer:



Fugmann Janotta
Landschaftsarchitektur und Landschaftsentwicklung BDLA
Belziger Straße 25
10823 Berlin

Bearbeitung:
Martin Janotta
Tilman Schulz

In Kooperation mit:

Sven Rannow
Ermelstr. 8
01277 Dresden

ExWoSt Förderung:



Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Dienstgebäude (Hauptsitz)
Invalidenstraße 44
10115 Berlin

und



Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für
Bauwesen und Raumordnung
Fasanenstraße 87
10623 Berlin

Fertigstellung: Dezember 2010

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Was versteht man unter der Betroffenheit durch mögliche Wirkfolgen des Klimawandels	1
1.2	Was ist die Anfälligkeit gegenüber möglichen Wirkfolgen des Klimawandels?	2
1.3	Was versteht man unter der Verwundbarkeit durch mögliche Wirkfolge des Klimawandels?	2
2	Vorgehen der Studie zur lokalen Betroffenheit	3
3	Bad Liebenwerda im Klimawandel	5
3.1	Die aktuelle klimatische Situation in Bad Liebenwerda	5
3.1.1	Beschreibung der Normalperiode 1961-1990	5
3.2	Die klimatischen Veränderungen in Bad Liebenwerda	7
3.2.1	Gemessene Veränderungen des Klimas	7
3.2.2	Szenarien möglicher klimatischer Entwicklungen	9
3.2.3	Der Umgang mit Unsicherheit in den Klimaprojektionen	9
3.2.4	Die Auswertung von regionalen Klimamodellen	11
3.3	Mögliche Wirkfolgen des Klimawandels in Bad Liebenwerda	19
3.3.1	Bisherige Erkenntnisse über mögliche Wirkfolgen des Klimawandels in Bad Liebenwerda	20
3.3.2	Zusammenfassung der möglichen Wirkfolgen des Klimawandels in Bad Liebenwerda	27
4	Untersuchung der räumlichen Anfälligkeit gegenüber möglicher Wirkfolgen	33
4.1	Auswahl der Wirkfolgen für die Analyse der räumlichen Anfälligkeit	33
4.2	Analyse der Räumlichen Anfälligkeit	34
4.2.1	Sinkender thermischer Komfort	34
4.2.2	Sinkende Wasserverfügbarkeit im Sommer	40
4.2.3	Veränderte Ansprüche an die Ausgestaltung von Freiflächen	50
4.2.4	Veränderung der Eignung von Pflanzen	55
4.2.5	Steigender Bedarf an Frisch- und Kaltluftentstehungsgebieten	60
4.2.6	Veränderte Häufigkeit und Höhe von Hochwässern	65
5	Darstellung der Betroffenheit und des Anpassungsbedarfs	67
5.1	Methodik für die Ermittlung der Betroffenheit	67
5.2	Potentielle Betroffenheit durch die untersuchten Wirkfolgen	68
5.2.1	Sinkender thermischer Komfort	68

5.2.2	Sinkende Wasserverfügbarkeit im Sommer	69
5.2.3	Veränderte Ansprüche an die Ausgestaltung von Freiflächen	72
5.2.4	Veränderung der Eignung von Pflanzen	73
5.2.5	Steigender Bedarf an Frisch- und Kaltluftentstehungsgebieten	74
6	Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse	76
7	Literatur	78

Abbildungen

Abbildung 2: Klimadiagramm für die Normalperiode 1961-1990 gemessen an der Station Doberlug-Kirchhain (Quelle DWD 2010)	6
Abbildung 3: Klimadiagramm für die Normalperiode 1961-1990 gemessen an der Station Torgau (Quelle DWD 2010)	6
Abbildung 4: Jahreszeitliche Temperatur-Trendkarte der gemessenen Temperaturveränderung zwischen 1901 und 2000 für Deutschland (Die in den Karten angegeben Maßeinheit K (Kelvin) ist identisch mit °C) (Schönwiese und Janoschitz 2008, S.21).	7
Abbildung 5: Jahreszeitliche Niederschlags-Trendkarte der gemessenen Veränderung im Niederschlag zwischen 1901 und 2000 für Deutschland (gelb Abnahme, grün-blau Zunahme) (Schönwiese und Janoschitz 2008, S.23)	8
Abbildung 6: Vereinfachte Darstellung des Downscaling-Verfahrens für regionale Klimaprojektionen (LUA 2010, S.15)	10
Abbildung 7: Entwicklung der Unsicherheit bei der Modellierung lokaler Folgen des Klimawandels (nach Jones 2000, S.407)	10
Abbildung 8: Vergleich der Projektionen verschiedener Klimamodelle für die Veränderung der Niederschlagssumme im meteorologischen Sommer zwischen dem Zeitraum 1971-2000 und 2031-2060 (LUA 2010, S. 105)	12
Abbildung 9: Jahresreihen der klimatischen Wasserbilanz nach verschiedenen Modellläufen des regionalen Klimamodells STAR für das Einzugsgebiet der Schwarzen Elster (Wechsung et al. 2005, S. 31)	23
Abbildung 10: Projizierte Änderungen der mittleren Erträge für Weizen (links) und Mais (rechts) im Vergleich zwischen 1991-2000 und 2046-2055, auf Grundlage des Szenarios A1B und dem regionalen Klimamodell STAR (Wechsung et al. 2005, S. 161)	25
Abbildung 11: Änderung der Waldbrandgefährdung durch das klimatische Feuerrisiko für das Szenario A1B des regionalen Klimamodells STAR (Badeck et al. 2004, S. 3)	26
Abbildung 12: Darstellung des mittleren verfügbaren Bodenwassers für die Periode 1961-1990 (a); Unterschied des verfügbaren Bodenwassers zwischen 1961-1990 und dem trockensten Jahr 2003 (b); mögliche Veränderung des verfügbaren Bodenwassers zwischen 1961-1990 und 2046-2005 nach einem feuchten Szenario (c) und einem trockenen Szenario (d) des regionalen Klimamodells STAR (Holsten et al. 2009, S. 2081)	27
Abbildung 13: Thermische Belastung im Siedlungsbereich	37
Abbildung 14: Thermische Belastung Bad Liebenwerdas mit Oaseneffekt	38
Abbildung 15: Thermische Belastung der Wander- und Radwanderwege	39
Abbildung 16: Grundwasserzehrung	46
Abbildung 17: Wahrscheinlichkeit eines Trockenfallens der Gewässer	47
Abbildung 18: Gefahr einer reduzierten Bodenwasserversorgung von Ackerflächen	48
Abbildung 19: Anfälligkeit der geschützten Biotop gegenüber einem reduzierten Wasserdargebot	49
Abbildung 20: Thermischer Komfort der Straßen und Wege in Bad Liebenwerda	53
Abbildung 21: Anfälligkeit der Parkanlagen und des Marktplatzes in Bad Liebenwerda gegenüber einem sinkenden thermischen Komfort	54
Abbildung 22: Hauptbaumarten und ihre Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel in Abhängigkeit von den Feuchteverhältnissen der Standorte	59
Abbildung 23: Durchschnittliche Windrichtungsverteilung der Messstation Bad Liebenwerda Zeitraum 2000 – 2008 (ohne 2004)	62

Abbildung 24: Klimafunktionskarte Bad Liebenwerda	64
Abbildung 25: Digitales Geländemodell der Stadt Bad Liebenwerda und Umgebung	65
Abbildung 26: Hochwassergefährdung der Ortsteile Bad Liebenwerdas	66

Tabellen

Tabelle 1: Auswertung der Veränderungen ausgewählter Parameter zwischen 1971-2000 und 2031-2060 in Szenario A1B für Bad Liebenwerda	13
Tabelle 2: Auswertung der Veränderungen ausgewählter Parameter zwischen 1961-1990 und 2031-2060 in Szenario B1 für Bad Liebenwerda	15
Tabelle 3: Auswertung der Veränderungen ausgewählter Parameter zwischen 1961-1990 und 2031-2060 in Szenario A1B für Bad Liebenwerda	15
Tabelle 4: Auswertung der Veränderungen ausgewählter Parameter zwischen 1961-1990 und 2031-2060 in Szenario A2 für Bad Liebenwerda	16
Tabelle 5: Spannweite der Veränderungen ausgewählter Parameter zwischen 1961-1990 und 2031-2060 über die Szenarien B1, A1B und A2 in den Modellen REMO und CLM (jeweils Lauf 1 und 2)	16
Tabelle 6: Liste der in der MORO-Vorstudie analysierten Wirkfolgen des Klimawandels (BMVBS/BBR 2008, S.3)	21
Tabelle 7: Übersicht über mögliche Wirkfolgen des Klimawandels und bestehenden Einschätzungen zu ihrer Relevanz für Bad Liebenwerda	28
Tabelle 8: Einstufung der thermischen Belastung anhand des Versiegelungsgrades	35
Tabelle 9: Einstufung der thermischen Belastung aufgrund von Nutzung und Versiegelung	35
Tabelle 10: Beschattungswirksamkeit in Abhängigkeit von der räumlichen Lage	36
Tabelle 11: Nutzungsabhängige Grundwasserzehrung in Abhängigkeit von der potentiellen Grundwasserneubildung	42
Tabelle 12: Austrocknungsgefährdung von Gewässern in Abhängigkeit vom Gewässertyp und der Hydromorphie	42
Tabelle 13: Gefahr einer reduzierten Bodenwasserversorgung von Ackerflächen in Abhängigkeit von der Hydromorphie	43
Tabelle 14: Geschützte Biotope im Gemeindegebiet und ihre Ansprüche an die Standortfeuchte	43
Tabelle 15: Biotopanfälligkeit durch ein reduziertes Wasserdargebot in Abhängigkeit von den Ansprüchen der Biotope an die Wasserversorgung und den Hydromorphieverhältnissen	45
Tabelle 16: KlimaArtenMatrix für die im Gemeindegebiet vorkommenden Hauptwaldbaumarten	56
Tabelle 17: In Brandenburg natürlich vorkommende Gehölze und ihre Tauglichkeit gegenüber dem Klimawandel	57
Tabelle 18: Luftschadstoff-Immissionen an der Station Elsterwerda	62
Tabelle 19: SWOT Tabelle „sinkender thermischer Komfort“	68
Tabelle 20: SWOT Tabelle „sinkende Wasserverfügbarkeit im Sommer“ - Trinkwasser	69
Tabelle 21: SWOT Tabelle „sinkende Wasserverfügbarkeit im Sommer“ - Betriebswasser	69
Tabelle 22: SWOT Tabelle „sinkende Wasserverfügbarkeit im Sommer“ - Ackerkulturen	70
Tabelle 23: SWOT Tabelle „sinkende Wasserverfügbarkeit im Sommer“ - Biotope	71
Tabelle 24: SWOT Tabelle „veränderte Ansprüche an die Ausgestaltung von Freiflächen“ - Straßen und Wege	72

Tabelle 25:	SWOT Tabelle „veränderte Ansprüche an die Ausgestaltung von Freiflächen“ - Parkanlagen, öffentliche Plätze	73
Tabelle 26:	SWOT Tabelle „Veränderung der Eignung von Pflanzen“ - Forstwirtschaft	73
Tabelle 27:	SWOT Tabelle „steigender Bedarf an Frisch- und Kaltluftentstehungsgebieten“	74
Tabelle 28:	Zusammenfassung der Betroffenheitsanalyse	76

1 Einleitung

Die Stadt Bad Liebenwerda ist im Rahmen des ExWoSt-Vorhabens „Urbane Strategien zum Klimawandel - Kommunale Strategien und Potenziale“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) als Modellraum ausgewählt worden. Das ExWoSt-Modellvorhaben zielt darauf ab, eine klimawandelgerechte Stadtentwicklung primär durch integrierte Ansätze zur Anpassung an den Klimawandel mittels planerischer Vorsorge in Stadt und Stadtregion zu verwirklichen. In den neun bundesweiten ExWoSt-Modellräumen sollen vor Ort entsprechende stadregionale Strategien und Aktionen erarbeitet und umgesetzt werden.

Die Stadt Bad Liebenwerda hat in ihrem ExWoSt-Beitrag „Bad Liebenwerda – eine Stadt zum Wohlfühlen im Klimawandel“ den Fokus der lokalen Betrachtung auf die dauerhafte Sicherung von gesunden Lebensbedingungen in der Stadt und in ihren Ortsteilen gelegt.

Durch den traditionellen Kurbetrieb sind die Aspekte menschliche Gesundheit und Erholung in Bad Liebenwerda eng miteinander verknüpft. Die Aufenthaltsqualität des Grün-, Frei- und Landschaftsraumes und der klimatische Komfort sind eine der wirtschaftlichen Grundlagen der Stadt. Neben den Wohlbefinden der Gäste sollen im ExWoSt-Projekt aber auch die Wirkung des Klimawandels auf die Wohnqualität für die einheimische Bevölkerung (insb. in der Innenstadt) und auf die Landwirtschaft betrachtet werden. Die Bedeutung des Themas Lebensqualität wird durch den Titel des ExWoSt-Beitrages „Bad Liebenwerda – eine Stadt zum Wohlfühlen im Klimawandel“ klar hervorgehoben. Grundsätzlich soll die kommunale Anpassungsstrategie auch einen ökonomischen Mehrwert generieren, um auf diese Weise eine entsprechende Unterstützung für die Vorhaben zu erhalten. Insbesondere die Bereiche Kurortentwicklung, Tourismus und Gesundheit, aber auch die Landwirtschaft sollen von den Maßnahmen profitieren.

Im Rahmen des ExWoSt-Beitrages wurde das Büro Fugmann Janotta in Kooperation mit Sven Rannow beauftragt, die vorliegende Studie zu erstellen. Durch diese Studie zur lokalen Betroffenheit soll die inhaltliche Grundlage für das Gesamtprojekt erarbeitet werden. In der Studie ist zu klären, welche Wirkungen der Klimawandel auf das Stadtgebiet der Stadt Bad Liebenwerda haben wird und wie sich die Anpassungskapazität des Raumes darstellt.

Die Betroffenheit der Stadt Bad Liebenwerda bezüglich der potentiellen Auswirkungen des Klimawandels definiert sich sowohl durch schleichende und abrupte Veränderungen klimatischer Parameter. Es sollen differenzierte Aussagen entsprechend der in der ExWoSt-Vorstudie „Klimawandelgerechte Stadtentwicklung – Ursachen und Folgen des Klimawandels durch urbane Konzepte begegnen“ definierten Wirkfolgen für die einzelnen Teilräume des Stadtgebietes getroffen werden.

Wissenschaftliche Aussagen zum Klimawandel und seinen (insbesondere regionalen) Folgen sind – und das werden sie auch in Zukunft bleiben – stets mit einem hohen Unsicherheitsfaktor belegt. Unsicherheit wird hier also zu einem beherrschenden Element in Entscheidungsprozessen zum Umgang mit neuen Risiken dieser Art. Komplexität und Unsicherheit stellen Entscheidungsträger vor besondere Schwierigkeiten, da die Folgen von Entscheidungen nur sehr schwer oder gar nicht abzuschätzen sind. Die Studie soll dazu beitragen, in der Bevölkerung eine Sensibilität für das Thema herbeizuführen und die Grundlage für die Akzeptanz und die Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel zu schaffen.

1.1 Was versteht man unter der Betroffenheit durch mögliche Wirkfolgen des Klimawandels?

Die Betroffenheit beschreibt die zu erwartenden negativen Folgen, die durch den Klimawandel und seine Wirkfolgen in einem Mensch-Umwelt-System wie z.B. einer Stadt ausgelöst werden. Sie ist sowohl von Veränderungen im lokalen respektive regionalen Klima als auch von vielen anderen Faktoren abhängig. Die Veränderung der klimatischen Parameter wie Temperatur und Niederschlag sind nur ein Aspekt. Sie können innerhalb eines komplizierten sozio-ökonomischen Geflechtes wie einer Stadt sehr unterschiedliche Wirkungen entfalten. Je nachdem welche Voraussetzungen Raum und Gesellschaft mit sich bringen, können einzelne Veränderungen kaum bemerkbar sein oder zu erheblichen gar katastrophalen Schäden führen. Die Betroffenheit durch den Klimawandel ist also in vielerlei Hinsicht ein soziales Produkt, denn sie beschreibt nicht nur die rein physikalischen Folgen sondern umfasst auch die Faktoren und Prozesse, die die Schadenshöhe in ökonomischer und sozialer Hinsicht bestimmen.

1.2 Was ist die Anfälligkeit gegenüber möglichen Wirkfolgen des Klimawandels?

Die lokalen Gegebenheiten und Prozesse, die die Wirkung und das Ausmaß von Klimafolgen mitbestimmen werden als Anfälligkeit oder Empfindlichkeit (engl. sensitivity) eines Gebietes gegenüber den Wirkfolgen des Klimawandels bezeichnet. Das Maß der Anfälligkeit wird durch lokale Gegebenheiten definiert. So weisen z.B. dicht bebaute Räume durch die Konzentration von Vermögenswerten, Einrichtungen und empfindlichen Personen meist eine höhere Anfälligkeit gegenüber den Wirkfolgen des Klimawandels auf als ländliche Regionen. Die Anfälligkeit kann sich auch auf kleinstem Raum stark unterscheiden. Sie bietet daher einen guten Ansatzpunkt zur räumlichen Differenzierung der Betroffenheit und kann mit Hilfe von Indikatoren aus den vorhandenen Strukturen abgelesen werden. Im Gegensatz zu den Projektionen möglicher Veränderungen des Klimas beruht die Anfälligkeit auf einer Bewertung der Ist-Situation. Die Bestimmung der Anfälligkeit ist daher mit deutlich weniger Unsicherheiten verbunden, als die Bestimmung lokaler Klimaveränderungen.

1.3 Was versteht man unter der Verwundbarkeit durch mögliche Wirkfolgen des Klimawandels?

Als weiterer Schwerpunkt bei der Betrachtung der Auswirkungen des Klimawandels kann man der Frage nachgehen, wie gut eine Gesellschaft auf unerwünschte Ereignisse vorbereitet ist (z.B. durch Warnsysteme), wie groß die Kapazitäten zur Beseitigung von Schäden sind (z.B. durch Versicherungen) oder wie stark der Wille zur Anpassung an neue Bedingungen und Herausforderungen ist (z.B. durch Strukturwandel). Die Summe dieser Faktoren wird als Anpassungsfähigkeit oder –kapazität bezeichnet.

Berücksichtigt man neben der Betroffenheit auch diese Anpassungsfähigkeit oder –kapazität, so wird von einer Einschätzung der Verwundbarkeit oder Vulnerabilität gesprochen. Der IPCC definiert den Begriff daher folgendermaßen: „Die Vulnerabilität leitet sich ab aus dem Charakter, der Größenordnung und der Geschwindigkeit der Klimaänderung und –abweichung, der ein System ausgesetzt ist, ebenso wie der Empfindlichkeit und Anpassungskapazität dieses Systems“ (IPCC 2007, S.38).

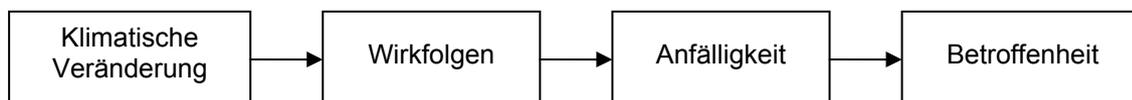
Ist eine Region wegen eines hohen Anteils sandiger Böden und großer Waldflächen anfällig für Waldbrände und liegt eine hohe Wahrscheinlichkeit für eine Zunahme von langen Trockenperioden im Sommer vor, so kann von einer starken Betroffenheit durch häufigere Waldbrände ausgegangen werden. Neben der Dauer der Trockenperiode und den naturräumlichen Voraussetzungen (z.B. die Wasserspeicherkapazität des Bodens) beeinflusst auch die Anpassungsfähigkeit der Region (z.B. das Vorhandensein von Ressourcen zum Aufbau von Brandschutzeinrichtungen) die Stärke der regionalen Verwundbarkeit.

2 Vorgehen der Studie zur lokalen Betroffenheit

Um die Betroffenheit durch mögliche Folgen des Klimawandels erfassen zu können, wurden in den letzten Jahren verschiedene Herangehensweisen entwickelt. Sie beruhen im Kern auf der Zerlegung der Klimaveränderung und ihrer Wirkung in einzelne Komponenten. Dazu zählt zum einen die Betrachtung der möglichen klimatischen Veränderungen (der so genannten Exposition) zum anderen die der Voraussetzungen, die ein Untersuchungsgegenstand mitbringt. Diese Voraussetzungen (z.B. Standort, Vorbelastungen etc.) entscheiden darüber, wie anfällig ein Untersuchungsgegenstand gegenüber den klimatischen Veränderungen ist. Der Vergleich aus Exposition und Anfälligkeit erlaubt eine Einschätzung der Betroffenheit und des Handlungsbedarfes. Da das Klima eine Vielzahl von Effekten auf die Gesellschaft und ihre Umwelt hat, können die Folgen die langsame Veränderung von Klimaparametern wie Temperatur, Niederschlag und Wind oder das Auftreten von Extremereignissen unzählige Folgen haben. Möglich sind z.B. eine Verschlechterung des Innenraumklimas in Gebäuden aufgrund von längeren Hitzebelastungen, die Beeinträchtigung von Infrastruktureinrichtungen durch häufigere Starkregenereignisse, die Korrosion von Kanalbauteilen in der Mischwasserkanalisation während längerer Trockenperioden oder Schäden an Gebäuden durch steigende Grundwasserstände. Die Anfälligkeit gegenüber den Folgen wird durch sehr unterschiedliche Voraussetzungen bestimmt. Um den Handlungsbedarf möglichst genau zu erfassen und geeignete Anpassungsmaßnahmen entwickeln zu können, muss die Betroffenheit für einzelne Folgen getrennt untersucht werden. Diese Folgen, die als relevant für die Beurteilung der Betroffenheit erachtet werden, können als Wirkfolgen bezeichnet werden.

Im Rahmen der Studie zur lokalen Betroffenheit von Bad Liebenwerda soll dem generellen Vorgehen gefolgt werden und die einzelnen Komponenten der Betroffenheit schrittweise betrachtet werden. Dafür gilt es, zunächst die möglichen Veränderungen der klimatischen Gesamtsituation zu erfassen. Im zweiten Schritt werden die Folgen, die diese Veränderungen verursachen können, dargestellt. Aufbauend auf diesem Überblick können die für die Aufgabenstellung und die lokale Situation relevanten Wirkfolgen identifiziert werden. Sie bilden die Grundlage für die Analyse der Anfälligkeit (Sensitivität). Ein Vergleich aus Exposition und Anfälligkeit ermöglicht eine Differenzierung in der Betroffenheit zwischen einzelnen Teilräumen.

Abbildung 1: Die einzelnen Schritte im Vorgehen der Betroffenheitsstudie für Bad Liebenwerda



Das Vorgehen der Expertise besteht daher aus den folgenden Bausteinen:

1. Darstellung der potentiellen klimatischen Veränderungen in Bad Liebenwerda
2. Identifikation relevanter Wirkfolgen
3. Untersuchung der räumlichen Anfälligkeit gegenüber den Wirkfolgen
4. Darstellung der Betroffenheit und des Anpassungsbedarfes einzelner Teilräume

Die Arbeitsschritte im Einzelnen:

1. Darstellung der potentiellen klimatischen Veränderungen in Bad Liebenwerda

Die Darstellung der potentiellen klimatischen Veränderungen in Bad Liebenwerda beruht auf einer Auswertung bereits verfügbarer und öffentlich zugänglicher Ergebnisse verschiedener regionaler Klimamodelle. Um die Veränderungen in ihrer Wirkung einschätzen zu können, wird zunächst die aktuelle klimatische Situation in Bad Liebenwerda dargestellt. Danach folgt eine Darstellung der möglichen klimatischen Veränderungen in Bad Liebenwerda. Aufgrund des konkreten Handlungsbezuges im ExWoSt-Projekt wird die klimatische Veränderung bis zur Mitte des Jahrhunderts betrachtet. Die Betrachtung baut auf der umfangreichen Auswertung regionaler Klimamodelle für das Land Brandenburg (LUA 2010) auf und wird durch weitere Daten und Ergebnisse ergänzt. Die aktuelle Untersuchung des Landesumweltamtes Brandenburg ermöglicht es, neben den regionalen Klimamodellen CLM und WettReg auch die Modelle REMO und STAR2 in die Betrachtung mit einzubeziehen. Da regionale

Klimamodelle lokalklimatische Besonderheiten (lokale Windsysteme, Land-Seewinde etc.) nicht detailliert darstellen, ist eine Auswertung bestehender Ergebnisse nur für größere räumliche Einheiten sinnvoll. Die Darstellung der potentiellen klimatischen Veränderung erfolgt daher wenn möglich einheitlich für das gesamte Stadtgebiet oder für den Naturraum, der das Stadtgebiet von Bad Liebenwerda prägt. Dieser Naturraum wird durch die naturräumliche Einheit des Elbe-Mulde-Tieflands gefasst und bildet ein Gebiet, das sich durch eine homogenen Struktur und einheitliche klimatische Bedingungen auszeichnet. Die Darstellung der potentiellen klimatischen Veränderungen schließt mit einer Zusammenfassung der projizierten Trends ab, in der Übereinstimmungen, Unterschiede und abweichende Extremwerte der verschiedenen Modelle dargestellt werden.

2. Identifikation relevanter Wirkfolgen

Die Identifikation relevanter Wirkfolgen beruht auf einer Auswertung der bestehenden Untersuchungen über die Auswirkungen des Klimawandels in der Region. Die Ergebnisse der vorliegenden Studien werden kurz zusammengefasst und in einer Synopse gegenübergestellt. Grundlage für die Synopse bilden die in der ExWoSt-Vorstudie definierten Wirkfolgen, denen die vorhandenen Informationen über mögliche Wirkfolgen tabellarisch gegenübergestellt werden.

Der Überblick dient dazu, fünf Wirkfolgen, die in der weiteren Untersuchung näher betrachtet werden sollen, zu identifizieren. Die Auswahl der Wirkfolgen wurde unter Einbeziehung von Akteuren aus der Stadt Bad Liebenwerda im Rahmen eines Workshops vor Ort vorgenommen.

3. Untersuchung der räumlichen Anfälligkeit gegenüber den Wirkfolgen

Basierend auf der Identifikation relevanter Wirkfolgen wird die räumliche Anfälligkeit für fünf Wirkfolgen ermittelt. Dazu dient eine GIS-basierte Analyse der einzelnen Teilräume des Gemeindegebiets. Die Anfälligkeit der Teilräume gegenüber den Wirkfolgen wird aufgrund von geeigneten Indikatoren (z.B. Bebauungsdichte, Anteil gefährdeter Bevölkerungsgruppen) bewertet. Dafür werden die je nach Wirkfolge geeigneten räumlichen Einheiten genutzt. Die Auswahl der Indikatoren erfolgt unter Einbeziehung des Auftraggebers im Rahmen des ersten Workshops. Dabei wird u.a. der Vorbelastung durch bereits jetzt spürbare Belastungssituationen besonderes Augenmerk geschenkt.

Die indikatorbasierte Anfälligkeitsanalyse baut auf den vom Auftraggeber bereitgestellten räumlichen Daten auf. Die Ergebnisse der Anfälligkeitsanalyse werden in GIS-basierten Karten dargestellt.

4. Darstellung der Betroffenheit und des Anpassungsbedarfes einzelner Teilräume

Aus den Vorarbeiten zur Exposition und der Anfälligkeit wird die Betroffenheit einzelner Teilräume ermittelt. Aufgrund der Bandbreite an Ergebnissen und der großen Unsicherheit, die mit den verschiedenen regionalen Klimamodellen verbunden sind, muss die Darstellung der Betroffenheit eine Risikoabschätzung verschiedener Wirkfolgen beinhalten. Diese Bewertung berücksichtigt die potentiellen Schäden, deren Wiederholungshäufigkeit und ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit. Als Anhaltspunkt hierfür werden neben den Ergebnissen der Klimamodelle vor allem die bereits jetzt auftretenden Problemsituationen herangezogen. Zur Risikoabschätzung wird eine Stärken-Schwächen-Analyse (SWOT-Analyse) verwendet.

Die Darstellung der Betroffenheit für die einzelnen Wirkfolgen erfolgt räumlich differenziert für das Stadtgebiet von Bad Liebenwerda.

3 Bad Liebenwerda im Klimawandel

3.1 Die aktuelle klimatische Situation in Bad Liebenwerda

Bad Liebenwerda liegt in der kühl-gemäßigten Klimazone. Das humide Klima der Region wird bereits stark durch den Übergang zum Kontinentalklima geprägt. Diese kontinentale Tönung macht sich vor allem durch ausgeprägte jahreszeitliche Unterschiede zwischen Sommer- und Wintertemperaturen und geringen Niederschlägen bemerkbar. Im Mittel sind im Referenzzeitraum von 1961 bis 1990 in der Region rund 550 mm Niederschlag pro Jahr gefallen (BMU 2003). Die klimatische Wasserbilanz pendelt um 0 mm im Jahresdurchschnitt, d.h. die Niederschläge reichen gerade aus, um in der Jahresbilanz die potentielle Verdunstung auszugleichen. Im gesamten Jahresverlauf können derzeit bereits längere Trockenperioden auftreten. Zwischen 1961 und 1990 betrug die durchschnittliche Dauer dieser Perioden ohne Regenfälle im Sommer 15 bis 16 Tage. Im Winter dauerte sie mit 16 bis 17 Tagen in der Regel etwas länger (ebd.). Das Gebiet kann daher generell als dürregefährdet eingestuft werden kann.

Für Bad Liebenwerda selbst liegen keine direkten Wetterbeobachtungen vor. Die nächsten Wetterstationen befindet sich im ca. 20 km nordöstlich gelegenen Doberlug-Kirchhain sowie im westlich gelegenen Torgau und im südlich von Bad Liebenwerda gelegenen Oschatz. Von diesen Stationen ist die Station Doberlug-Kirchhain am längsten in Betrieb. Ihre Daten liefern die Grundlage für die Beschreibung der klimatischen Situation in der Region. Die Station Torgau liefert ebenfalls Daten für die Periode 1960-1991 und wird im Folgenden zum Vergleich herangezogen.

3.1.1 Beschreibung der Normalperiode 1961-1990

Zwischen den Jahren 1961-1990 lag die mittlere Jahresdurchschnittstemperatur in Doberlug-Kirchhain bei 8,5°C und in Torgau bei 8,7 °C. Juli und August sind die wärmsten Monate. Die höchste gemessene Temperatur in dieser Normalperiode betrug in Doberlug-Kirchhain 36,5 °C und in Torgau 37,8°C. Im kältesten Monat Januar wurden in Doberlug-Kirchhain -27,2 und in Torgau -26,5 °C gemessen.

Der mittlere Jahresniederschlag betrug in der Periode 1961-1990 an der Station Doberlug-Kirchhain 559 mm und in Torgau 542 mm. In den niederschlagsreichsten Monaten Juni und August fielen an der Station Doberlug-Kirchhain durchschnittlich 69 bzw. 63 mm. In den Monaten Februar (31 mm) und März (35 mm) fielen die geringsten Niederschläge. In Torgau wurden im Juni und August mit jeweils 64 mm ebenfalls die geringsten Werte gemessen. Auch die niederschlagsärmsten Monate Februar und März sind mit 29 und 34 mm vergleichbar.

In der Regel gibt es 19 Tage im Jahr an denen die Schneehöhe 1 cm überschreitet. Durchschnittlich herrscht an 43,9 Tagen Nebel und an 12,2 Tagen im Jahr werden Gewitter registriert.

Abbildung 2: Klimadiagramm für die Normalperiode 1961-1990 gemessen an der Station Doberlug-Kirchhain (Quelle DWD 2010)

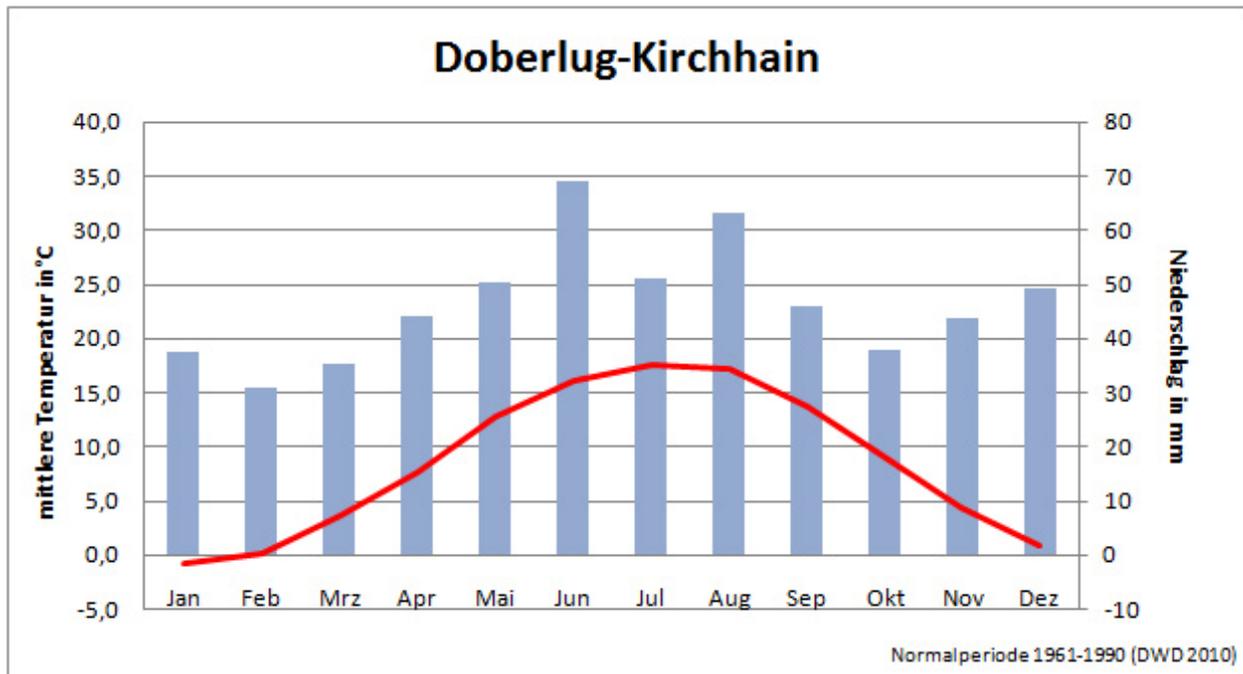
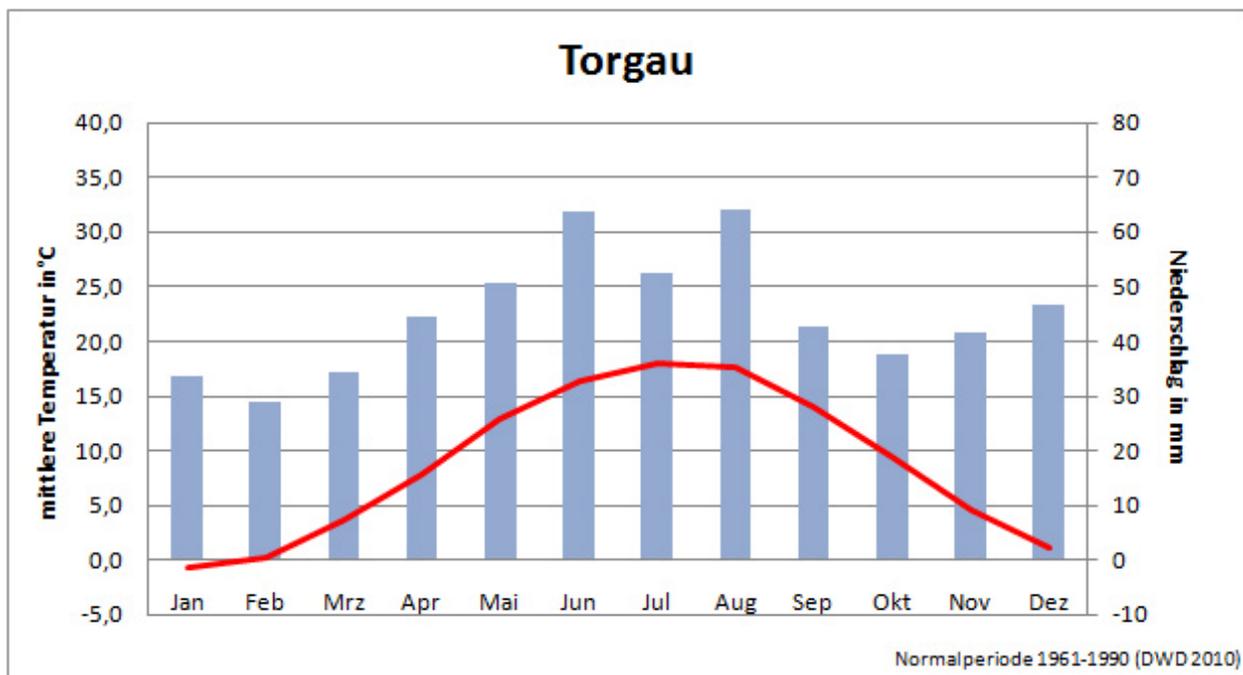


Abbildung 3: Klimadiagramm für die Normalperiode 1961-1990 gemessen an der Station Torgau (Quelle DWD 2010)

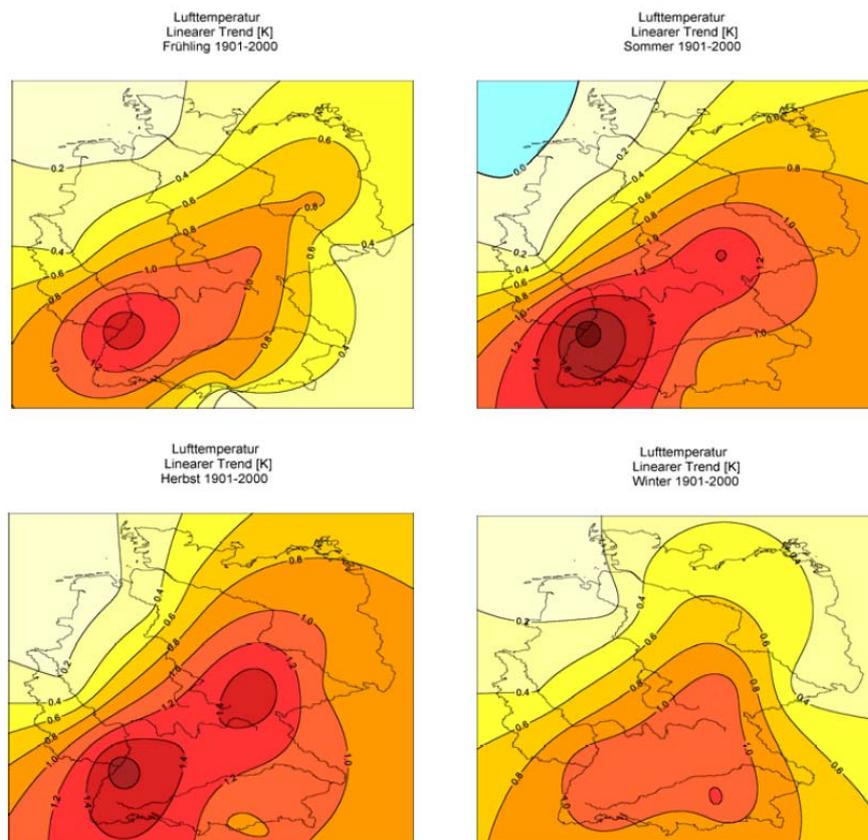


3.2 Die klimatischen Veränderungen in Bad Liebenwerda

3.2.1 Gemessene Veränderungen des Klimas

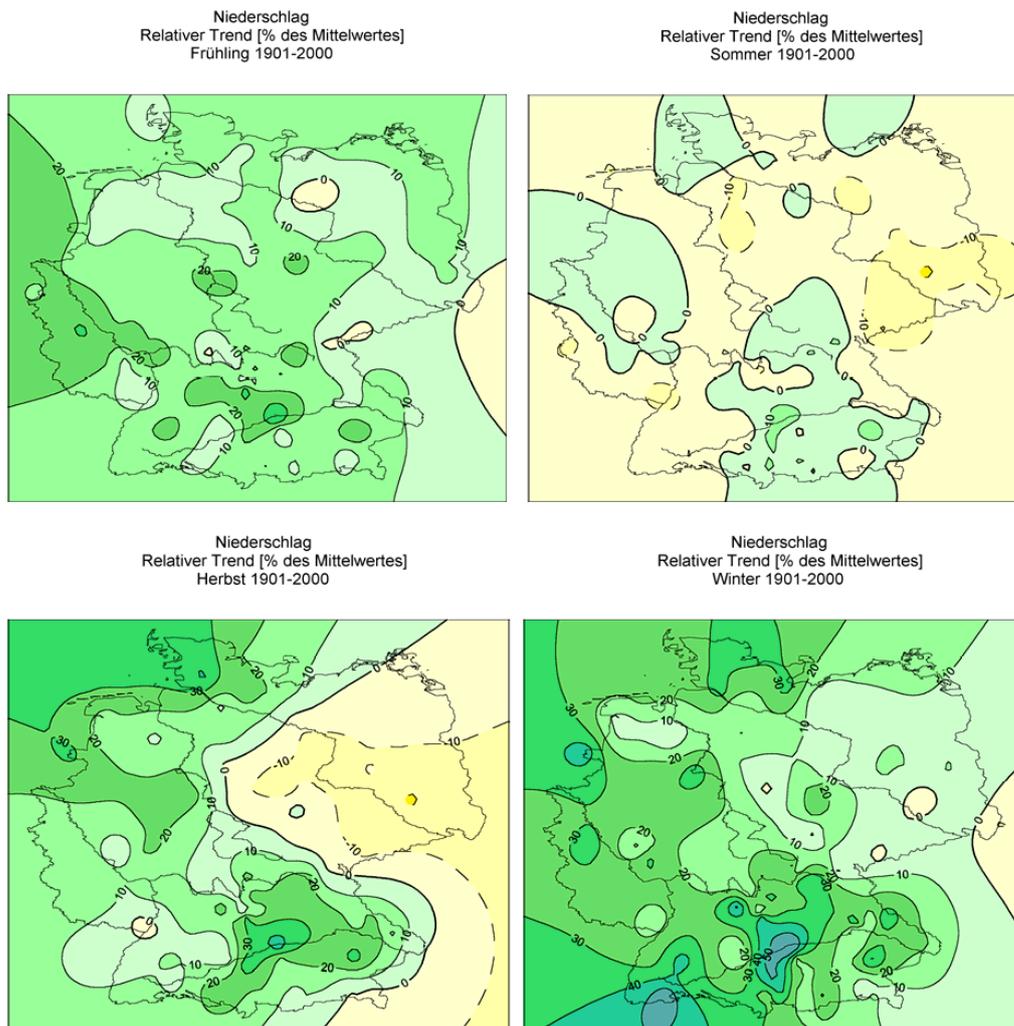
Im Gegensatz zum Wetter, das die Werte von Lufttemperatur, Niederschlag, Wolkenbedeckung etc. in relativ kurzen Zeitabschnitten von Minuten bis Tagen darstellt, wird mit dem Begriff Klima ein längerer Zeitraum von Monaten bis Jahren beschrieben. In der Regel wird für die Dokumentation des Klimas ein Mittel aus Messwerten von 30 Jahren gebildet. Ein Wandel des lokalen Klimas kann sich sowohl durch die allmähliche Veränderung von Klimaparametern also auch über Veränderungen im Auftreten und der Stärke von Extremereignissen sowie durch stärkere Schwankungen der Witterungsverhältnisse zwischen einzelnen Jahren bemerkbar machen. Durch die inzwischen lange zurückreichenden Wetterbeobachtungen kann ein solcher Wandel des Klimas zweifelsfrei belegt werden. Seit Jahrzehnten ist sowohl regional als auch weltweit ein deutlicher Trend zu einer immer schneller ablaufenden Erwärmung festzustellen (siehe Abbildung 4).

Abbildung 4: Jahreszeitliche Temperatur-Trendkarte der gemessenen Temperaturveränderung zwischen 1901 und 2000 für Deutschland (Die in den Karten angegebene Maßeinheit K (Kelvin) ist identisch mit °C) (Schönwiese und Janoschitz 2008, S.21).



Im Land Brandenburg liegt die Jahresdurchschnittstemperatur derzeit bei 8,7 °C und damit um 0,8 °C höher als 1901 (DWD 2008, S.8). Es muss davon ausgegangen werden, dass sich diese Entwicklung auch in den nächsten Jahrzehnten weiter fortsetzt und dabei an Geschwindigkeit zunimmt. Ebenso wie bei der Temperatur haben sich auch die Niederschlagsverhältnisse verändert (siehe Abbildung 5).

Abbildung 5: Jahreszeitliche Niederschlags-Trendkarte der gemessenen Veränderung im Niederschlag zwischen 1901 und 2000 für Deutschland (gelb Abnahme, grün-blau Zunahme) (Schönwiese und Janoschitz 2008, S.23)



Der Vergleich der Messwerte aus Doberlug-Kirchhain zwischen der Normalperiode 1961-1990 und dem 10 jährigen Mittel von 2000-2009 zeigt auch in dieser Region erhebliche Veränderungen im Regional Klima. Die Messdaten bestätigen die für Deutschland bzw. Brandenburg beschriebenen Trends. Die Jahresmitteltemperatur lag in diesem Zeitraum mehrfach über der 10 °C Grenze. Dieser Wert wurde zwischen 1961 und 1990 nie erreicht.

Beim Niederschlag zeichnet sich nach einer Periode der geringeren Niederschläge zwischen 1990-1999 (545 mm) im letzten Jahrzehnt eine Zunahme ab (592 mm). Die Werte liegen damit um 33 mm über den Messwerten für die Periode 1961-1990. Sie verdeutlichen, dass der Niederschlag deutlich größeren Schwankungen ausgesetzt ist als die Temperatur.

Besser als an den Mittelwerten lassen sich die Veränderungen an verschiedenen klimatischen Kerntagen verdeutlichen. Während die Zahl der Frosttage in Doberlug-Kirchhain von durchschnittlich 91,6 zwischen 1961-1990 auf 86,7 zwischen 2000 und 2009 zurückgegangen ist, ist bei den heißen Tagen eine deutliche Zunahme von im Mittel 6,8 auf 12,7 festzustellen. Diesem Trend entspricht auch die Zahl der Tage an denen die Maximaltemperatur mehr als 35 °C erreicht haben. So wurden diese Grenze in den 30 Jahren zwischen 1961 und 1990 nur an fünf Tagen überschritten, während in den 20 folgenden Jahren bereits sieben dieser Ereignisse dokumentiert wurden. Mit 38,5 °C (1992) und 38,2 °C (2007) lagen auch die heißesten bisher gemessenen Jahre in dieser Periode. Die Zahlen zeigen deutlich, dass die Temperaturen in der Region erheblich gestiegen sind. Damit einher geht eine Verkürzung der kalten Jahreszeit und eine Steigerung der heißen und extrem heißen Situationen im Sommer.

Beim Niederschlag zeigen die Extremereignisse bisher keine Steigerung. So fielen in den 30 Jahren der Normalperiode an drei Tagen mehr als 50 mm Regen. Im letzten Jahrzehnt wurde ebenfalls ein solches

Ereignis dokumentiert. Dies zeigt, dass in Bad Liebenwerda derzeit im Schnitt 10 Jahre mit Starkregenereignissen gerechnet werden kann. Alle Ereignisse wurden im Juli oder August gemessen. Im Jahr 1978 sind dabei mehr als 111 mm an einem Tag niedergegangen. Dies zeigt, dass in Bad Liebenwerda mit Starkregenereignissen, die Sturzfluten auslösen können bereits heute gerechnet werden muss. Die Tatsache, dass in Torgau die Zahl der Tage mit mehr als 50 mm Niederschlag in der Normalperiode mit 6 Tagen um das Doppelte höher lag als in Doberlug-Kirchhain, verdeutlicht wie groß die Unterschiede bei solchen Ereignissen auf kleinstem Raum sein können.

Für die Auswertung der Windgeschwindigkeit liegen erst ab dem Jahr 1972 Beobachtungsdaten aus Doberlug-Kirchhain vor. Eine Trendauswertung ist daher derzeit nicht möglich.

Die Windgeschwindigkeit in Doberlug-Kirchhain beträgt im Jahresmittel 4,8 m/s. Der Januar weist im Mittel die höchsten Windgeschwindigkeiten auf (5,7 m/s) während im Juni und August das Monatsmittel mit 4,0 m/s am niedrigsten ist. Die maximalen Windgeschwindigkeiten haben bisher bis zu 144 km/h (40 m/s) erreicht. Die höchste bisher gemessene Windgeschwindigkeit lag im Januar 1994 bei 37,8 m/s (136 km/h).

3.2.2 Szenarien möglicher klimatischer Entwicklungen

Um einen Eindruck über die mögliche Entwicklung des Klimas in der Zukunft zu erhalten, wurden vom Zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) mehrere Szenarien entwickelt. Diese Szenarien sollen die Bandbreite möglicher zukünftiger Entwicklungen der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre abbilden. Sie beruhen auf einer großen Zahl an plausiblen Annahmen über unbekannt zukünftige Entwicklungen. Sie sind daher deutlich von Vorhersagen zu unterscheiden.

Szenarien beantworten die Frage „Was wäre wenn?“. Sie sollen sich dabei nicht auf die wahrscheinlichste oder gar die erwünschte Zukunft eines Systems beschränken (Sträter 1988, S.175). Durch die Anwendung von Szenarien darf die Diskussion über die künftige Wirklichkeit also nicht auf einen einzelnen Handlungsstrang eingeengt werden (Stiens 1982, S.34). Vielmehr geht es darum, ein möglichst breites Spektrum an Möglichkeiten abzudecken. Die Aufgabe von Szenarien ist es „alternatives Denken und damit Flexibilität im Handeln und Reagieren“ zu ermöglichen (ebd.).

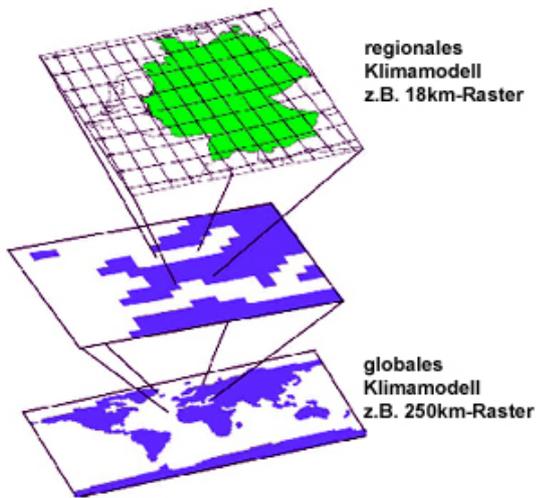
Kahn und Wiener (1977, S. 21), definieren ein Szenario daher als „hypothetische Folge von Ereignissen“, die „die Aufmerksamkeit auf kausale Prozesse und Entscheidungsmomente lenken“. Szenarien haben nicht das Ziel bestimmte Zustände der Zukunft genau zu prognostizieren, sondern streben eine Auseinandersetzung mit und Vorbereitung auf verschiedene mögliche Ereignisse an.

Die vom IPCC entwickelten SRES-Szenarien wurden in Szenario-Familien gruppiert (IPCC 2000). Nur ein Teil dieser Szenarien wird für die Projektion zukünftiger Klimasituationen verwendet. Am häufigsten werden die SRES-Szenarien A2, A1B und B1 genutzt. Sie stellen stellvertretend für ihre Familie entweder eine vorwiegend ökonomisch ausgerichtete homogene Entwicklung der Welt dar (A1B), eine umweltorientierte Welt mit sich weltweit langsam angleichenden Lebensverhältnissen (B2) oder eine wirtschaftsorientierte Entwicklung in der weiterhin große regionale Unterschiede bestehen bleiben (A2).

3.2.3 Der Umgang mit Unsicherheit in den Klimaprojektionen

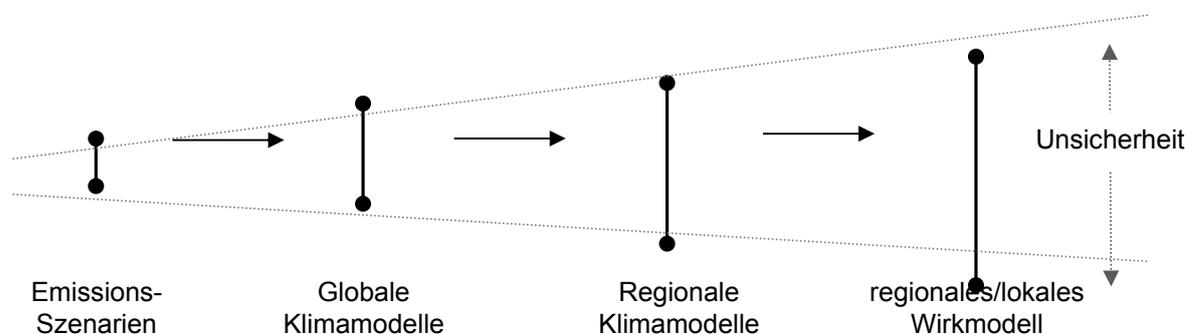
Die SRES-Szenarien werden genutzt, um darauf aufbauend mit globalen Klimamodellen das Geschehen in der Atmosphäre zu simulieren. Um die Ergebnisse der Projektionen für lokale Anwender nutzbar zu machen, werden Teile der globalen Modelle mit Hilfe von regionalen Klimamodellen weiterverarbeitet und in ihren Aussagen verfeinert (siehe Abbildung 6).

Abbildung 6: Vereinfachte Darstellung des Downscaling-Verfahrens für regionale Klimaprojektionen (LUA 2010, S.15)



Bei dieser Weiterverarbeitung müssen zusätzliche Annahmen über zukünftige Entwicklungen in die Projektion einfließen. Obwohl alle Annahmen, die den Modellierungen zu Grunde liegen gründlich geprüft werden und plausibel sind, sind sie mit Unsicherheiten verbunden. Durch die Verknüpfung von Unsicherheiten über mehrere Stufen hinweg nimmt die Sicherheit für Aussagen auf lokaler Ebene ab (siehe Abbildung 7).

Abbildung 7: Entwicklung der Unsicherheit bei der Modellierung lokaler Folgen des Klimawandels (nach Jones 2000, S.407)



Ebenso wie die Unsicherheit mit dem Detaillierungsgrad zunimmt so steigt sie auch mit der Dauer der Projektion. Daher sind Aussagen über die klimatische Situation am Ende des Jahrhunderts weniger zuverlässig und zeigen eine breitere Spannweite, als Aussagen für die Mitte des 21. Jahrhunderts.

Ebenfalls unterscheiden sich die projizierten Parameter in ihrer Sicherheit. Aussagen über die Temperatur sind generell zuverlässiger als solche über Niederschlagsmengen oder gar Windverhältnisse. Da mit dem Klima immer ein längerer Zeitraum betrachtet wird, sind auch die Mittelwerte zuverlässiger als Aussagen über klimatische Extremereignisse.

Aussagen über das zukünftige Klima sind - ebenso wie alle anderen Planungsgrundlagen mit Bezug zu zukünftigen Ereignissen (wie z.B. Bevölkerungs-, Wirtschafts- oder Verkehrsprognosen) - mit großen Unsicherheiten verbunden. Diese Unsicherheiten dürfen allerdings nicht zur Untätigkeit führen. Viele der zu erwartenden Folgen des Klimawandels können verheerende ökonomische, soziale und ökologische Folgen haben. Durch eine vorausschauende Planung können diese Schäden vermieden oder zumindest abgemildert werden. Das Vorsorgeprinzip gebietet, dass frühzeitig Anpassungsmaßnahmen veranlasst werden. Um trotz der mit den Szenarien verbundenen Unsicherheiten geeigneten Maßnahmen auszuwählen muss der Umgang mit Unsicherheit aktiv in den Planungsprozess eingebunden werden.

3.2.4 Die Auswertung von regionalen Klimamodellen

Ein erster Schritt um mit diesen Unsicherheiten umzugehen ist die Berücksichtigung möglichst vieler Projektionen der zukünftigen Klimasituation. Es sollte nie nur ein Szenario aus nur einem regionalen Klimamodell betrachtet werden, sondern immer mindestens zwei Emissionsszenarien, die im Idealfall mit mehreren globalen und regionalen Klimamodellen ausgewertet wurden (Walkenhorst und Stock 2009, S.13). Vielfach zeigt sich, dass die Ergebnisse der Modelle in ihrer Grundtendenz übereinstimmen. Diese Übereinstimmungen können einen ersten Hinweis auf akuten Handlungsbedarf geben. Gleichzeitig sollten aber auch die Abweichungen betrachtet werden. Insbesondere die Extremwerte einzelner Ergebnisse sollten auf ihre Bedeutung hin überprüft werden. So können auch Entwicklungen, die zwar unwahrscheinlich sind aber bei ihrem Eintreten Schäden in erheblicher Höhe erzeugen, vorsorgende Anpassungsmaßnahmen rechtfertigen.

Leider wird der Vergleich verschiedener regionaler Klimamodelle dadurch erschwert, dass sie mit unterschiedlichen Methoden Aussagen über unterschiedliche Räume und unterschiedliche Zeitabschnitte darstellen. Der Unterschied zwischen einem Modell, das z.B. die Entwicklung zwischen der Periode 1961-1990 und der Periode 2021-2050 darstellt, mit einem Modell, das die Veränderung zwischen der Periode 1971-2000 und der Periode 2031-2060 projiziert, mag auf den ersten Blick nur gering sein, er verhindert aber, dass die absoluten Ergebnisse gegeneinander aufgerechnet werden können. Hier bleibt vielmehr nur die Möglichkeit, in der Auswertung die Trends der Modelle verbal-argumentativ zu vergleichen. Ein weiteres Hindernis beim Vergleich verschiedener Modelle entsteht durch die Notwendigkeit zur Aufbereitung der Modelldaten. Viele der regionalen Klimamodelle wurden durch renommierte Forschungseinrichtungen entwickelt und die Ergebnisse der Modellläufe sind für alle Interessierten frei zugänglich. Als Plattform für den Austausch dieser Daten dient das World Data Center for Climate (WDC Climate, <http://cera-www.dkrz.de/>). Die hier gespeicherten Daten erreichen bei einzelnen Modellen leicht eine Größe von mehreren Terabyte. Für einen Vergleich müssen diese Rohdaten ausgewertet und zusammengefasst werden. Im Rahmen von kleineren Untersuchungen kann diese Arbeit nicht geleistet werden. Es bestehen allerdings vielfach bereits Auswertungen für größere Regionen (z.B. die einzelner Bundesländer), auf die sich lokale Sekundäranalysen stützen können.

Für die Betrachtung lokaler Veränderungen des Klimas in Brandenburg bieten sich hierzu derzeit folgende Quellen an:

- Die umfangreiche Auswertung regionaler Klimamodelle durch das Landesumweltamt Brandenburg (LUA 2010).
- Die Darstellungen des Regionalen Klimaatlas Deutschlands (<http://www.regionaler-klimaatlas.de/>).

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der oben genannten Quellen für Bad Liebenwerda im Einzelnen dargestellt werden.

Ergebnisse der Auswertung regionaler Klimamodelle für das Land Brandenburg

In einer aktuellen Auswertung verschiedener regionaler Klimamodelle hat das Landesumweltamt Brandenburg die Modelle CLM, REMO, WettReg und STAR2 miteinander verglichen (siehe LUA 2010). Für das Modell CLM stehen zwei Modellläufe zur Verfügung (Lauf 1 und Lauf 2). Als Referenz wurde jeweils der Zeitraum 1971-2000 verwendet, dem die projizierten Veränderungen bis 2031-2060 und 2071-2100 gegenüber gestellt wurden. Aufgrund der uneinheitlichen Datenlage wurde für den Vergleich bei allen Modellen lediglich das Szenario A1B herangezogen.

In der Gesamtbetrachtung für das Land Brandenburg legt der Vergleich folgende Entwicklungen nahe (LUA 2010, S.301):

- „- Die Tagesmitteltemperaturen des Jahresmittels werden sich bis Mitte des Jahrhunderts um mindestens ein Grad erhöhen,
- zum Ende des Jahrhunderts werden diese Werte um ca. 3 Grad gegenüber dem Zeitraum 1971 - 2000 höher liegen,
- die stärksten Temperaturänderungen sind im Winter zu erwarten (ca. 4 Grad),
- die Jahressumme an Niederschlag wird sich nicht wesentlich ändern,
- die Sommerniederschläge werden ab- und die Winterniederschläge zunehmen,
- es wird sich die Vegetationszeit um mindestens drei Wochen weiter ausdehnen,
- die Zahl der Sommertage, heißen Tage, Tage mit Schwüle und tropische Nächten werden teilweise sehr deutlich zunehmen,

- die Zahl der Eistage und Frosttage werden hingegen abnehmen.“

In der Auswertung werden die Ergebnisse der Modelle in Form von Karten dargestellt (siehe Abbildung 8). Die Karten weisen die Veränderung jeweils in zusammengefassten Klassen auf. Die Ergebnisse ausgewählte Parameter für die Region um Bad Liebenwerda sind in Tabelle 1 dargestellt.

Abbildung 8: Vergleich der Projektionen verschiedener Klimamodelle für die Veränderung der Niederschlagssumme im meteorologischen Sommer zwischen dem Zeitraum 1971-2000 und 2031-2060 (LUA 2010, S. 105)

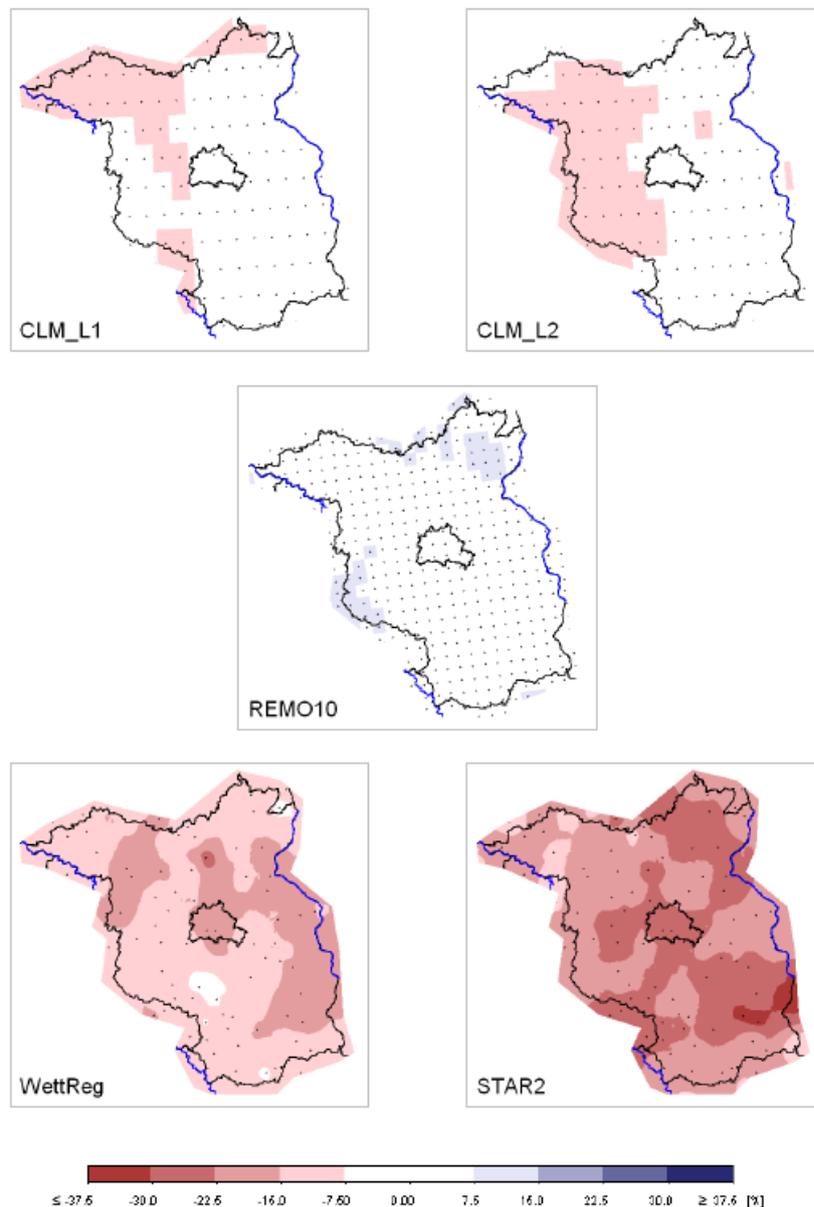


Tabelle 1: Auswertung der Veränderungen ausgewählter Parameter zwischen 1971-2000 und 2031-2060 in Szenario A1B für Bad Liebenwerda

Parameter	CLM (Lauf 1)	CLM (Lauf 2)	REMO	WettReg	STAR2	Trends	Spannweiten
Temperatur							
Durchschnitt	+1 bis 1,5°C	+1,5 bis 2°C	+1 bis 1,5°C	+1 bis 1,5°C	+2 bis 2,5°C	↑	+0,9 bis +2,3°C
Maximal	+1 bis 1,5°C	+1,5 bis 2°C	+1 bis 1,5°C	+1 bis 1,5°C	+2 bis 2,5°C	↑	+1 bis +2,5°C
Niederschlag							
Jahresdurchschnitt	0 bis +7,5%	0 bis +7,5%	+7,5 bis + 15%	0 bis -7,5%	0 bis -7,5%	↓ ↑	-7,5 bis +15%
Frühjahr	+15 bis +22,5%	+15 bis +22,5%	+7,5 bis +15%	-7,5 bis +7,5%	-7,5 bis +7,5%	↓ ↑	-7,5 bis +22,5%
Sommer	0 bis -7,5%	0 bis -7,5%	-7,5 bis +7,5%	-7,5 bis -15%	-7,5 bis -15%	↓ ↑	-15 bis +7,5%
Herbst	0 bis +7,5%	0 bis +7,5%	+15 bis +22,5%	-15 bis -22,5%	0 bis -7,5%	↑ ↓	-22,5 bis +22,5%
Winter	0 bis +7,5%	+7,5 bis +15%	0 bis +7,5%	0 bis +7,5%	+15 bis +22,5%	↑	0 bis +22,5%
Vegetationsperiode							
Vegetationsbeginn	0 bis -7 Tage	-7 bis -14 Tage	0 bis -14 Tage	0 bis -7 Tage	-21 bis -14 Tage	↓	0 bis -21 Tage
Vegetationsende	+8 bis +12 Tage	+8 bis +12 Tage	0 bis +4 Tage	0 bis +4 Tage	+4 bis +8 Tage	↑	+0,3 bis +12 Tage
Kenntage							
Frosttage	-24 bis -30 Tage	-36 bis -42 Tage	-18 bis -24 Tage	-18 bis -24 Tage	-8 bis -24 Tage	↓	-8 bis -42 Tage
Heiße Tage	0 bis +4 Tage	+2 bis +6 Tage	+2 bis +4 Tage	+2 bis +4 Tage	+10 bis +12 Tage	↑	+0,6 bis +12 Tage
Tropennächte	0 bis +1,5 Tage	+1,5 bis +3 Tage	+1,5 bis +3 Tage	0 bis +1,5 Tage	0 bis +1,5 Tage	↑	+0,3 bis +2,8 Tage
Tage mit Starkwind	+3 bis +4,5 Tage	+1,5 bis +3 Tage	+1,5 bis +3 Tage	0 bis -1,5 Tage	-1,5 bis -3 Tage	↓ ↑	-3 bis +4,5 Tage

Die Auswertung der Modelle für das Szenario A1B zeigt, dass sich die allgemeinen Trends für Brandenburg auch in Bad Liebenwerda widerspiegeln:

Alle Modelle projizieren eine deutliche Zunahme des Jahresdurchschnitts der Tagesmitteltemperatur. Sie wird wahrscheinlich um mindestens ein Grad höher liegen als im Zeitraum 1971 bis 2000. Sie könnte aber auch um bis zu 2,5°C ansteigen.

Die Zunahme der Tagesdurchschnittstemperatur ist im Winter und Frühjahr am stärksten ausgeprägt. Hier könnten die Werte um bis zu 3,5°C zunehmen.

Die durchschnittlichen Höchstwerte für die Tagestemperatur folgen dem Trend der Tagesdurchschnittstemperatur. Auch hier wird eine deutliche Zunahme vor allem im Winter projiziert.

Die Summe des Jahresniederschlags wird sich nur wenig ändern. Die meisten Modelle gehen eher von einer Zunahme denn von einer Abnahme aus.

Saisonal werden von den meisten Modellen vor allem für den Winter mehr Niederschläge projiziert, wohingegen im Sommer eher mit einer Abnahme der Niederschläge zu rechnen ist.

Die Vegetationsperiode wird sich erheblich verlängern. Für das Frühjahr zeigen die Modelle eine Vorverlagerung um bis zu drei Wochen, während im Herbst die Vegetationsperiode um mehr als 10 Tage später endet.

Den Trends der Temperatur und der Vegetationsperiode folgend werden deutlich weniger Tage mit Temperaturen unter 0°C projiziert. Gleichzeitig steigt die Zahl der heißen Tage. Für die Zahl der Tropennächte wird eine leichte Zunahme vermutet, während für die Tage mit Starkwinden aus den Modellen kein klarer Trend zu erkennen ist. Zum Auftreten von extremen Niederschlägen werden keine Aussagen getroffen.

Ergebnisse des regionalen Klimaatlas Deutschlands

Der Regionale Klimaatlas Deutschlands wird von den Regionalen Klimabüros der Helmholtz Gesellschaft betrieben und ist im Internet für Jedermann frei zugänglich (<http://www.regionaler-klimaatlas.de>). Er stellt die Ergebnisse verschiedener Modellläufe der dynamischen Regionalmodelle REMO und CLM für mehrere SRES-Szenarien dar. Für die Szenarien A1B und B1 werden derzeit die Ergebnisse des Modells REMO und CLM abgebildet. Für das Szenario A2 liegen nur die Daten des Modells REMO vor. Als Referenzzeitraum wird die Normalperiode 1961 bis 1990 verwendet, der Vergleichszeitraum in der Zukunft kann vom Nutzer frei gewählt werden. Der Regionale Klimaatlas wurde als Übersicht über das gesamte Bundesgebiet entwickelt. Die räumliche Differenzierung und Klassenbildung ist daher nicht so fein wie bei der oben dargestellten Auswertung für Brandenburg. Gleichwohl geben die Daten einen guten Überblick über die Ergebnisse verschiedener Modelle und verschiedener Szenarien. Die Auswertung des Regionalen Klimaatlas ergänzt damit die Auswertung der Regionalen Klimamodelle für Brandenburg, die sich nur auf das Szenario A1B bezieht.

Ausgewählte Parameter des Regionalen Klimaatlas wurden für die Region um Bad Liebenwerda ausgewertet und nach den Szenarien geordnet in den Tabellen 2 bis 5 dargestellt. Für die Auswertung wurden die projizierten Veränderungen zwischen der Normalperiode 1961-1990 und dem Zeitraum 2031-2060 verwendet.

Tabelle 2: Auswertung der Veränderungen ausgewählter Parameter zwischen 1961-1990 und 2031-2060 in Szenario B1 für Bad Liebenwerda

Parameter	CLM (Lauf 2)	REMO (Lauf 1)	Trends
Temperatur			
Durchschnitt	+1 bis 1,5°C	+0,5 bis 1°C	↑
Niederschlag			
Jahresdurchschnitt	0 bis +10%	0 bis + 10%	↑
Frühjahr	0 bis +10%	0 bis +10%	↑ ↓
Sommer	0 bis -10%	0 bis +10%	↑
Herbst	0 bis +10%	0 bis +10%	↑
Winter	0 bis +10%	+10 bis +20%	↑
Kenntage			
Frosttage	-20 bis -25 Tage	-5 bis -10 Tage	↓
Heiße Tage	0 bis +5 Tage	0 bis +5 Tage	↑
Tropennächte	0 bis +5 Tage	0 bis +5 Tage	↑
Sturmtage	0 bis +1 Tage	+1 bis +2 Tage	↑

Tabelle 3: Auswertung der Veränderungen ausgewählter Parameter zwischen 1961-1990 und 2031-2060 in Szenario A1B für Bad Liebenwerda

Parameter	CLM (Lauf 2)	REMO (Lauf 1)	Trends
Temperatur			
Durchschnitt	+1,5 bis +2°C	+1 bis +1,5°C	↑
Niederschlag			
Jahresdurchschnitt	0 bis +10%	0 bis + 10%	↑
Frühjahr	0 bis +10%	+10 bis +20%	↑
Sommer	0 bis -10%	0 bis -10%	↓
Herbst	0 bis +10%	+10 bis +20%	↑
Winter	+20 bis +30%	0 bis +10%	↑
Kenntage			
Frosttage	-30 bis -35 Tage	-20 bis -25 Tage	↓
Heiße Tage	+5 bis +10 Tage	0 bis +5 Tage	↑
Tropennächte	0 bis +5 Tage	0 bis +5 Tage	↑
Sturmtage	+1 bis +2 Tage	+1 bis +2 Tage	↑

Tabelle 4: Auswertung der Veränderungen ausgewählter Parameter zwischen 1961-1990 und 2031-2060 in Szenario A2 für Bad Liebenwerda

Parameter	REMO (Lauf 1)	Trends
Temperatur		
Durchschnitt	+2 bis +2,5°C	↑
Niederschlag		
Jahresdurchschnitt	0 bis + 10%	↑
Frühjahr	0 bis +10%	↑ ↓
Sommer	0 bis -10%	↑
Herbst	0 bis +10%	↑
Winter	0 bis +10%	↑
Kenntage		
Frosttage	-20 bis -25 Tage	↓
Heiße Tage	0 bis +5 Tage	↑
Tropennächte	0 bis +5 Tage	↑
Sturmtage	+1 bis +2 Tage	↑

Tabelle 5: Spannweite der Veränderungen ausgewählter Parameter zwischen 1961-1990 und 2031-2060 über die Szenarien B1, A1B und A2 in den Modellen REMO und CLM (jeweils Lauf 1 und 2)

Parameter	Spannweiten	Trends
Temperatur		
Durchschnitt	+0,8 bis +2,1°C	↑
Niederschlag		
Jahresdurchschnitt	-3 bis +7%	↑ ↓
Frühjahr	0 bis +16%	↑
Sommer	-9 bis +5%	↑ ↓
Herbst	-2 bis +13%	↑ ↓
Winter	0 bis +36%	↑
Kenntage		
Frosttage	-10,7 bis -38,5 Tage	↓
Heiße Tage	+1,7 bis +3,9 Tage	↑
Tropennächte	+0,6 bis +2,7 Tage	↑
Sturmtage	-0,2 bis +2 Tage	↑ ↓

Der Vergleich der Modellergebnisse von REMO und CLM für die Szenarien B1, A1B und A2 zeigt einen klaren Trend zu höheren Durchschnittstemperaturen. Die Werte überschreiten dabei bereits zur Mitte des Jahrhunderts die 2°C-Leitplanke. Doch selbst bei dem optimistischen Emissionsszenario B1 zeigen die Ergebnisse eine Temperaturzunahme von mindestens 0,8°C. Diesem Trend folgend wird einheitlich eine erhebliche Abnahme der Frosttage und eine Zunahme der heißen Tage prognostiziert. In diesem Zusammenhang nimmt auch die Zahl der Tropennächte zu, bleibt aber geringer als die heißen Tage.

Die Ergebnisse für den Niederschlag geben kein so einheitliches Bild. Die relativ großen Klassen der Einzelauswertungen könne hier zum Eindruck starker Veränderungen führen, die Auswertung der Spannweiten zeigt allerdings, dass in den meisten Realisierungen die Werte um ± 0 schwanken, wobei eine Zunahme der Niederschlagssumme häufiger als eine Abnahme prognostiziert wird. Betrachtet man die Jahreszeiten getrennt, so zeigen sich klare Verschiebungen. Vor allem der Winter aber auch Herbst und Frühjahr zeigen Zunahmen der Niederschlagsmenge, während im Sommer mit einem Rückgang gerechnet werden muss.

Ein Trend für die Zahl der Sturmtage zeichnet sich in den Modellen nicht ab. Die Berechnungen ergeben je nach Modell und Szenario sowohl leichte Abnahmen als auch Zunahmen.

Zusammenfassung der möglichen klimatischen Veränderungen in Bad Liebenwerda

Die Auswertung Regionaler Klimamodelle für das Land Brandenburg und der Regionalen Klimaatlas Deutschland geben einen guten Überblick über die Ergebnisse verschiedener Modelle bei unterschiedlichen Szenarien. Während die landesspezifische Auswertung den direkten Vergleich der Modelle CLM, REMO, WettReg und STAR2 für die Szenarien A1B ermöglicht, werden durch den Regionalen Klimaatlas die Ergebnisse der Modelle REMO und CLM für die Szenarien B1 und A2 ergänzt. Obwohl die Daten des Regionalen Klimaatlas eine geringere Auflösung und größere Klassen zeigen, bietet er dadurch wichtige Zusatzinformationen.

Betrachtet man nur das Szenario A1B so fallen Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Untersuchungen für die Modelle CLM und REMO ins Auge. Diese sind zum einen auf die unterschiedliche Klassifizierung der Daten und zum anderen auf die unterschiedlichen Referenzzeiträume (1961-1990 bzw. 1971-2000) zurück zu führen. Gerade diese Unterschiede verdeutlichen die Schwierigkeiten, die sich bei einer Beschränkung der Analyse auf nur einen Modelllauf ergeben und verdeutlichen die Bedeutung eines möglichst breit angelegten Vergleiches mehrerer Modelle in mehreren Szenarien und Betrachtungszeiträumen.

Vergleicht man die Ergebnisse der Szenarien so fällt auf, dass zwischen B1 und A1B eine Steigerung der Veränderungen festzustellen ist. Das Emissionsszenario A2 zeigt aber vielfach geringere Veränderungen als A1B. Dieser Trend ist für Deutschland durchaus typisch und ergibt sich aus dem Betrachtungshorizont. Obwohl die Veränderungen bei A2 in der Realisierung von REMO langsamer einsetzen, überschreiten sie in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts schnell die Ergebnisse des Szenarios A1B und steigen dann auch weiterhin und lang anhaltend an.

Homogene Trends

Alle Modelle zeigen bereits bis zur Mitte des Jahrhunderts eine deutliche Zunahme der durchschnittlichen Tagesmitteltemperatur. Sie liegt selbst in optimistischen Szenarien nicht unter 0,8°C und überschreiten bei anderen Szenarien bereits die 2°-Grenze. Saisonal ist die Erwärmung vor allem im Winter zu erwarten. Dem entsprechend zeigen alle Modelle und Szenarien einen erheblichen Rückgang der Frosttage an. Es kann im Schnitt mit mehr als eine Woche weniger gerechnet werden, im Extremfall kann die Reduktion auch mehr als ein Monat betragen. Dies kann vor allem für den Heizbedarf eine positive Entwicklung darstellen. Die projizierte Verlängerung der Vegetationsperiode bestätigt diesen Trend. Der Rückgang der durchschnittlichen Anzahl an Frosttagen und der frühere Beginn der Vegetationsperiode können positive Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Erträge haben, dabei machen die Auswertungen allerdings keine Aussagen über die Gefahr von Spätfrösten und die potentiellen Schwankungen zwischen einzelnen Jahren.

Ebenfalls einheitlich bei allen Modellen ist die Zunahme der heißen Tage und der Tropennächte. Während die Zahl der heißen Tage deutlich zunimmt, steigt die Zahl der Tropennächte wahrscheinlich nur moderat.

Beim Jahresniederschlag neigen die Modelle eher zu einer neutralen Entwicklung oder einer leichten Zunahme. Es ist allerdings eine Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter wahrscheinlich. Bis auf ein Ergebnis für das optimistische Szenario B1 zeigen alle Daten einen Rückgang der Sommerniederschläge, der in manchen Fällen mehr als 10% der Niederschlagsmenge ausmacht. In

Kombination mit den steigenden Temperaturen und der längeren Vegetationsperiode steigt durch die mögliche Abnahme der Sommerniederschläge die Dürregefahr in der Region.

Für den Winter wird einheitlich mit einer Zunahme der Niederschläge gerechnet. Selbst für das Szenario B1 wurden z.T. erhebliche Zunahmen berechnet. Diese Verschiebung der Niederschläge dürfte unmittelbare Auswirkungen auf die Grundwasserstände in der Region und das Abflussverhalten der Oberflächengewässer haben.

Die Trendaussagen für Sommer und Winter geben allerdings keinen Anhaltspunkt über die Intensität der Niederschläge. Trotz geringerer Niederschläge im Sommer könnte sich die Zahl und der Umfang der extremen Niederschläge erhöhen.

Heterogene Trends

Bei der einheitlichen Temperaturentwicklung unterscheiden sich die Modelle zum einen in ihren Aussagen über die Stärke der Zunahme und zum anderen über die saisonale Verteilung. Je nach Modell sind die Entwicklungen in Herbst, Frühjahr und Sommer unterschiedlich stark, wobei der Winter immer die deutlichste Zunahme zeigt. Eine große Spannweite zeigt auch die mögliche Zunahme an heißen Tagen, die Ergebnisse reichen dabei von durchschnittlich mehr als einem halben Tag bis zu mehr als 10 Tagen. Die Zahl der Tropennächte zeigt dahingegen nur eine geringe Streuung. Die größte Veränderung wird hier mit einem Wert von 2,8 berechnet.

Während sich der Jahresniederschlag in den Modellen im Allgemeinen kaum verändert, zeigt die saisonale Niederschlagsverteilung deutliche Unterschiede. Im Frühjahr werden von manchen Ergebnissen Zunahmen von mehr als 20% projiziert, während andere Ergebnisse auch leichte Abnahmen ergeben. Noch weiter fällt die Diskrepanz im Herbst aus, hier sind sowohl deutliche Abnahmen von mehr als 15% sowie Zunahmen von mehr als 15% möglich. Obwohl der Winter einen klaren Trend zu mehr Niederschlägen aufzeigt, unterscheidet sich der Umfang der Niederschlagsmenge. Sie reichen von einer sehr geringen Zunahme bis hin zu mehr als einem Drittel (+36%) der Niederschläge des Referenzzeitraumes.

Die Zahl der Sturmtage zeigt einen uneinheitlichen Trend. In Kombination mit der großen Unsicherheit der Projektionen für diesen Parameter führt dies dazu, dass hier kaum valide Aussagen getroffen werden können. Die Modelle lassen Vermuten, dass es hier zu keinen erheblichen Verschiebungen in der Zahl der Sturmtage kommt. Die Frage, wie sich die Spitzenwindgeschwindigkeiten bei Sturmereignissen zukünftig verändern könnten, wird durch die Auswertungen nicht beantwortet.

Extremwerte

Die stärkste Zunahme der Durchschnittstemperatur wird in den Ergebnissen des Modells STAR2 für das Szenario A1B mit 2,3°C angegeben. Sie überschreitet damit schon zur Hälfte des Jahrhunderts die 2°-Marke und macht deutlich, dass selbst wenn es gelingt die globale Erwärmung im Mittel auf ein Minimum von 2° zu beschränken, regional deutlich höhere Temperaturzunahmen auftreten können.

Diese erhebliche Temperaturzunahme spiegelt sich auch in den anderen Spitzenwerten wieder, so geht hiermit eine Zunahme der mittleren Maximaltemperaturen um 2,5° einher und eine erheblichen Zunahme der heißen Tage um mehr als eine Woche. Gleichzeitig wird hier eine Verlängerung der Vegetationsperiode um einen Monat projiziert.

Den Spitzenwert bei der Abnahme der Frosttag erzeugt das Modell CLM ebenfalls für das Szenario A1B. Er liegt bei mehr als einem Monat im Vergleich zum Referenzzeitraum.

Die Extremwerte für die Veränderungen des Niederschlags sind sehr heterogen über die verschiedenen Modelle verteilt. Während die Ergebnisse von STAR2 im Szenario A1B eine deutliche Zunahme der Winterniederschläge von mehr als 20% zeigen, ergibt das Modell CLM eine ebenso große Zunahme im Frühjahr. Ebenfalls bei der Abnahme der Niederschläge im Sommer zeigt STAR2 gemeinsam mit WettReg im Szenario A1B die größten Werte. Hier wird mit einem Rückgang um bis zu 15% gerechnet. Bei den Herbstniederschlägen zeigen die Modelle REMO und WettReg die stärksten Veränderungen. Das Modell REMO ergibt eine Abnahme von mehr als 20% während das Modell WettReg eine Zunahme von mehr als 20% für das gleiche Szenario errechnet. Auch an dieser Stelle gilt, dass die Aussagen über die generellen Trends der Niederschlagsverteilung nur wenige Aussagen über die Intensität der Niederschläge zulassen. Im Allgemeinen wird von einer Zunahme von Extremniederschlägen in Deutschland ausgegangen. Dies gilt vor allem für die Sommermonate, so dass die geringeren Regenmengen vermehrt in Form von Starkregen fallen.

3.3 Mögliche Wirkfolgen des Klimawandels in Bad Liebenwerda

Wie in Kapitel 1.1. bereits beschrieben sind die Wirkfolgen des Klimawandels nicht nur von den klimatischen Veränderungen abhängig, sondern auch und vor allem von der Situation der betroffenen Region. Die Wirkfolgen des Klimawandels lassen sich daher nicht alleine aus klimatischen Modellen ableiten sondern bedürfen einer regional differenzierten Betrachtung, die auch die lokalen Besonderheiten berücksichtigt. Für die Region um Bad Liebenwerda wurden bereits in mehreren Untersuchungen einzelne Wirkfolgen des Klimawandels betrachtet. Die Darstellungen von Zebisch et al. 2005 und der Vorstudie zu den Modellvorhaben der Raumordnung (BMVBS/BBR 2008; BMVBS 2010; Rannow et al. 2008) geben einen Gesamtüberblick über Deutschland und lassen einen Vergleich der Betroffenheit mit andere Regionen zu. Der Bericht von Gerstengarbe et al. 2003 (Brandenburg-Studie) sowie die Ergebnisse des Forschungsprojektes GLOWA-Elbe (z.B. Bronstert et al. 2003; Koch et al. 2008; Wattenbach et al. 2007; Wechsung et al. 2008) geben Einblicke in mögliche regionsspezifische Wirkfolgen des Klimawandels. Darüber hinaus geben verschiedene Einzeluntersuchungen (z.B. Badeck et al. 2004; Holsten et al. 2009; Lasch et al. 1999) erste Hinweise auf problematische Entwicklungen.

Die oben genannten Quellen wurden auf ihre Aussagen für Bad Liebenwerda hin überprüft. Die Ergebnisse werden im Folgenden kurz dargestellt und im Anschluss der Liste potentieller Wirkfolgen mit Relevanz für die Stadtentwicklung gegenüber gestellt. Es muss allerdings betont werden, dass viele der Untersuchungen nur die Ergebnisse einzelner Szenarien oder Modelle widerspiegeln. In den seltensten Fällen fand ein rigoroser Vergleich der verschiedenen Zukunftsoptionen statt. Die Ergebnisse stellen in den meisten Fällen also nur eine der möglichen Entwicklungen dar. Diese Form der Darstellung sollte nicht dazu führen, dass die Ergebnisse als einzig mögliche Zukunftsentwicklung missverstanden werden. Sie geben vielmehr einen ersten Hinweis auf mögliche Entwicklungen. Es ist damit zu rechnen, dass im Laufe der nächsten Jahre weitere Ergebnisse erzeugt werden, die die bestehenden Untersuchungen in ihrer Vielfalt und Präzision ergänzen.

Bei der Betrachtung zukünftiger Entwicklungen sollte auch nicht vergessen werden, dass bereits heute Extremsituationen in regelmäßiger Folge auftreten. Insbesondere bei relativ seltenen, vielfach mit „100 oder 50 jährlich“ bezeichneten Ereignissen treten erhebliche Schäden auf, für die nur unzureichende Vorsorge getroffen wird.

3.3.1 Bisherige Erkenntnisse über mögliche Wirkfolgen des Klimawandels in Bad Liebenwerda

Auswertung Zebisch et al. 2005

Mit dem Bericht „Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Strategien Klimasensibler Systeme“ haben Zebisch und Kollegen einen umfassenden Überblick über die möglichen Konsequenzen des Klimawandels in Deutschland vorgelegt. Es werden dabei die Themen Wasserhaushalt, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Biodiversität und Naturschutz, Gesundheit, Tourismus sowie Verkehr betrachtet. Der Bericht fasst mehrere Experteneinschätzungen über die Konsequenzen für diese Bereiche anhand von Großlandschaften zusammen. Darüber hinaus werden zu einzelnen Themenfeldern die Ergebnisse des Projektes ATEAM präsentiert, die eine feinere räumliche Auflösung aufweisen. Aus dem Bericht lassen sich zu den Themen Abflussverhalten von Gewässern, Holzzuwachs, Waldbrandgefährdung und Artenvielfalt spezifische Aussagen für die Region um Bad Liebenwerda gewinnen. Darüber hinaus ist die Einschätzung der Folgen für die Forstwirtschaft für Brandenburg und die zusammenfassende Darstellung für die Großlandschaft des Süddeutschen Becken- und Hügellandes für die lokale Einschätzung aufschlussreich.

Zur Beurteilung der Auswirkung des Klimawandels auf das Abflussverhalten der Fließgewässer werden im Bericht verschiedene Karten präsentiert. Sie stellen die Ergebnisse von Berechnungen für die Szenarien A1, A2, B1 und B2 dar. Im Vergleich zu 1990 wird für die Region um Bad Liebenwerda für das Jahr 2050 im Jahresabfluss zumeist eine neutrale Entwicklung projiziert. Die Simulationen für das Szenario A2 weist eine Zunahme der Abflussmenge um bis zu 40% aus. Der Mindestabfluss des Jahres wird in allen Szenarien als unverändert dargestellt. Sehr unterschiedlich zeigt sich die Situation in Bezug auf den Sommerabfluss. Hier werden je nach Szenario sowohl Abnahmen um bis zu 30 % (Szenario A1) oder Zunahmen um bis zu 20% (Szenario A2) dargestellt.

Für den Holzzuwachs wird in allen Szenarien in der Region mit einem Rückgang gerechnet. Er erreicht in den Berechnungen für die Szenarien B1 und B2 bis zu -30%. Zur Einschätzung der Waldbrandgefahr wird im Bericht der Waldbrandindex verwendet. Für die Region um Bad Liebenwerda zeigen die Karten eine neutrale bis leicht steigende Waldbrandgefahr (+ 0,2). Die Experteneinschätzung für das Land Brandenburg sieht ebenfalls in der steigenden Waldbrandgefahr eine bedeutende Konsequenz des Klimawandels. Weiterhin als sehr negativ für die forstwirtschaftliche Nutzung in Brandenburg werden die Gefährdung durch längere Trockenperioden, sinkende Grundwasserstände und eine steigende Anfälligkeit gegenüber herkömmlichen Schadorganismen gesehen. Als negativ eingeschätzt werden die Risiken extremer Trockenperioden, häufigerer extremer Niederschläge und das klimabedingte Auftreten neuer Schädlinge. Dahingegen wird den Chancen für die Forstwirtschaft durch die klimatischen Veränderungen nur wenig Positives abgewonnen.

Für das Themenfeld Biodiversität und Naturschutz werden Berechnungen zur Überlebensfähigkeit von Stichproben aus verschiedenen Artengruppen präsentiert. Hierzu zählen 1350 krautige Pflanzen, 125 Bäume, 108 Amphibien und Reptilien und 383 Vögel. Der größte Effekt zeigt sich bei dieser Methodik bei den krautigen Pflanzen. Hier wird einheitlich über alle Szenarien ein Rückgang um 10 bis 20% projiziert. Bei den Bäumen, Amphibien und Reptilien sowie bei den Vögeln wird dahingegen eine neutrale Entwicklung dargestellt.

In der Zusammenfassung wird dem Südostdeutschen Becken- und Hügelland eine hohe Vulnerabilität attestiert. Davon ausgehend, dass keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden, erzeugen vor allem die Bereiche Hochwasser, Dürre, Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Gesundheit (Hitze und einwandernde Krankheiten) die größte Verwundbarkeit. Der Bereich Biodiversität und Naturschutz ist in der Region besonders verwundbar, wenn es gilt das bestehende Arteninventar zu erhalten. Der Prozessschutz als Leitidee des Naturschutzes wird dahingegen von den Experten als mäßig verwundbar eingestuft. Es wird im Bericht darauf hingewiesen, dass die Verwundbarkeit in allen Themenfeldern durch vorausschauende Maßnahmen deutlich reduziert werden kann.

Zusammenfassend kann aus der Studie geschlossen werden, dass in der Region um Bad Liebenwerda als Teil des Südostdeutschen Becken- und Hügellandes vor allem in den Bereichen des Wasserhaushaltes, der Land- und Forstwirtschaft, der Gesundheit und des Naturschutzes starker Anpassungsbedarf besteht.

Auswertung MORO-Vorstudie

Im Rahmen der Vorstudie zu den Modellprojekten der Raumordnung (MORO) wurde eine bundesweite Analyse von elf als raumordnerisch relevant eingestuften Wirkfolgen vorgenommen (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Liste der in der MORO-Vorstudie analysierten Wirkfolgen des Klimawandels (BMVBS/BBR 2008, S.3)

In der MORO-Vorstudie betrachtete raumordnerisch relevante Wirkfolgen des Klimawandels in Deutschland	
Schleichende Veränderungen	Zunehmender Verlust des Oberbodens durch Wassererosion
	Steigende Gefährdung der Artenvielfalt
	Zunehmende Schwankung des Grundwasserspiegels
	Einschränkung der als Brauchwasser nutzbaren Wasserressourcen
Extremereignisse	Häufigere Hitzeperioden oder Hitzewellen
	Häufigere Starkregenereignisse und Sturzfluten
	Veränderung von Frequenz und Stärke von Flusshochwässern
	Häufigere und höhere Sturmwaterstände
	Steigende Gefahr von gravitativen Massenbewegungen
	Steigende Waldbrandgefahr
	Häufigere Beeinträchtigung und Zerstörung der Infrastruktur

Die Untersuchung bezieht sich auf die Raumordnungsregionen in Deutschland bietet aber auch eine Auswertung für die Kreise und kreisfreien Städte. Im Rahmen dieser Untersuchung können demnach die Ergebnisse für den Landkreis Elbe-Elster genutzt werden, um Aussagen für die Region um Bad Liebenwerda abzuleiten. Da die Vorstudie für eine Betrachtung bis 2100 konzipiert war, stehen für den hier betrachteten Zeitraum nur die Darstellungen für das Szenario A1B für die Periode 2041 bis 2070 zur Verfügung (Rannow et al. 2008, S.257ff). Im Vergleich mit den meisten anderen Kreisen und kreisfreien Städten liegt die Region um Bad Liebenwerda in ihrer Betroffenheit im Mittelfeld. In den meisten Wirkfolgen zeigt sie bis zum Zeitraum 2041-2070 im Szenario A1B eine mäßige Betroffenheit. Lediglich bei der Gefahr von häufigeren Hitzeperioden oder Hitzewellen zeigt sie eine starke Betroffenheit. Die Themen zunehmende Schwankungen des Grundwasserstandes, häufigeren gravitative Massenbewegungen (wie z.B. Erd- und Hangrutschungen) sowie vermehrt auftretenden Sturzfluten weisen eine geringe Betroffenheit auf.

Für die Auswertung der Betroffenheit wurde in der Vorstudie auch eine Einschätzung der Anfälligkeit vorgenommen. Diese beruht auf der Auswertung kreisbezogener Statistiken und beschreibt den status quo der Region. Hier zeigt sich, dass der Landkreis Elbe-Elster vor allem gegenüber der Gefahr von häufigeren Hochwässern, Hitzewellen und gravitativen Massenbewegungen eine hohe Anfälligkeit aufweist. Dahingegen weisen die Infrastruktur und die häufigeren Sturzfluten nur eine geringe Anfälligkeit auf. Alle anderen Bereiche wurden im Vergleich mit den anderen Landkreisen in Deutschland als mäßig anfällig eingestuft.

In der Zusammenfassung lässt sich aus den Ergebnissen der MORO-Vorstudie der Schluss ziehen, dass vor allem die steigende Häufigkeit und Dauer von Hitzebelastungen einen Handlungsdruck in Bad Liebenwerda hervorruft. Aufgrund der hohen Anfälligkeit sollte auch auf den Bereich des Hochwasserschutzes ein stärkeres Augenmerk gerichtet werden. Der Gefahr häufigerer Waldbrände, des steigenden Artenrückganges, einer stärkeren Bodenerosion und Veränderungen im Dargebot des Brauchwassers sollte mit Maßnahmen begegnet werden, während Schäden an der Infrastruktur, gravitative Massenbewegungen, Sturzfluten und Schwankungen des Grundwasserstandes in ihrer Entwicklung beobachtet werden sollten, um ggf. frühzeitig eingreifen zu können.

Auswertung Brandenburg-Studie

Mit dem Pik Report No 83 haben Gerstengarbe und Kollegen im Jahre 2003 eine „Studie zur Klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven“ vorgelegt (Gerstengarbe et al. 2003). In der so genannten „Brandenburg-Studie“ werden zunächst die klimatischen Verhältnisse und Entwicklungen im Zeitraum 1951-2000 dargestellt. Diesen werden die Projektionen eines einzelnen statistischen Klimamodells für das Szenario A1B bis zum Zeitraum 2046-2055 gegenübergestellt. In dieser Modellierung steigt die Jahresmitteltemperatur um 1,4°C an, gleichzeitig wird ein erheblicher Rückgang der Niederschlagssumme projiziert, der im südwestlichen Brandenburg mehr als 200 mm erreicht.

Aufbauend auf der Beschreibung der projizierten klimatischen Veränderungen dieses Modells, werden die möglichen Wirkfolgen in den Themenbereichen Wasserhaushalt, Forst- und Landwirtschaft dargestellt.

Die Aussagen zum Wasserhaushalt beziehen sich hauptsächlich auf die Entwicklung der Sickerwasserbildung. Aufgrund des projizierten Rückganges der Niederschläge und der steigenden Temperaturen wird für Brandenburg im Allgemeinen ein Rückgang der Sickerwasserbildung projiziert. Da sich in der Region um Bad Liebenwerda für den Zeitraum 1970-1999 ein deutlicher Anstieg der Grundwasserstände des 1. Grundwasserleiters feststellen lässt, würde ein solcher Rückgang der Sickerwasserspende hier eine Umkehrung bestehender Trends darstellen.

In der Betrachtung der Wirkfolgen für den Bereich Forstwirtschaft wird das Waldsukzessionsmodell 4C eingesetzt. Mit dessen Hilfe wird vor allem der Kohlenstoff- und Wasserhaushalt der Wälder unter dem oben beschriebenen Szenario untersucht. Aufgrund des Fehlens von Aufnahmepunkten der ökologischen Waldzustandskontrolle, konnten für den Bereich um Bad Liebenwerda in dieser Untersuchung keine Aussagen generiert werden.

In den Darstellungen zum Themenbereich Landwirtschaft wird neben der Entwicklung des Bodenwasservorates die Produktivität Brandenburger Ackerflächen im Bereich Weizen- und Maisanbau betrachtet. Durch den prognostizierten Rückgang der Evapotranspiration und der damit steigenden Gefahr von Trockenstress wird eine Verringerung der mittleren Erträge von Winterweizen um 17% in Brandenburg errechnet. Dieser Rückgang kann in Teilen durch einen CO₂-Düngeeffekt wieder aufgehoben werden, so dass der Rückgang der Weizenerträge insgesamt auf 10% geschätzt wird. Aufgrund der verlängerten Vegetationsperiode wird in Brandenburg für die Maisproduktion mit einem leichten Anstieg gerechnet. Die Karten zur Ertragsentwicklung von Weizen und Mais zeigen für die Region um Bad Liebenwerda für beide Produkte einen Ertragsrückgang an. Ohne Berücksichtigung des CO₂-Düngeeffektes liegt er bei Weizen um -25% und bei Mais bei bis zu -15%.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Brandenburg-Studie mit der angewendeten Methodik für den Zeitraum 2046-2055 und das Szenario A1B einen deutlichen Rückgang der Niederschläge vor allem im Sommer projiziert. Dieser Rückgang hat für alle weiteren in der Studie betrachteten Themenfelder erhebliche Auswirkungen.

Auswertung GLOWA-Elbe

Das Projekt „Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserkreislauf im Elbeinzugsgebiet“ (GLOWA-Elbe) umfasst einen umfangreichen Katalog an Einzeluntersuchungen, die in Bezug auf das Einzugsgebiet der Elbe durchgeführt wurden. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf der Betrachtung des Wasserhaushaltes, daneben wurden aber auch die Auswirkungen des Klimawandels auf damit verbundene Themen wie z.B. die Landwirtschaft (Wechsung et al. 2008) betrachtet. Die Ergebnisse des Projektes wurden sukzessive in mehreren Einzelarbeiten veröffentlicht. Darunter finden sich auch einige Arbeiten, die sich mit der Region um Bad Liebenwerda oder angrenzenden Gebieten beschäftigen. Für die vorliegende Studie wurden die Arbeiten von Bronstert et al. 2003; Koch et al. 2008; PT-DLR 2005; Wattenbach et al. 2007, Wechsung et al. 2005 und Wechsung et al. 2008 ausgewertet. Sie decken die Bereiche Wasserhaushalt (Bronstert et al. 2003; Wattenbach et al. 2007) und Landwirtschaft (Wechsung et al. 2008) ab.

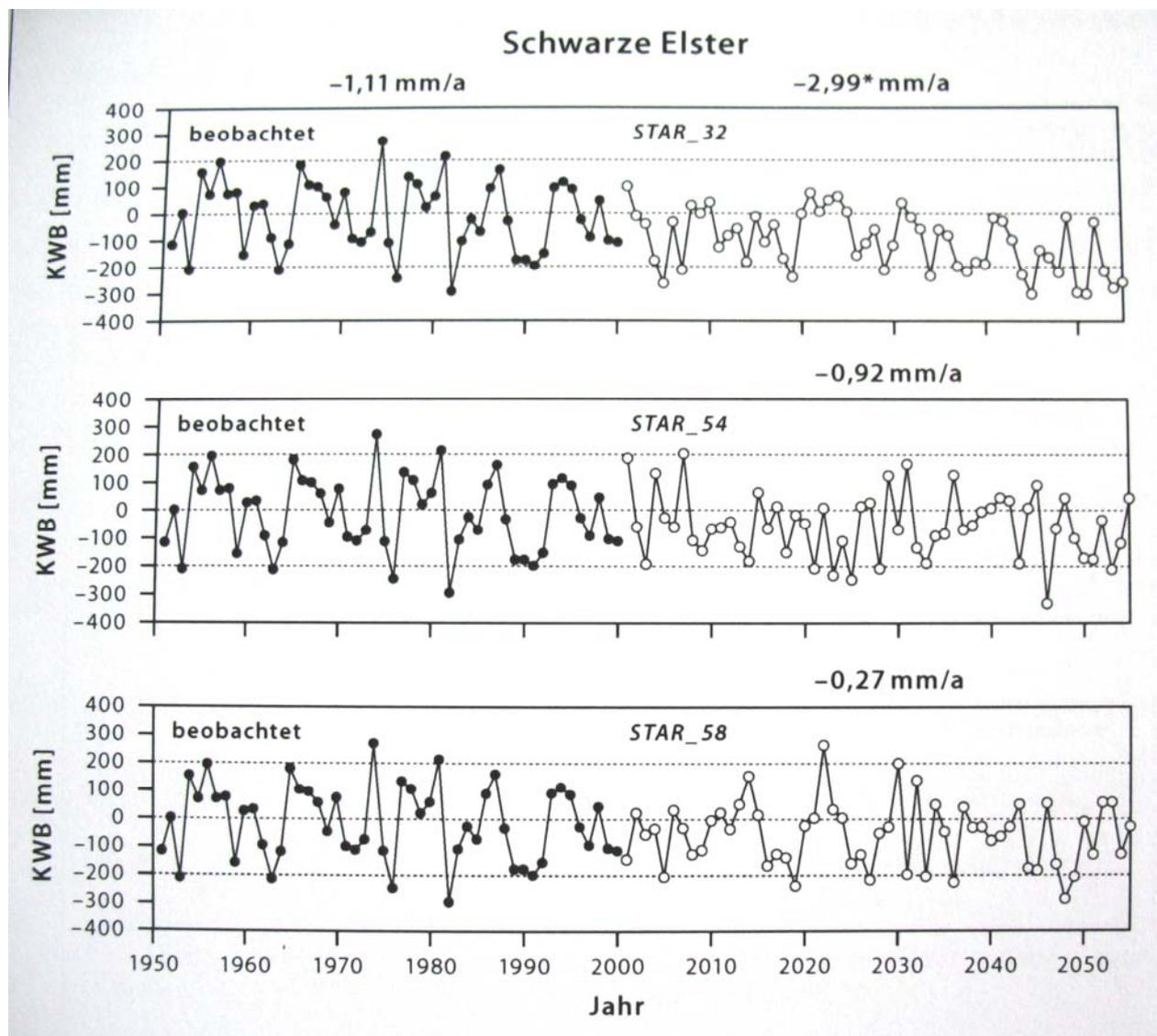
Bereich Wasserwirtschaft

Die Betrachtungen der hydrologischen Verhältnisse im Projekt GLOWA-Elbe beziehen sich zunächst auf die Darstellung möglicher Trends. Dabei wird festgestellt, dass für Brandenburg in den letzten 40 Jahren mit 1°C eine Erwärmung festzustellen war, die über dem globalen Mittel von 0,7°C liegt (Bronstert et al. 2003, S.76). Bei den Niederschlägen lässt sich zwischen 1961 und 1998 eine signifikante Abnahme im

Monat Mai feststellen. Ebenfalls deutlich zu erkennen ist eine hohe Variation zwischen einzelnen Jahren, d.h. das Auftreten hydrologischer Extremzustände wie Hochwässer und Dürren (ebd.). Bis zum Jahr 2050 wird in der Modellierung in den Sommermonaten mit einer Abnahme des zur Verfügung stehenden Bodenwassers gerechnet (ebd., S. 78). Damit verstärken sich die bestehenden Wasserstressbedingungen. Für die Starkniederschläge wird mit einer Zunahme gerechnet, die zu vermehrten Hochwassersituationen führt (ebd., S.79). Gleichzeitig wird im Winter ein Rückgang solcher Hochwasserereignisse erwartet, die durch den Rückstau von Eisschollen auf Fließgewässern ausgelöst werden. Zusammenfassend rechnen Bronstert und Kollegen mit den größten Wirkungen des Klimawandels im Wasserhaushalt Brandenburgs in den Bereichen Grundwasserneubildung und Gewässerdurchfluss.

Wechsung et al. 2005 verdeutlichen diese Entwicklung mit Hilfe eines Vergleiches der klimatischen Wasserbilanz, d.h. dem Verhältnis der Niederschlagssumme zur potentiellen Verdunstung (und Interzeption) für das Einzugsgebiet der Schwarzen Elster (siehe Abbildung 9). Je nach verwendeter Realisierung des regionalen Klimamodells STAR, lässt sich eine weitere Minderung der klimatischen Wasserbilanz feststellen (STAR_32). Bei anderen Modellläufen ergibt sich aber auch eine leichte Steigerung der klimatischen Wasserbilanz ablesen (STAR_58).

Abbildung 9: Jahresreihen der klimatischen Wasserbilanz nach verschiedenen Modellläufen des regionalen Klimamodells STAR für das Einzugsgebiet der Schwarzen Elster (Wechsung et al. 2005, S. 31)



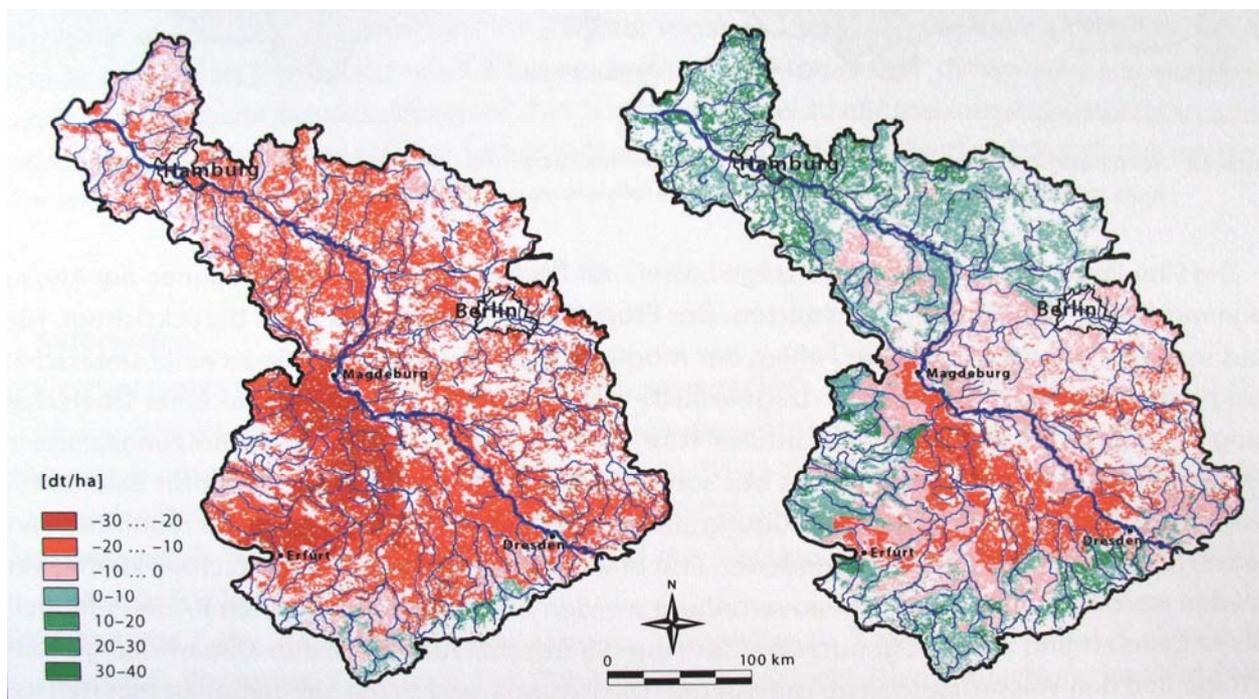
Wattenbach und Kollegen haben in einer Untersuchung die Wirkung von Aufforstungsmaßnahmen auf den Wasserhaushalt in Brandenburg betrachtet (Wattenbach et al. 2007). Hierzu wurden zwei

Politiksznarien für den Umgang mit landwirtschaftlichen Brachflächen und das forstwirtschaftliche Management analysiert. Für das erste Szenario wurde eine weitere Liberalisierung des Agrarmarktes postuliert, die in einer Zunahme von Brachflächen und ihrer Wiederbewaldung führt. Für das zweite Szenario wurde eine konsequente Umwandlung der bestehenden Kiefernwälder in eichendominierte Laub- und Mischwälder angenommen. Die Ergebnisse zeigen, dass durch eine Aufforstung landwirtschaftlicher Flächen die Evapotranspiration deutlich erhöht wird, während bei einem Waldumbau der Wert reduziert werden kann. Eine Steigerung der Verdunstungsleistung durch die Aufforstung würde sich vor allem in den Monaten Juli und August negativ auf die Grundwasserspense auswirken und damit die sommerliche Trockenperiode verschärfen (ebd., S. 8). In der Region um Bad Liebenwerda fällt die Veränderung der Evapotranspiration bei einer Aufforstung landwirtschaftlicher Flächen mit 0-20 mm/a nur gering aus. Durch die Umwandlung von Kiefernwäldern kann hier nach den Modellrechnungen eine Reduktion der Evapotranspiration um 10-20 mm/a erreicht werden. Die Untersuchung zeigt, dass die Folgen des Klimawandels durch Managementmaßnahmen aktiv beeinflusst werden können. Die negativen Trends in den hydrologischen Verhältnissen können durch eine Aufforstung bestehender landwirtschaftlicher Flächen verstärkt werden, während ein Waldumbau die Folgen des Klimawandels abmildern hilft.

Bereich Landwirtschaft

In der Arbeit „Die Ertragsfähigkeit Ostdeutscher Ackerflächen unter Klimawandel“ (Wechsung et al. 2008) werden Teilergebnisse des Projektes GLOWA-Elbe zum Themenfeld Landwirtschaft zusammengefasst. Dabei werden die der aktuellen Entwicklung das Szenario A1B zu Grunde gelegt und mit Hilfe des regionalen Klimamodells STAR für Brandenburg bis zum Jahr 2055 herunter gebrochen. Wie bereits im PIK Report 83 wird hier auch in erster Linie auf die Ertragsentwicklung für Silomais und Winterweizen eingegangen. Für den Landkreis Elbe-Elster wird dabei eine Ertragsänderung von -10% bei Weizen und -40% bei Mais projiziert. Gegenüber den Angaben von (Gerstengarbe et al. 2003) stellt sich damit die Situation für den Anbau von Weizen besser dar, während die Ertragsfähigkeit von Mais erheblich schlechter eingestuft wird. Ein möglicher Düngeeffekt durch die steigende CO₂-Konzentration der Atmosphäre wurde hierbei noch nicht berücksichtigt.

Abbildung 10: Projizierte Änderungen der mittleren Erträge für Weizen (links) und Mais (rechts) im Vergleich zwischen 1991-2000 und 2046-2055, auf Grundlage des Szenarios A1B und dem regionalen Klimamodell STAR (Wechsung et al. 2005, S. 161)

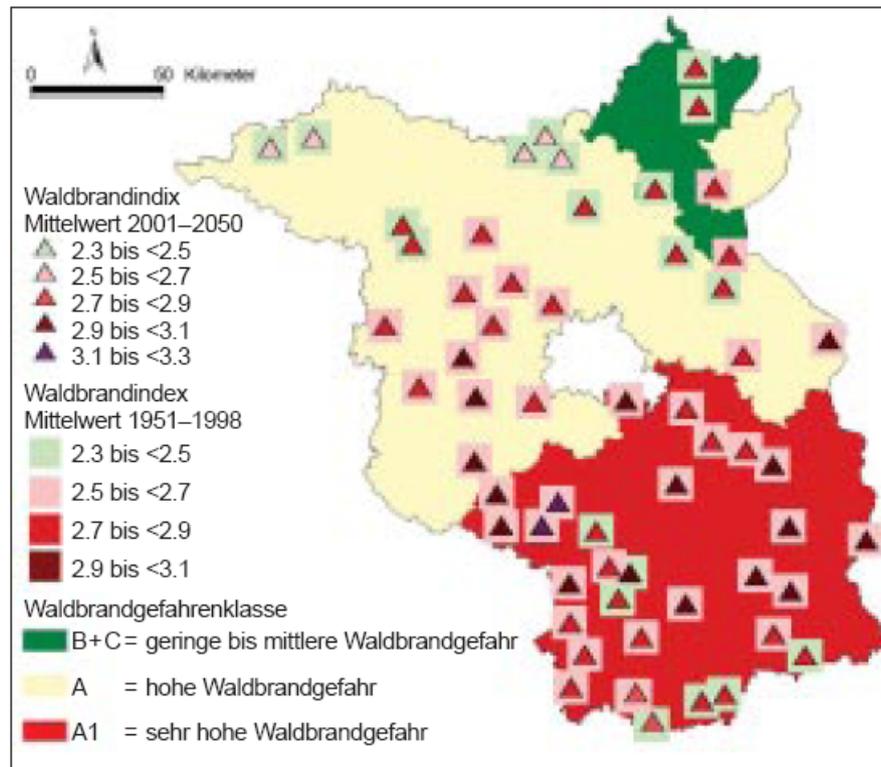


Auswertung von Einzeluntersuchungen

Badeck et al. 2004

In der Untersuchung von Badeck und Kollegen werden Ergebnisse zur Waldbrandgefährdung in Brandenburg vorgestellt. Sie stellen in dieser Form eine Spezifizierung der Teilergebnisse des Berichtes von Zebisch et al. 2005 dar. In der Untersuchung wurde die aktuelle Waldbrandgefährdung mit den Projektionen bis 2050 verglichen. Hierbei kam das Modell STAR des PIK auf Grundlage des Szenarios A1B zum Einsatz mit dessen Hilfe ein Waldbrandindex errechnet wurde. Die Auswertung zeigt für die Region um Bad Liebenwerda bereits eine hohe Waldbrandgefährdung (siehe Abbildung 11). Diese Gefahr wird sich nach diesen Modellrechnungen noch weiter verstärken.

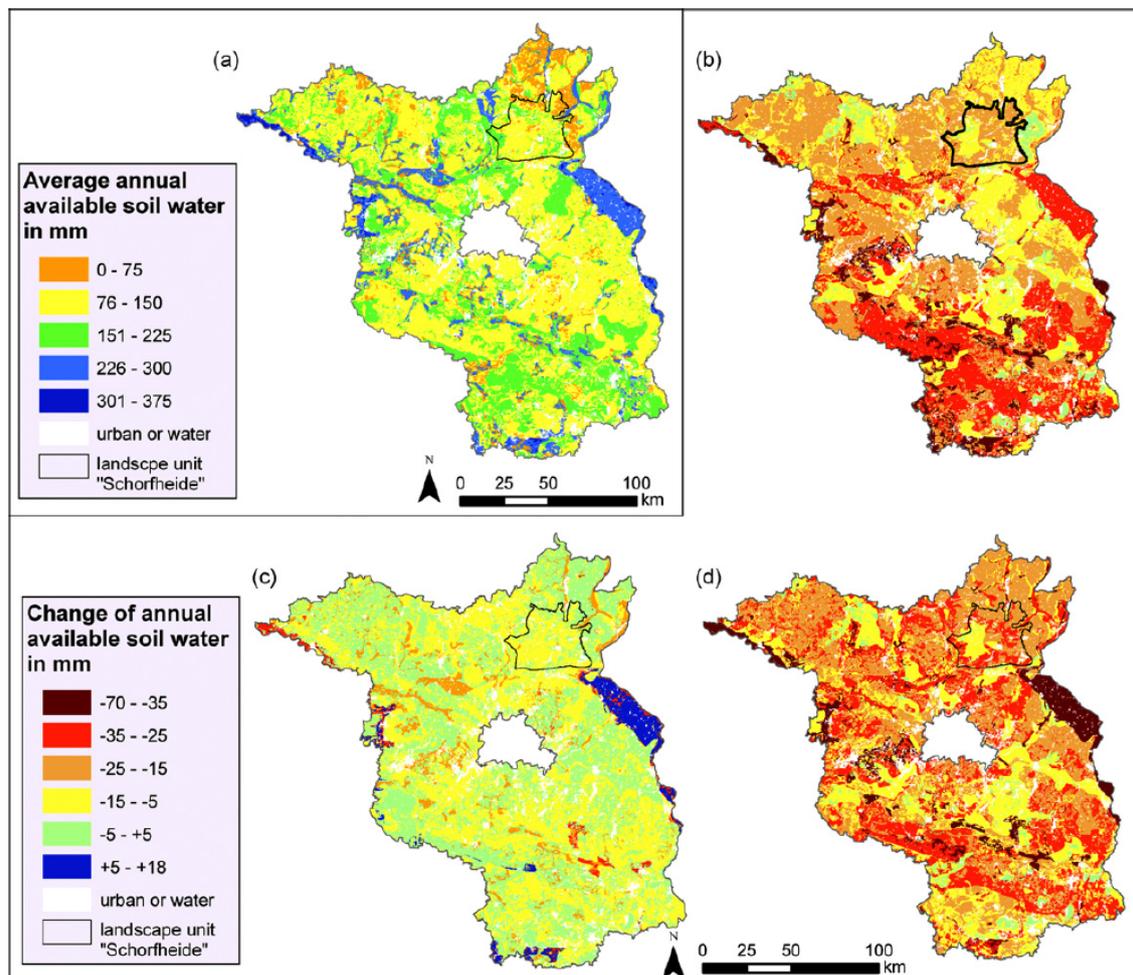
Abbildung 11: Änderung der Waldbrandgefährdung durch das klimatische Feuerrisiko für das Szenario A1B des regionalen Klimamodells STAR (Badeck et al. 2004, S. 3)



Holsten et al. 2009

In dem Beitrag „Impact of climate change on soil moisture dynamics in Brandenburg with focus on nature conservation areas“ stellen Holsten und Kollegen die Ergebnisse einer Untersuchung zur Veränderung des Bodenwasserhaushaltes vor (Holsten et al. 2009). Im Fokus der Studie stand das Land Brandenburg mit einem besonderen Augenmerk auf dessen Schutzgebiete. Grundlage für die Untersuchung waren die Ergebnisse des Modells STAR für das Szenario A1B bis zum Jahr 2055. Aufgrund der Besonderheiten des statistischen Modells STAR wurden die Ergebnisse in drei Klassen (feucht, mittel, trocken) eingeteilt. Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere die Feuchtgebiete in Brandenburg durch Trockenstress bedroht sind. Sie bilden aber auch wichtige Rückhalteräume, um den Abfluss von Niederschlägen über das Jahr zu vergleichmäßigen und ein Wasserdefizit im Sommer auszugleichen (ebd., S. 2085f).

Abbildung 12: Darstellung des mittleren verfügbaren Bodenwassers für die Periode 1961-1990 (a); Unterschied des verfügbaren Bodenwassers zwischen 1961-1990 und dem trockensten Jahr 2003 (b); mögliche Veränderung des verfügbaren Bodenwassers zwischen 1961-1990 und 2046-2005 nach einem feuchten Szenario (c) und einem trockenen Szenario (d) des regionalen Klimamodells STAR (Holsten et al. 2009, S. 2081)



Lasch et al. 1999

In ihrem Artikel „Regional impact analysis of climate change on natural and managed forests in the Federal State of Brandenburg, Germany“ (Lasch et al. 1999) haben Lasch und Kollegen die möglichen Wirkung des Klimawandels auf die Baumartenzusammensetzung in Brandenburg untersucht. Hierbei wurde das forstwirtschaftliche Modell FORSKA und ForClim genutzt um Aussagen über die Veränderungen zwischen der Periode 1951 bis 1990 und der Periode 1996 und 2050 zu erzeugen. Dafür wurde ein Basisszenario (BASC) unter einem eigenen Extremszenario (SE15). Dieses Extremszenario legt nahe, dass in der Region Südwest Brandenburg die Jahresdurchschnittstemperatur um 1,5 °C steigt, Jahresniederschläge um 120 bis 140 mm/a zurückgehen, die Zahl der heißen Tage um 35% steigt und die Zahl der kalten Tage um 27% zurückgeht.

Die Ergebnisse legen nahe, dass selbst im Basisszenario, das den aktuellen Klimaentwicklungen entspricht, die Produktivität vor allem von reinen Kiefernkulturen unter traditioneller forstwirtschaftlicher Nutzung zurückgeht. Ein Waldumbau zu trockenstress-resistenteren Mischwäldern mit hohem Eichenanteil wurde unter einem adaptiven Management bevorzugt. Der Rückgang der Produktivität lag unter den Bedingungen des Extremszenarios SE15 noch deutlich höher. Eine Anpassung der forstwirtschaftlichen Managements konnte diesen Einbruch allerdings abmildern. Im Gegensatz zu den bewirtschafteten Wäldern zeigen natürliche Wälder in dieser Untersuchung eine starke Anfälligkeit gegenüber den klimatischen Veränderungen. Sie werden in der Simulation von einer starken Artenverschiebung betroffen.

3.3.2 Zusammenfassung der möglichen Wirkfolgen des Klimawandels in Bad Liebenwerda

Tabelle 7: Übersicht über mögliche Wirkfolgen des Klimawandels und bestehenden Einschätzungen zu ihrer Relevanz für Bad Liebenwerda

Wirkfolgen des Klimawandels auf den urbanen Raum		Einschätzung Erhebungsbogen Bad Liebenwerda	weitere Bemerkungen zur Einschätzung	Vorhandene Forschungsergebnisse
Menschliche Gesundheit				
1	sinkender thermischer Komfort	2	Hitzestress ist von Bedeutung, weil die räumliche Lage der Stadt schon heute längere Hitzeperioden mit sich bringt und die Anforderungen an die Vorsorge und den Schutz von Menschen und Sachgütern einen besondere Beachtung erfordert.	Klimamodelle zeigen einheitlich eine steigende Zahl der heißen Tage und Tropennächte (Heiße Tage + 0,5 bis 10 Tage, Tropennächte bis +2,8 Tage).
2	Hitze und Kälte bedingte Todesfälle	1		
3	steigende Gefahr von vektorbasierten Krankheiten	1		Das Südostdeutschen Becken- und Hügellandes wird generell als stark vulnerabel eingeschätzt (Zebisch et al. 2005).
4	steigende Gefährdung durch Extremereignisse	1		Es wird damit gerechnet, dass vor allem im Winter Starkniederschläge vermehrt auftreten, die Hochwasserereignisse auslösen (Bronstert et al. 2003).
Energie				
5	steigender Energiebedarf für Kühlung	1		
6	steigender Energiebedarf für die Aufbereitung von Wasser	1		
7	sinkender Energiebedarf für Heizung	0		Klimamodelle zeigen einheitlich einen Rückgang der Frosttage (bis zu 1 Monat).
8	sinkende Versorgungssicherheit (insb. bei kühlwasserabhängiger Energiegewinnung)	0		[Untersuchungen für das benachbarte Einzugsgebiet der Mulde gehen davon aus, dass das sinkende Wasserdargebot im Sommer durch einen sinkender (Trink-)Wasserbedarf kompensiert wird (Koch et al. 2008).]
			<i>abgestimmte Verwendung erneuerbarer Energien zur Unterstützung der Anpassung an den Klimawandel vor Ort</i>	
Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft				

Wirkfolgen des Klimawandels auf den urbanen Raum		Einschätzung Erhebungsbogen Bad Liebenwerda	weitere Bemerkungen zur Einschätzung	Vorhandene Forschungsergebnisse
9	Veränderte Häufigkeit und Höhe von Hochwässern	2	Schwarze Elster fließt durch Bad Liebenwerda (Auswirkung der Elbehochwasser), bei Hochwasserereignissen ist die Stadt und insbesondere der Kurpark + Kurmittelzentrum gefährdet.	Es wird mit dem Auftreten vermehrter Hochwasserereignisse gerechnet (Bronstert et al. 2003). Die Region wird als sehr anfällig für Hochwasserereignisse eingestuft und wird stark von ihnen betroffen (Rannow et al. 2009).
10	steigender Wasserbedarf im Sommer	2		<i>[Untersuchungen für das benachbarte Einzugsgebiet der Mulde gehen davon aus, dass das sinkende Wasserdargebot im Sommer durch einen sinkender (Trink-)Wasserbedarf kompensiert wird (Koch et al. 2008).]</i>
11	sinkende Wasserverfügbarkeit im Sommer	2		Keine eindeutige Aussage aus den Modellen, es kann je nach Szenario sowohl zu einer Zunahme der Abflussmenge (um bis zu 20%) als auch zu einer Abnahme (um bis zu 30%) kommen (Zebisch et al. 2005). Die Ergebnisse des Projektes GLOWA-Elbe legen einen Rückgang des Sommerabflusses nahe (Bronstert et al. 2003).
12	Veränderung des Grundwasserspiegels	1	auch Bergbaufolgeeffekt	Es wird mit einer Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter gerechnet (Bronstert et al. 2003). Dadurch verringert sich die Sickerwasserspende vor allem im Sommer (Gerstengarbe et al. 2003). Wattenbach et al. 2007 zeigen, dass die Grundwasserspende durch forstliche Maßnahmen beeinflusst werden kann.
13	Veränderte Qualität der Oberflächengewässer	2		
14	Veränderte Qualität des Grundwassers	1		
Technische und soziale Infrastruktur				
15	veränderte Ansprüche an die technische Infrastruktur (z.B. Entwässerung)	2	bereits jetzt bei Starkregenereignissen; Regenrückhaltung (bei Starkregenereignissen), durch Öffnung der Stadtgräben	
16	veränderte Ansprüche an die soziale Infrastruktur (z.B. Klimatisierung von	1		

Wirkfolgen des Klimawandels auf den urbanen Raum		Einschätzung Erhebungsbogen Bad Liebenwerda	weitere Bemerkungen zur Einschätzung	Vorhandene Forschungsergebnisse
	Kindergärten und Schulen)			
17	vermehrte Schäden und Ausfälle bei Extremereignissen	1		Es wird damit gerechnet, dass vor allem im Winter Starkniederschläge vermehrt auftreten, die Hochwasserereignisse auslösen (Bronstert et al. 2003).
18	steigender Bedarf an Einsatzkräften für die Bewältigung von Extremereignissen	1		Es wird damit gerechnet, dass vor allem im Winter Starkniederschläge vermehrt auftreten, die Hochwasserereignisse auslösen (Bronstert et al. 2003). Es wird damit gerechnet, dass die Waldbrandgefährdung in der Region weiter ansteigt (Badeck et al. 2004).
Transport und Verkehr				
19	vermehrte Behinderungen und Verspätungen durch Extremereignisse	k.A.		Es wird damit gerechnet, dass vor allem im Winter Starkniederschläge vermehrt auftreten, die Hochwasserereignisse auslösen (Bronstert et al. 2003). Es wird damit gerechnet, dass die Waldbrandgefährdung in der Region weiter ansteigt (Badeck et al. 2004).
20	steigende Kosten für die Instandhaltung	k.A.		
21	veränderte Bedarf an Transportdienstleistungen	k.A.		
22	veränderte Ansprüche an Transportdienstleistungen (z.B. Klimatisierung)	k.A.		
Freiräume und Grünflächen				
23	steigender Bedarf an Kaltluftentstehungsgebieten	1	Qualifizierung von Freiräumen und Grünflächen zur Anpassung an den Klimawandel durch Etablierung von zukunftsfähigen Großgrün	Klimamodelle zeigen einheitlich eine steigende Zahl der heißen Tage und Tropennächte (Heiße Tage + 0,5 bis 10 Tage, Tropennächste bis +2,8 Tage).
24	steigender Bedarf an Erholungsflächen	2		
25	veränderte Ansprüche an die Ausgestaltung von Freiflächen (z.B. Schattenplätze, Wasserflächen)	2		

Wirkfolgen des Klimawandels auf den urbanen Raum		Einschätzung Erhebungsbogen Bad Liebenwerda	weitere Bemerkungen zur Einschätzung	Vorhandene Forschungsergebnisse
26	Veränderung des Pflegebedarfes (insb. Bewässerung)	2	Kommunale Leistungsfähigkeit bei der Grünflächenpflege	
27	Veränderung der Eignung von Pflanzen (z.B. Straßenbäume)	2		
28	Veränderung der Biodiversität	2		Verlust von 10 bis 20% krautiger Pflanzenarten (Zebisch et al. 2005); starke Verschiebung bei der Artenzusammensetzung in natürlichen Wäldern (Lasch et al. 1999); Gefährdung von Feuchtgebieten durch Veränderung des Bodenwasserhaushaltes (Holsten et al. 2009).
Lufthygiene				
29	steigende Konzentration toxischer Stoffe (z.B. Ozon, Stäube)	2	wegen Kurbetrieb ist der Faktor Lufthygiene prioritär	
30	steigende olfaktorische Belastungen	1		
31	steigender Bedarf an Frischluftentstehungsgebieten	1		
Tourismus und Kulturerbe				
32	Häufigere Schäden an Gebäuden, Denkmälern und Kultureinrichtungen	2	Kurortentwicklung und sanfter Tourismus	
33	Veränderungen der touristischen Saison	1		
34	Auswirkungen auf das Stadtimage	1		
35	Veränderung der Badegewässerqualität (z.B. durch Algenblüten)	1		
Land- und Forstwirtschaft				
36	Verlängerung der Wachstumsperiode	1		Klimamodelle zeigen deutliche Verlängerung der Vegetationsperiode (ca. 1 Monat)

Wirkfolgen des Klimawandels auf den urbanen Raum		Einschätzung Erhebungsbogen Bad Liebenwerda	weitere Bemerkungen zur Einschätzung	Vorhandene Forschungsergebnisse
37	geringere Wasserverfügbarkeit im Sommer	2		In mehreren Studien wird mit einem Rückgang des verfügbaren Bodenwasser im Sommer gerechnet (Holsten et al. 2009; Wechsung et al. 2008), was zu einer Verringerung der Erträge sowohl im Forst (Lasch et al. 1999) als auch im Ackerbau führen kann (Gerstengarbe et al. 2003; Wechsung et al. 2008).
38	Umstellung auf andere Arten	2		In der Forstwirtschaft wird mit dem Rückgang der Produktivität von Kiefernwäldern gerechnet und ein Wechsel zu eichendominierten Misch- und Laubwäldern empfohlen (Lasch et al. 1999).
			<i>landschaftsräumliche Gestaltung der durch Monokulturen geprägten landwirtschaftlichen Nutzflächen und der ökologischen Aufwertung; Strukturwandel durch Energiegewinnungspotenziale</i>	
lokal begrenzte Wirkfolgen				
39	Auswirkung der steigenden Meeresspiegel (inkl. Sturmflutgefährdung)	0		
40	Auswirkung auf die Stabilität des Untergrundes (inkl. Berg- und Hangrutschungen)	0		

4 Untersuchung der räumlichen Anfälligkeit gegenüber möglicher Wirkfolgen

4.1 Auswahl der Wirkfolgen für die Analyse der räumlichen Anfälligkeit

In der ExWoSt-Vorstudie „Klimawandelgerechte Stadtentwicklung – Ursachen und Folgen des Klimawandels durch urbane Konzepte begegnen“ (BMVBS / BBSR 2009) werden 40 Wirkfolgen definiert. Im Rahmen dieser Studie sollen fünf von diesen mit besonderer Relevanz für die Gemeinde Bad Liebenwerda exemplarisch für die Auswirkungen des Klimawandels analysiert werden. Zu diesem Zweck wurden im Rahmen eines Workshops¹ mit Hilfe der aus der Region stammenden Teilnehmer zunächst sieben Wirkfolgen ermittelt. Ziel war es, eine erste Eingrenzung relevanter Wirkfolgen auf Basis von Erfahrungen und Ortskenntnissen der Teilnehmer vorzunehmen. Da diese zum großen Teil keine speziellen Fachkenntnisse bezüglich des Klimawandels und seiner Aspekte mitbrachten, fand in einem zweiten Schritt eine fachlich fundierte Abwägung statt. Durch diese sollte die getroffene Vorauswahl qualifiziert und auf die fünf Wirkfolgen mit der größten Bedeutung für das Gemeindegebiet konzentriert werden. Im Ergebnis wurden folgende fünf Wirkfolgen zur weiteren Bearbeitung bestimmt:

- sinkender thermischer Komfort,
- geringere Wasserverfügbarkeit im Sommer,
- veränderte Ansprüche an die Ausgestaltung von Freiflächen,
- Veränderung der Eignung von Pflanzen,
- steigender Bedarf an Frisch- und Kaltluftentstehungsgebieten².

Die ebenfalls hauptgenannten Aspekte einer veränderten Häufigkeit und Höhe von Hochwässern und die steigende Gefährdung durch Extremereignisse wurden zunächst nicht ausgewählt. Ausschlaggebend hierfür waren die Überlegungen, dass der Hochwasserschutz in der Zuständigkeit des Landes liegt und sich Maßnahmen vor Ort daher nur bedingt umsetzen lassen. Die Gefährdung durch Extremereignisse ist hingegen nur schwer fassbar und deshalb nicht prognostizierbar.

Das Hochwasserereignis an der Schwarzen Elster im September und Oktober 2010 führte jedoch dazu, dass die veränderte Häufigkeit und Höhe von Hochwässern aufgrund der augenscheinlichen Brisanz der Problematik zumindest wieder aufgegriffen wurde.

Für die Ermittlung der Anfälligkeit gegenüber den ausgewählten Wirkfolgen sind verschiedene Daten auszuwerten, deren Beschaffenheit sich unterschiedlich darstellt. Die Spannweite reicht von Statistiken, über ökologische Kennwerte bis zu ausgewerteten Informationen Ortskundiger. Zu den wichtigsten Grundlagen gehören:

- Flächennutzungsplan,
- Landschaftsplan,
- Landschaftsrahmenpläne,
- Luftbilder.

Aufgrund der inhomogenen Datenbasis und den diversen Handlungsfeldern dem die einzelnen Wirkfolgen zuzuordnen sind, erfolgt die Auswertung und Verarbeitung der Daten wirkfolgenspezifisch verbal argumentativ, geoinformationsgestützt und statistisch. Die jeweils gewählte Methodik wird daher in den nachfolgenden Anfälligkeitsermittlungen vorangestellt und erläutert. Als methodischer Überbau und zur Orientierung dienen die Ergebnisse der Klimamodellauswertung und die Aussagen der ausgewerteten Studien zur regionalen Betroffenheit aus Kapitel 3. Die Ergebnisse der Anfälligkeitsuntersuchungen werden meist kartografisch dargestellt, teilweise aber auch tabellarisch oder textlich. Eine Besprechung und Auswertung erfolgt bei der Betroffenheitsanalyse in Kapitel 5. Da das Hochwasserereignis an der Schwarzen Elster erst nach Abschluss der Anfälligkeits- und Betroffenheitsanalysen zu den anderen Wirkfolgen stattfand, wurde der Aspekt einer veränderten

¹ Der Workshop fand am 4. Juni 2010 mit 15 Teilnehmern im Haus des Gastes in Bad Liebenwerda statt.

² Die Wirkfolge wurde im Rahmen dieser Studie zusammengefasst. In der Publikation vom BMVBS / BBSR (2009) wird zwischen den Wirkfolgen „steigender Bedarf an Kaltluftentstehungsgebieten“ und „steigender Bedarf an Frischluftentstehungsgebieten“ unterschieden.

Häufigkeit und Höhe von Hochwässern aufgrund der bereits fortgeschrittenen Bearbeitungszeit nicht im gleichen Umfang berücksichtigt. Die Betrachtung beschränkt sich daher auf eine kurze Darstellung der Bestandssituation unter Kapitel 4.2 und einer Skizzierung des Handlungsbedarfs und möglicher Maßnahmenansätze in Kapitel 6.

4.2 Analyse der Räumlichen Anfälligkeit

4.2.1 Sinkender thermischer Komfort

Ausgangssituation

An heißen Sommertagen absorbieren die künstlichen Baumaterialien der Gebäude, Straßen und Plätze die Sonneneinstrahlung in besonders hohem Maße. Hieraus resultiert insbesondere in austauscharmen, sommerlichen Schönwetterperioden ein erhöhtes thermisches Niveau gegenüber dem Umfeld (Wärmeinsel). Dies beschränkt sich nicht nur auf den Aufenthalt am Tag im Freien, sondern setzt sich auch nachts in den Häusern fort. Gerade in Tropennächten, bei denen die Temperatur nicht unter zwanzig Grad fällt ist der thermische Komfort eingeschränkt.

Die beschriebene Dynamik wird im Projektgebiet zukünftig mit hoher Wahrscheinlichkeit noch stärker auftreten, da die Auswertung der Klimamodelle eine Zunahme der Zahl heißer Tage um bis zu zehn und die der Tropennächte um bis zu drei ergab. Daher ist mit einer künftigen Verschärfung der Belastungssituation zu rechnen.

Für die Anfälligkeit einer klimatischen Belastung des Menschen spielen neben dem Hitzepotential auch die Bevölkerungsdichte und soziodemographische Faktoren wie das Alter der Bevölkerung eine Rolle. Dabei zeigen ältere Menschen eine schlechtere Anpassungsfähigkeit gegenüber Hitzestress mit gesundheitlichen Folgen, die von Erschöpfung bis zum Hitzeschlag oder Herzversagen reichen können.

Daraus ergibt sich für die Stadt Liebenwerda selbst eine besonders große Anfälligkeit, da hier die meisten Menschen im Gemeindegebiet leben und durch den Kurstadtstatus zugleich besonders hohe Anforderungen an die Aufenthaltsqualität zu stellen sind. So führt das Kurangebot, das eine Kurklinik für Rheumatologie und Orthopädie beinhaltet dazu, dass vor allem ältere Menschen die Stadt besuchen. Die Bevölkerungsprognose innerhalb des Gemeindegebiets weist zudem eine Zunahme der Altersgruppe ab 65 um etwa 26% im Jahre 2030 gegenüber 2008 aus (vgl. LBV 2010). Die Anfälligkeit wird somit zukünftig nicht zuletzt aufgrund der Demografie noch weiter steigen. Für die Analyse der Anfälligkeit ist neben den Siedlungsbereichen auch die umgebende Landschaft einzubeziehen, da diese zwecks Erholung Teil des Kuraufenthalts sein kann. Insbesondere in Bereichen mit großflächig ausgeräumten Feldfluren wird die Erholungseignung durch mangelnden Schatten reduziert werden. Während der Stadtraum eine detailliertere Betrachtung aufgrund möglicher kleinräumiger Unterschiede erfordert, konzentriert sich die Analyse der Umgebung schon wegen der Flächengröße auf eine generalisiertere Betrachtung.

Methodische Vorgehensweise

Siedlungsbereich

Entscheidende Einflussgrößen für den thermischen Komfort innerhalb der Siedlungsbereiche von Bad Liebenwerda ist vereinfacht betrachtet das Verhältnis zwischen tendenziell temperaturerhöhenden Bauungsstrukturen und sich dämpfend oder kühlend auf die Temperaturentwicklung auswirkende Grün-, Wasser- und Freiflächen³. Je größer die bauliche Überprägung, desto stärker tritt die Erwärmung zutage. Diese Überlegungen folgend, wird der Versiegelungsgrad als Indikator verwandt. Hierzu wird der Flächennutzungsplan unter Zuhilfenahme von Luftbildern ausgewertet und statistisch ermittelte Versiegelungsgrade verschiedener Nutzungen nach SenStadt herangezogen. Die Wohlfahrtswirkung großer, unbebauter Freiflächen für die Umgebung durch Oaseneffekte wird mit Hilfe einer von Mosimann 1999 entwickelten und durch Schmidt 2010 abgewandelte Methodik dargestellt und auf das Stadtgebiet Bad Liebenwerdas angewandt.

³ Aufgrund des Kleinstadtcharakters treten viele der typischen thermischen Merkmale eines Stadtklimas nicht oder nur in stark verminderter Form in Bad Liebenwerda auf. Dazu gehört beispielsweise die Freisetzung von Wärme durch Verbrennungsprozesse oder die Mehrfachreflexion der solaren Strahlung durch Straßenschluchten. Diese Aspekte werden daher bei der Untersuchung nicht weiter Berücksichtigt.

Versiegelungsgrad

Die Einstufung der verschiedenen im Flächennutzungsplan ausgewiesenen Nutzungstypen und dessen Versiegelungsraten erfolgt in Anlehnung an die im Umweltatlas Berlin angewandte Methodik zur Erstellung der Karte „Versiegelung“ (SENSTADT 2007) und „Bioklima bei Tag und Nacht“ (SENSTADT 1998). Die Anwendung des zur Ermittlung des Berliner Bioklimas verwendeten und vom DWD entwickelten Modellverfahrens UBIKLIM (Urbanes BloKLImaModel) war aufgrund der Datenlage nicht möglich⁴. Andererseits erfordert die Ermittlung der thermischen Belastungssituation in Bad Liebenwerda und seiner Ortsteile jedoch aufgrund ihres Kleinstadt- bzw. Dorfcharakters auch nicht die Anwendung eines derart differenzierten Verfahrens. So ist die in Berlin berücksichtigte Durchlüftungssituation sehr viel komplizierter als in Bad Liebenwerda, wo diese flächendeckend als sehr gut bezeichnet werden kann.

Durch die Auswertung von Fachinformationen bzw. Geo-Daten sowie Satellitenbilddaten in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Berlin, der Humboldt-Universität und der Firma Digitale Dienste Berlin ermittelte SENSTADT 2007 durchschnittliche Versiegelungsgrade für verschiedene Flächennutzungen. Diese Angaben werden für die Analyse der Anfälligkeit in Spannen zusammengefasst und jeder Spanne eine thermischen Belastungsstufe nach dem Schema der Tabelle 8 zugewiesen. Die Einstufung erfolgt dabei auf einer Ordinalskala und dient somit dem Belastungsvergleich ohne exakt miteinander verrechenbare Ergebnisse zu liefern. Da der im GIS Format vorliegende Flächennutzungsplan vereinfachte Flächenkategorien verwendet, wird in den Fällen, in denen eine Zuweisung verschiedener Nutzungen mit unterschiedlichen thermischen Belastungen möglich ist, eine Differenzierung der Flächennutzung mit Hilfe von Luftbildern vorgenommen⁵. Die den einzelnen Nutzungstypen zugewiesenen thermischen Belastungsstufen sind in der

Tabelle 9 dargestellt

Tabelle 8: Einstufung der thermischen Belastung anhand des Versiegelungsgrades

Versiegelungsgrad	hoch >70%	mittel </= 70% und >/= 50%	gering < 50%	unversiegelt 0%
thermische Belastung	hoch	mittel	gering	unbelastet

Tabelle 9: Einstufung der thermischen Belastung aufgrund von Nutzung und Versiegelung

Nutzung	Baufläche (GIS)	Versiegelungsgrad in % nach SenStadt (2007)	thermische Belastung
Kerngebiete	Gemischte Baufläche	77	hoch
Gewerbe- und Industriegebiete	Gewerbliche Baufläche	67	mittel
Verkehrsfläche	Straßenverkehrsfläche (inkl. Bahnanlagen)	62	mittel
Mischgebiete	Gemischte Baufläche*	60	mittel
Ver- und Entsorgungseinrichtung	Versorgungsfläche	54	mittel
Gemeinbedarfs- und Sondernutzungen	Gemeinbedarfsfläche	44	gering
Stadtplatz / Promenade	Straßenverkehrsfläche	43	gering
Wohngebiet	Wohnbaufläche	38	gering
Park / Grünfläche	Grünfläche	10**	unbelastet
Wald	Wald	0	unbelastet
Grünland	Grünfläche	1**	unbelastet
Ackerland	Ackerflächen	0	unbelastet

* Die Abgrenzung zu Kerngebieten erfolgt durch Luftbilddauswertung

** Zwar weist die Nutzung einen geringen Versiegelungsgrad auf, durch ihre deutlich entlastende Wirkung wird diese aber trotzdem als unbelastet eingestuft.

⁴ Das Verfahren benötigt beispielsweise neben einem hoch aufgelösten Höhenmodell auch genaue Angaben zu Gebäudehöhen und der Zahl der Gebäude pro Fläche.

⁵ So sind in der GIS Version des Flächennutzungsplans Kern- und Mischgebiete als „Gemischte Baufläche“ ausgewiesen.

Oaseneffekt

Grün-, Gehölz- und Wasserflächen können in Abhängigkeit von ihrer Größe und Struktur eine kühlende Wirkung auf umgebene Flächen besitzen. Um diesen „Oaseneffekt“ abbilden zu können, wurde in einem Teilprojekt in Westsachsen im Rahmen eines Modellvorhabens der Raumordnung (MORO) abgewandelt nach MOSIMANN (1999) eine Methodik entwickelt (SCHMIDT 2010). Diese wird verändert auf den Stadtraum Bad Liebenwerdas angewandt⁶. Danach entfalten Grün-, Gehölz- und Wasserflächen einen Ausstrahlungseffekt von bis zu 400 m auf angrenzende Flächen, wenn sie in Anlehnung an SCHMIDT die folgenden Voraussetzungen erfüllen:

- Maximalabstand zur versiegelten Fläche 400 m
- Flächen größer als 3 ha⁷
- Keine besonders schmalen Elemente (>50 m Breite erforderlich)

Im Ergebnis wird jeder im FNP ausgewiesenen Siedlungsfläche GIS-gestützt eine thermische Belastung zugewiesen und für die Stadt Bad Liebenwerda zusätzlich der Oaseneffekt abgebildet. Bei der daraus resultierenden Darstellung der Belastung ist zu berücksichtigen, dass diese sich aufgrund der guten Durchlüftungssituation in der Stadt tagsüber nur an einem schwachwindigen, wolkenlosen Sommertag ausbilden wird. Die Belastung wird daher an den meisten Tagen im Sommer nicht die abgebildete Belastungsintensität erreichen. Die Anfälligkeit gegenüber einem sinkenden thermischen Komfort ist unter den angenommenen Wetterverhältnissen umso höher, je größer eine Fläche und der dazugehörige Versiegelungsgrad liegt und desto geringer der Anteil angrenzender Grün-, Wasser- oder Freiflächen und deren Größe ausfällt.

Freie Landschaft

Für die Anfälligkeit der freien Landschaft gegenüber einer Einschränkung der Erholungseignung durch sinkenden thermischen Komfort sind zunächst die wichtigsten Wander- und Radwanderwege in der Gemeinde zu lokalisieren. Anschließend sind diese im Hinblick auf ihre Beschattung zu analysieren. Da davon ausgegangen werden kann, dass Erholungssuchende sich in den allermeisten Fällen tagsüber in der Landschaft bewegen, wird die Nachtsituation nicht weiter berücksichtigt.

Die Identifikation der Wanderwege erfolgt mit Hilfe der Wander- und Radwanderkarte Naturpark Niederlausitzer Heidelandschaft, Kurstadt Bad Liebenwerda, Mühlberg, Schradenland. Die Beschattungssituation wird im Anschluss mit Hilfe von Luftbildern ausgewertet, indem die Strukturen entlang der Strecke auf ihre schattenspendende Wirkung über den Tag⁸ hin analysiert werden. Die Wirkung des Reliefs auf die Verschattung wird dagegen aufgrund seiner geringen Ausprägung im Untersuchungsgebiet nicht einbezogen. Für die Bewertung der Schattenwirkung wird die folgende Bewertungsmatrix angewandt (Tabelle 10).

Tabelle 10: Beschattungswirksamkeit in Abhängigkeit von der räumlichen Lage

Lage der Schatten-spendenden Struktur	südlich	östlich - südöstlich / südwestlich - westlich	Nördlich oder nicht vorhanden
Wirksamkeit	hoch	mittel	gering

Je größer dabei die Exposition eines Abschnittes gegenüber der Sonneneinstrahlung ausfällt, und je länger dieser ist, umso stärker wird die Route insgesamt von erhöhten Temperaturen in ihrer Erholungseignung beeinträchtigt. Im Ergebnis wird das Wander- und Radwandernetz nach Anfälligkeit in Abschnitte unterteilte kartografisch dargestellt. Die Gesamtempfindlichkeit wird im Kapitel 5.2.1 verbal argumentativ beurteilt.

⁶ Die Ortsteile werden nicht berücksichtigt, da bedingt durch ihre kleinen Größen von vornherein mit einem ausreichend starken Oaseneffekt durch das Umland zu rechnen ist.

⁷ Untersuchungen von Upmanis et. al. 1998 haben bereits bei Parkgrößen von 2,5 ha eine messbare Fernwirkung der Kühleffekte nachgewiesen. Die Reichweite entsprach dabei etwa dem halben Durchmesser des untersuchten Parks.

⁸ Südlich einer Route gelegene Strukturen mit schattenspendender Wirkung sind dabei beispielsweise aufgrund des Sonnenverlaufs wirksamer als östlich gelegene.

Kartografische Darstellung der Ergebnisse „Sinkender thermischer Komfort“

Abbildung 13: Thermische Belastung im Siedlungsbereich

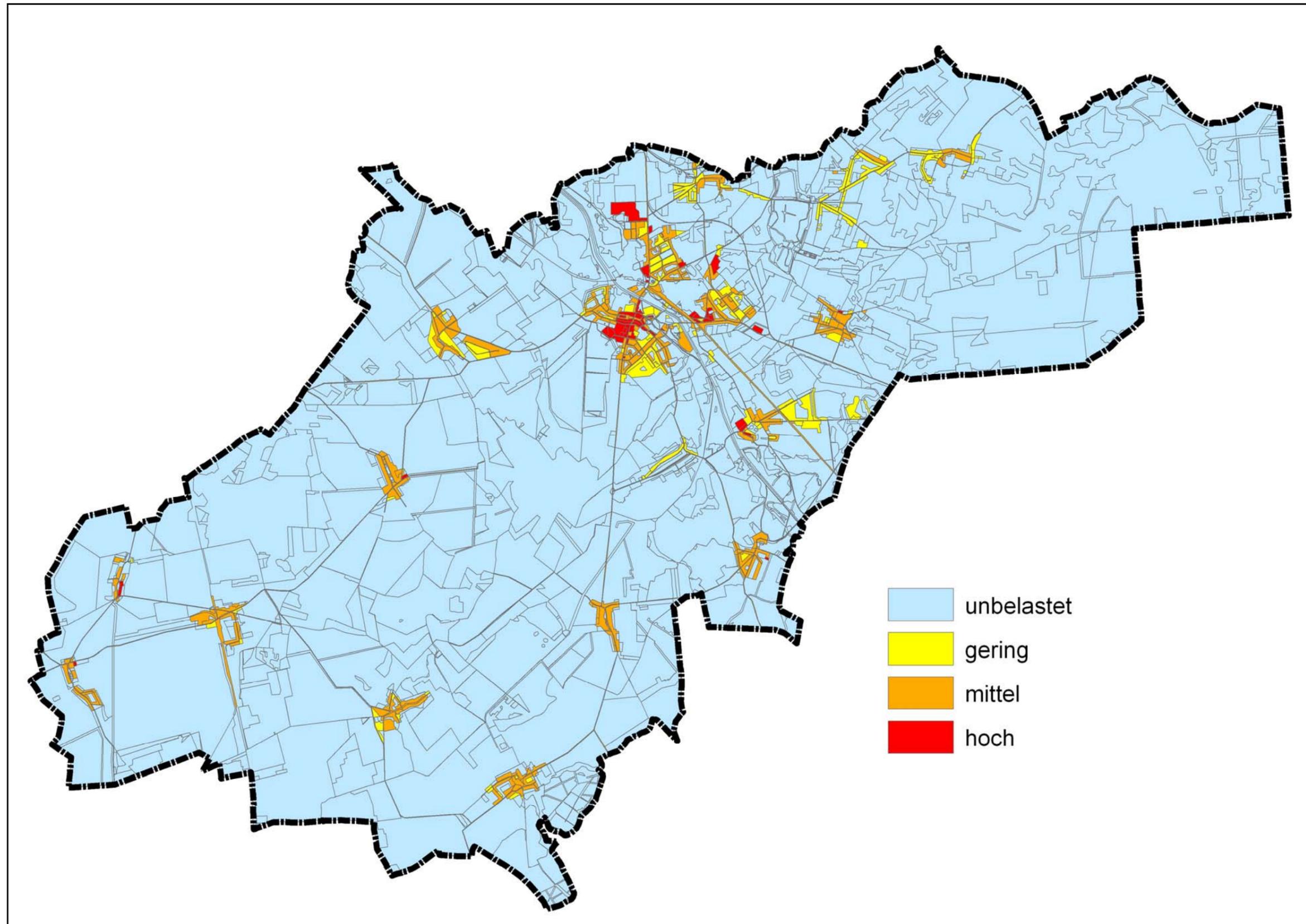


Abbildung 14: Thermische Belastung Bad Liebenwerdas mit Oaseneffekt

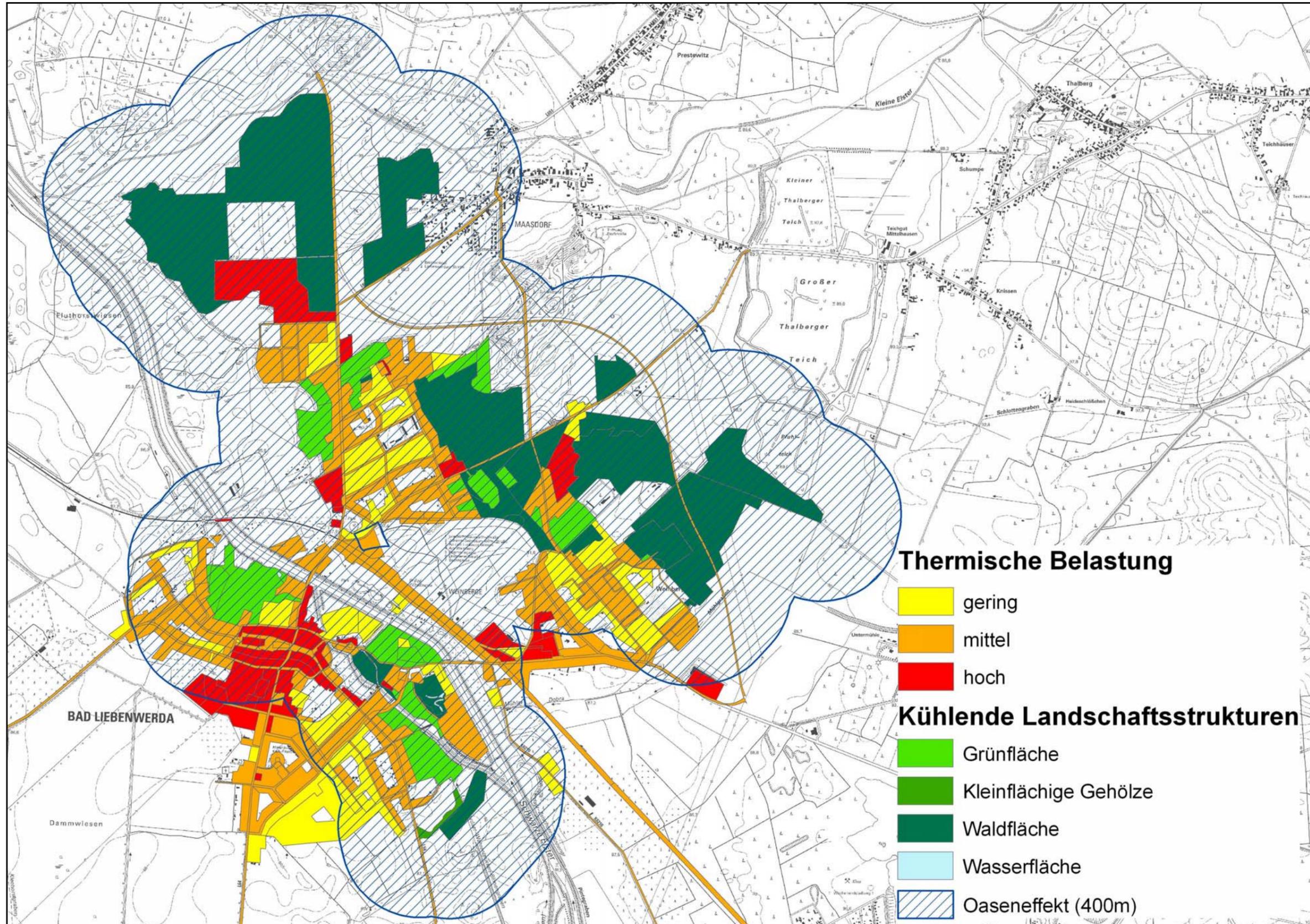
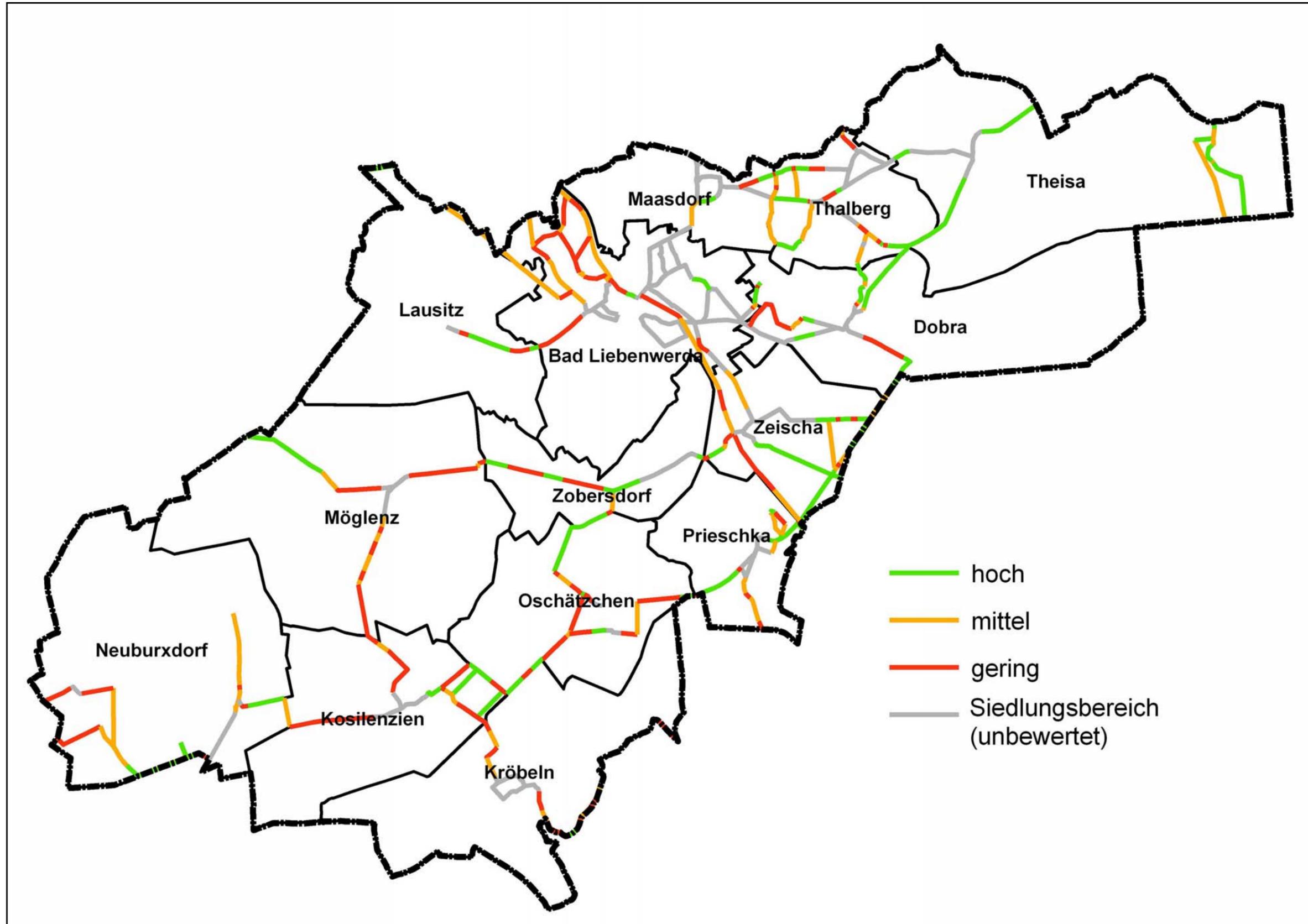


Abbildung 15: Thermische Belastung der Wander- und Radwanderwege



4.2.2 Sinkende Wasserverfügbarkeit im Sommer

Ausgangssituation

Auf Grund der vergleichsweise geringen Jahresniederschläge von 550 mm⁹, und eines relativ hohen Gewässeranteils von 2,7 % ist die Stadt Bad Liebenwerda wie ganz Brandenburg besonders anfällig gegenüber lang anhaltenden Hitze- und Trockenperioden und damit einhergehender Wasserknappheit. Zukünftig ist mit einer Verschärfung dieser Problematik zu rechnen, da die ausgewerteten Klimamodelle einen deutlichen Anstieg der Tagesmitteltemperaturen, eine Verlängerung der Vegetationsperiode, eine Zunahme von heißen Tagen und die Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter prognostizieren.

Der Trend betrifft insbesondere die Verfügbarkeit von Trink- und Betriebswasser sowie die Bereitstellung von Wasser für Ackerkulturen, Biotope und Tiere. Diese Aspekte sind bei der Ermittlung der Anfälligkeit zu betrachten. Die Wasserverfügbarkeit auf forstlich genutzten Flächen wird dagegen unter Kapitel 4.2.4 behandelt.

Trinkwasser

Die Grundwassersituation stellt sich im Untersuchungsgebiet sehr unterschiedlich dar. Im nördlichen Teil im Bereich des Lausitzer Hügellandes wechselt der Grundwasserflurabstand kleinräumig aufgrund der starken Reliefierung des Gebiets zwischen 60 cm und über 1,50 Meter. Die Grundwasserbeeinflussung reicht damit von stark- bis unbeeinflusst. Demgegenüber steht das Grundwasser entlang der Schwarzen Elster und in der südwestlichen Feldflur meist oberflächennah bei 60- 100 cm unter Flur.

Korrespondierend zu den Ergebnissen der Klimamodellauswertung kommen mehrere der unter Kapitel 3.3.1 ausgewerteten Studien zur regionalen Betroffenheit zu der Erkenntnis, dass aufgrund des projizierten Rückganges der Niederschläge im Sommer und der steigenden Temperaturen eine verringerte Sickerwasserbildung zu erwarten ist. Daher werden die Flächen im Untersuchungsgebiet auf ihre Grundwasserneubildungskapazität hin analysiert und Standorte mit besonders hohen Zehrungsraten aufgezeigt. Auf diese Weise können Prioritätenräume für Maßnahmen abgegrenzt werden, in denen im Falle knapper werdender Grundwasserreserven zuerst Maßnahmen angesetzt werden sollten, um die Grundwasserzehrung abzuf puffern.

Betriebswasser

Da das Betriebswasser für die Landwirtschaft neben dem Grundwasser auch durch Stauhaltung den Gräben und Seen entnommen werden kann, sind diese bei der Betrachtung der zukünftigen Wasserverfügbarkeit einzubeziehen. Die prognostizierten Temperaturerhöhungen und die Zunahme heißer Tage legt eine Reduzierung der Abflussmengen und ein vermehrtes trocken fallen von Gewässern im Sommer nahe¹¹.

Von regionaler und überregionaler Bedeutung sind die Fließgewässer Schwarze und Kleine Elster sowie Kleine und Große Röder. Diese werden nicht berücksichtigt. Zu unsicher sind die Klimaprognosen und zu aufwendig die erforderlichen Zu- und Abflussberechnungen. Durch ihre größeren Einzugsgebiete ist zugleich jedoch auch nicht mit einer verstärkten Beeinträchtigung durch eine Wasserverknappung zu rechnen. Die Gewässer im Untersuchungsgebiet sind dagegen lokal grundwassergespeist. Durch sinkende Grundwasserstände ist bei diesen daher eher von einer Verringerung der geführten Wassermengen auszugehen. Insbesondere bei Gewässern, die bereits in der Gegenwart regelmäßig trocken fallen, wird dieser Trend sehr wahrscheinlich zu einer weiteren Verschärfung des Problems führen.

Ackerkulturen

Die pflanzenverfügbare Bodenwassermenge für Ackerkulturen ist ein entscheidendes Kriterium für die Ertragsfähigkeit des Bodens. Eine Verknappung des Grund- und Stauwasserdargebots kann die Produktivität eines Ackerstandortes mindern. Aus diesem Grund ist die Anfälligkeit der Ackerflächen gegenüber einer sinkenden Wasserverfügbarkeit in die Betrachtung einzubeziehen.

⁹ BMU 2003.

¹⁰ Die durchschnittliche Niederschlagsmenge liegt in Deutschland bei ca. 789 mm im Jahr.

¹¹ Hier wird nach dem „Worst Case“ Prinzip verfahren, da in Abhängigkeit von der Modell- und Szenariokombination sowohl eine Zunahme (um bis zu 20%) als auch eine Abnahme der Abflussmenge (um bis zu 30%) prognostiziert wird (vgl. Tabelle 7).

Biotope

Das Inventar an geschützten Biotopen im Gemeindegebiet beinhaltet eine große Spannbreite feuchter Lebensräume. Diese befinden sich aufgrund des hohen Grundwassereinflusses konzentriert entlang der Schwarzen Elster. Hierzu zählen Hochstaudenfluren nasser Standorte und Strauchweidengebüsche ebenso wie Erlen-Bruchwälder und Stieleichen-Ulmen Auenwälder. Die Ausstattung mit geschützten Biotopen trockener Standorte fällt geringer aus. Diese finden sich unter anderem in Form von trockenen Sandheiden und Sandtrockenrasen verstärkt im Norden des Gemeindegebiets im Bereich des Lausitzer Hügellandes.

Eine Verknappung der Wasserversorgung von Lebensräumen im Untersuchungsgebiet betrifft maßgeblich solche nasser, feuchter und frischer Standorte sowie die Gewässer selbst. Bei Biotopen trockener Standorte ist aufgrund der bereits auf Wassermangel eingestellten Pflanzengesellschaften mit einer wenn nur geringen Beeinträchtigung zu rechnen. Da absehbar ist, dass Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Wasserversorgung aller möglicherweise gefährdeten Biotope schon aus finanziellen Gründen nicht umsetzbar ist - und auch aus naturschutzfachlicher Sicht nicht sinnvoll erscheint - wird die Ermittlung der Anfälligkeit auf geschützte Biotope beschränkt. Die Forste im Gemeindegebiet werden unter der Wirkfolge „Veränderung der Eignung von Pflanzen“ im Kapitel 4.2.4 berücksichtigt. Gewässer wiederum werden unter dem Aspekt der Betriebswasserverfügbarkeit betrachtet.

Tiere

Gezüchtete Tiere werden durch den Menschen versorgt und fallen daher unter die Bereitstellung von Betriebs- und Trinkwasser. Wildlebende Tiere sind vor allem an eine Ausstattung mit geeigneten Lebensräumen gebunden. Daher wird im Rahmen der Analyse davon ausgegangen, dass über die Ermittlung der Anfälligkeit wertvoller Lebensräume auch die Anfälligkeit der auf diese angewiesenen Tierarten abgedeckt wird. Ferner kann bei vielen Tierarten von einem ausreichenden Maß an Mobilität ausgegangen werden, welches ihnen die Erschließung neuer Wasserquellen ermöglicht. Aufgrund dieser Erwägungen werden Tiere nicht gesondert in die Analyse einfließen sondern über die Biotopbetrachtung mit berücksichtigt.

Methodische Vorgehensweise

Trinkwasser

Die für die Trinkwasserverfügbarkeit entscheidende Grundwasserneubildung hängt vereinfacht betrachtet von der Niederschlagsmenge, den Durchlässigkeiten der Böden, dem Bewuchs und dem Relief der Bodenoberfläche sowie dem Grundwasserflurabstand ab. Zwar sind weitere Faktoren wie die Niederschlagsverteilung von Bedeutung, im Rahmen dieser Untersuchung sollen jedoch nur Neubildungstendenzen herausgearbeitet werden. Hierfür spielt die exakte Sickerwasserspende an den Grundwasserleiter keine Rolle.

Die potentielle Grundwasserneubildung für das Gemeindegebiet wurde bereits bei der Erstellung der Landschaftsrahmenpläne für den Landkreis Elbe-Elster und Naturpark Niederlausitzer Heidelandschaft ermittelt (beide FUGMANN JANOTTA 1997). Dabei wurden der Grundwasserflurabstand, das Relief und die anstehenden Bodensubstrate berücksichtigt. Die Erhebung erfolgte jedoch ohne Berücksichtigung der auf den Flächen vorhandenen Nutzungen. Um Aussagen über das Grundwasserzehrungspotential treffen zu können, wird daher der aktuelle Flächennutzungsplan mit den Karten der potentiellen Grundwasserneubildung verschnitten. Ausgegliedert werden dabei Siedlungsflächen, da hier vereinfacht von einer Ableitung des Regenwassers in Vorfluter ausgegangen wird. Hinzukommt, dass Maßnahmen zur Grundwasserneubildung in diesem Bereich oft schon aus Gründen der Flächenverfügbarkeit nur schwer umsetzbar sind. Auch ist der Siedlungsflächenanteil im Untersuchungsgebiet so klein, dass die Grundwasserneubildung durch diese nicht entscheidend beeinflusst wird. Auch Gewässer werden nicht berücksichtigt.

In der Landschaft lassen sich in Anlehnung an die Flächenausweisungen des Flächennutzungsplans vereinfacht folgende Nutzungen in der Reihenfolge ihrer Zehrung unterscheiden: Acker < Grünland < Wald¹². Demnach werden sich bei gleichen Bodenverhältnissen die größten Zehrungsraten bei hohem Grundwasserflurabstand unter Waldnutzung ergeben. Die geringsten Zehrungen liegen dagegen bei

¹² Die tatsächliche Zehrung, also die Höhe der Evapotranspiration ist von weiteren Faktoren wie der pflanzenverfügbaren Wassermenge im Wurzelraum abhängig. Da es an dieser Stelle jedoch nur um eine grobe Abschätzung geht, wird eine vereinfachte Betrachtung gewählt.

grundwasserfernen Standorten unter Ackernutzung vor. Hier ist die potentielle Grundwasserneubildung hoch und wird durch die Nutzung nicht wesentlich verringert. Die folgende Tabelle 11 zeigt die aus dem Verschnitt des Flächennutzungsplans mit den Karten zur Hydromorphie resultierende Bewertungsmatrix.

Tabelle 11: Nutzungsabhängige Grundwasserzehrung in Abhängigkeit von der potentiellen Grundwasserneubildung

Potentielle Grundwasserneubildung \ Nutzungstyp	gering	eingeschränkt	hoch
Acker	sehr niedrig	niedrig	niedrig
Grünland	niedrig	mittel	hoch
Wald	mittel	hoch	sehr hoch

Die Ergebnisse werden GIS-gestützt kartografisch dargestellt. Dabei muss berücksichtigt werden, dass es sich um eine Anfälligkeitsabschätzungen handelt. Die einzelnen Einstufungen dienen dem Vergleich und sind nicht miteinander verrechenbar.

Betriebswasser

Bei den Gewässern im Untersuchungsgebiet wird von einer Grund-, Stau- und Regenwasserspeisung ausgegangen. Nicht betrachtet werden die Flüsse Schwarze und Kleine Elster sowie Kleine und Große Röder, da sich die Untersuchungen auf den Gemeinderaum beschränken und diese sowohl größere Einzugsgebiete besitzen als auch nur teilweise durch das Untersuchungsgebiet fließen.

Für die Identifizierung der Gewässer im Untersuchungsgebiet wird die CIR - Biotop- und Landnutzungstypenkartierung des MUGV mit dem durch das Büro HEMMINGER (2009) digitalisierten Gewässernetz im Gemeindegebiet verglichen. Auf diese Weise lassen sich perennierende und temporäre Gewässer voneinander unterscheiden und lokalisieren.

Das Gewässernetz wird dann – analog zur Ermittlung der Wasserverfügbarkeit der Biotope - mit den Karten zur Hydromorphie aus den Landschaftsrahmenplänen Elbe-Elster und Naturpark Niederlausitzer Heidelandschaft (beide FUGMANN JANOTTA 1997) verschnitten. Diese zeigen den Grund- und Stauwassereinfluss eines Standortes auf. Durch den Verschnitt lassen sich Aussagen über die aktuelle Wasserverfügbarkeit der Gewässer treffen und zugleich die zukünftige Situation abschätzen. Je geringer der Einfluss des Grundwassers auf das Gewässer dabei ist, desto größer ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass sich sinkende Grundwasserstände negativ auf die Wasserführung auswirken. Während man bei perennierenden Gewässern auch zukünftig nicht zwingend vom schlimmsten Fall, dem Trockenfallen ausgehen kann, ist eine Verschärfung des Problems bei temporären Gewässern wahrscheinlicher. Aus diesen Überlegungen ergibt sich die folgende Bewertungsmatrix.

Tabelle 12: Austrocknungsgefährdung von Gewässern in Abhängigkeit vom Gewässertyp und der Hydromorphie

Grund- und Stauwasserbeeinflussung (Hydromorphie) \ Gewässertyp	sehr stark	stark	mäßig	keine
Perennierend	sehr gering	gering	erhöht	-
Temporär	gering	erhöht	hoch	-

Die Ergebnisse werden GIS-gestützt kartografisch dargestellt. Bei dem Verschnitt entstehen bei Fließgewässern und Gräben Abschnitte mit unterschiedlichen Bewertungen. Da beispielsweise ein einzelner Abschnitt mit geringer Trockenfall Wahrscheinlichkeit innerhalb eines ansonsten stark grundwasserbeeinflussten Grabens nicht insgesamt für eine erhöhte Wahrscheinlichkeit einer Wasserverknappung sorgen dürfte, müssen die Ergebnisse in einer Gesamtschau auf eine Verknappung des aus Gewässern entnommenen Betriebswassers verbal argumentativ beurteilt werden. Die Einstufung der Gewässerabschnitte dient also dazu, eine Gesamtanfälligkeitsabschätzungen zu ermöglichen.

Ackerkulturen

Die Ackerflächen werden mit Hilfe des Flächennutzungsplans identifiziert. Um die Bodenfeuchteverhältnisse einschätzen zu können, werden die Karten zur Grund- und Stauwasserbeeinflussung (Hydromorphie) aus den Landschaftsrahmenplänen Elbe-Elster und Naturpark Niederlausitzer Heidelandschaft (beide FUGMANN JANOTTA 1997) herangezogen. Durch den Abgleich der Ackerstandorte mit der für diese jeweils ausgewiesenen Hydromorphie wird die Gefahr eines zukünftig im Sommer potentiell verstärkt auftretenden Wassermangels für Ackerkulturen abgeschätzt. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Anfälligkeit umso höher ist, desto geringer der Grund- und Stauwassereinfluss eines Standortes ausfällt.

Tabelle 13: Gefahr einer reduzierten Bodenwasserversorgung von Ackerflächen in Abhängigkeit von der Hydromorphie

Grund- und Stauwasserbeeinflussung (Hydromorphie)	sehr stark	stark	mäßig	keine
	Ackerfläche	sehr gering	gering	erhöht

Die Ergebnisse werden GIS-gestützt kartografisch dargestellt. Durch den Verschnitt von Acker- und Hydromorphieflächen entsteht eine neue Flächenkulisse. Die Karte stellt damit zum Teil nicht die echten Zuschnitte der Schläge dar sondern orientiert sich an den Hydromorphieflächengrenzen.

Biotope

Für die Ermittlung des Bestandes an geschützten Lebensräumen im Gemeindegebiet werden die im Rahmen der Fortschreibung des Landschaftsplans der Stadt Bad Liebenwerda im Entwurf vorliegenden Karten zu den nach §§ 31, 32 Brandenburgisches Naturschutzgesetz geschützten Biotopflächen herangezogen (HEMMINGER 2009). Diese werden mit Hilfe der Beschreibungen der Lebensräume in der Biotopkartierung Brandenburg (LUA 2007) nach ihren Ansprüchen bezüglich der Wasserversorgung in nass, feucht, frisch und trocken kategorisiert (vgl.

Tabelle 14).

Tabelle 14: Geschützte Biotopflächen im Gemeindegebiet und ihre Ansprüche an die Standortfeuchte

Biotopcode	Biotopbezeichnung	Feuchtegrad	Anzahl
01131	Begradigte, weitgehend naturferne Bäche und kl. Flüsse ohne Verbauung	nass	2
01210	Röhrichtgesellschaften an Fließgewässern	nass	2
02110	Altarme von Fließgewässern	nass - frisch	3
02121	Perennierende Kleingewässer (Sölle, Kolke, Pfuhe., <ha) naturnah, unbeschattet	nass	8
02122	Perennierende Kleingewässer (Sölle, Kolke, Pfuhe., <1ha) naturnah, beschattet	nass	5
02130	temporäre Kleingewässer	frisch	1
02131	temporäre Kleingewässer naturnah, unbeschattet	frisch	1
02200	Schwimblatt- und Unterwasserpflanzen-Gesellschaften in Standgewässern	nass	1
02210	Röhrichtgesellschaften an Standgewässern	nass - feucht	3
04200	Sekundäre Moorbildungen in der Bergbaufolgewirtschaft	nass	2
05101	Großseggenwiesen (Streuwiesen)	nass - feucht	1
05102	Feuchtwiesen nährstoffarmer bis mäßig nährstoffreicher Standorte (Pfeifengraswiesen)	feucht	3
05103	Feuchtwiesen nährstoffreicher Standorte	feucht	7
05121	Sandtrockenrasen	trocken	1
051211	Silbergrasreiche Pionierfluren	trocken	1

Biotopcode	Biotopbezeichnung	Feuchtegrad	Anzahl
051212	Grasnelke-Fluren und Blauschillergras-Rasen	trocken	2
05130	Grünlandbrachen	nass- frisch - trocken	2
05131	Grünlandbrachen feuchter Standorte	feucht	4
05131	Feuchtwiesen und Feuchtweiden artereicher Ausprägung	feucht	1
051311	Grünlandbrachen von Schilf dominiert	nass - feucht	1
051312	Grünlandbrachen von Rohrglanzgras dominiert	nass - feucht	2
051314	Grünlandbrachen von rasigen Großseggen dominiert	nass - feucht	2
051316	Grünlandbrachen von sonstigen Süßgräsern dominiert	nass - feucht	1
05141	Hochstaudenfluren feuchter bis nasser Standorte	nass - feucht	3
06102	trockene Sandheiden	trocken	2
0610202	trockene Sandheiden mit Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung 10-30%)	trocken	2
06110	Besenginsterheiden	trocken	2
07101	Gebüsche nasser Standorte	nass	6
071011	Strauchweidengebüsche	nass - feucht	1
07103	Laubgebüsche trockener und trockenwarmer Standorte	trocken	1
07171	genutzte Streuobstwiesen	frisch	1
08102	Birken-Moorwälder	nass - feucht	3
08103	Erlenbruchwälder, Erlenwälder	nass - feucht	6
081033	Schilf-Schwarzerlenwald	nass	1
08120	Pappel-Weiden-Weichholzauenwälder	nass - feucht	1
08130	Stieleichen-Ulmen-Auenwald	feucht	1
08181	Eichen-Hainbuchenwälder feuchter bis frischer Standorte	feucht - frisch	2
08190	Eichenmischwälder bodensaurer Standorte	frisch	1
081913	Honiggras-Birken-Stieleichenwald	frisch	1
08192	frische bis mäßig trockene Eichenmischwälder	frisch	1
081923	Straußgras-Eichenwald	trocken	1
081925	Drahtschmielen-Eichenwald	trocken	1
08200	Eichenmischwälder trockenwarmer Standorte	trocken	2
08220	Zwergstrauch-Kiefernwälder	trocken	4
082811	Eichen-Vorwald	trocken	1
082819	Kiefern-Vorwald	trocken	3
082836	Birken-Vorwald	feucht	2
11122	Binnendüne bewaldet, Gehölzdeckung > 30%	trocken	1
	Alleen	frisch	12

Für die Analyse der Anfälligkeit werden die Kartierung der geschützten Biotope mit den Karten zur Hydromorphie aus den Landschaftsrahmenplänen Elbe-Elster und Naturpark Niederlausitzer Heidelandschaft (beide FUGMANN JANOTTA 1997) verschnitten. Hierdurch wird ein Vergleich der Feuchteinstufung der Biotope mit der ausgewiesenen Grund- und Stauwasserbeeinflussung des Standorts ermöglicht. In den Fällen, in denen in der Tabelle Spannen angegeben werden, wird der tatsächliche Feuchtegrad standortabhängig mit Hilfe von Luftbildern und der Biotopausstattung im Umfeld festgelegt. Um den Einfluss von Gewässern auf die Biotope abbilden zu können wird zusätzlich das von HEMMINGER (2009) digitalisierte Gewässernetz im Gemeindegebiet verwendet.

Je stärker die Angaben der Hydromorphie mit der Biotopeinstufung auseinandergehen, desto höher ist die potentielle Beeinträchtigung durch eine weitere Verknappung der Wasserversorgung. Auf diesen Standorten wird sich am ehesten eine Artenverschiebung und damit eine Beeinträchtigung des Lebensraums vollziehen. Die größte Abhängigkeit vom Grundwassereinfluss besteht bei Biotopen die als nass klassifiziert wurden, da ein Großteil der Pflanzengesellschaft von einer kontinuierlichen Wasserversorgung abhängig ist. Daher ist bei diesen Lebensräumen die nachhaltigsten Veränderungen und damit höchste Anfälligkeit zu erwarten. Bei trockenen Standorten wird dagegen von keiner weiteren Schädigung ausgegangen, da die Pflanzengesellschaften bereits jetzt an längere Trockenperioden angepasst sind. Auf Grundlage der Ausführungen ergibt sich die folgende Bewertungsmatrix für die Einstufung der Biotope gegenüber ihrer Anfälligkeit durch eine sinkende Wasserverfügbarkeit im

Sommer. Bei Biotopen, die im Niederungsbereich der Schwarzen Elster liegen, wird die Gefährdungskategorie um eine Stufe herabgesetzt. Dies stellt die reduzierte Anfälligkeit aufgrund der sehr guten Versorgung durch das Grundwasser dar¹³.

Tabelle 15: Biotopanfälligkeit durch ein reduziertes Wasserdargebot in Abhängigkeit von den Ansprüchen der Biotope an die Wasserversorgung und den Hydromorphieverhältnissen

Biotopfeuchte	Grund- und Stauwasserbeeinflussung (Hydromorphie)	sehr stark	stark	mäßig	keine
	Nass		mäßig	erhöht	hoch
feucht		gering	mäßig	erhöht	-
frisch		sehr gering	gering	mäßig	-
trocken		-	-	-	keine

- Kombination nicht möglich

In der Ergebniskarte werden die geschützten Biotope mit ihrer Anfälligkeit gegenüber einem reduzierten Wasserdargebot mit hinterlegter TK¹⁴ 10 dargestellt. Die Einstufungen zeigen möglicherweise gefährdete Lebensräume auf.

¹³ Die Versorgungssituation ist im Zeitraum von 1970-1999 durch einen deutlichen Anstieg der Grundwasserstände des 1. Grundwasserleiters stetig verbessert worden.

¹⁴ Topographisches Kartenwerk im Maßstab 1:10 000

Kartografische Darstellung der Ergebnisse „Sinkende Wasserverfügbarkeit im Sommer“

Abbildung 16: Grundwasserzehrung

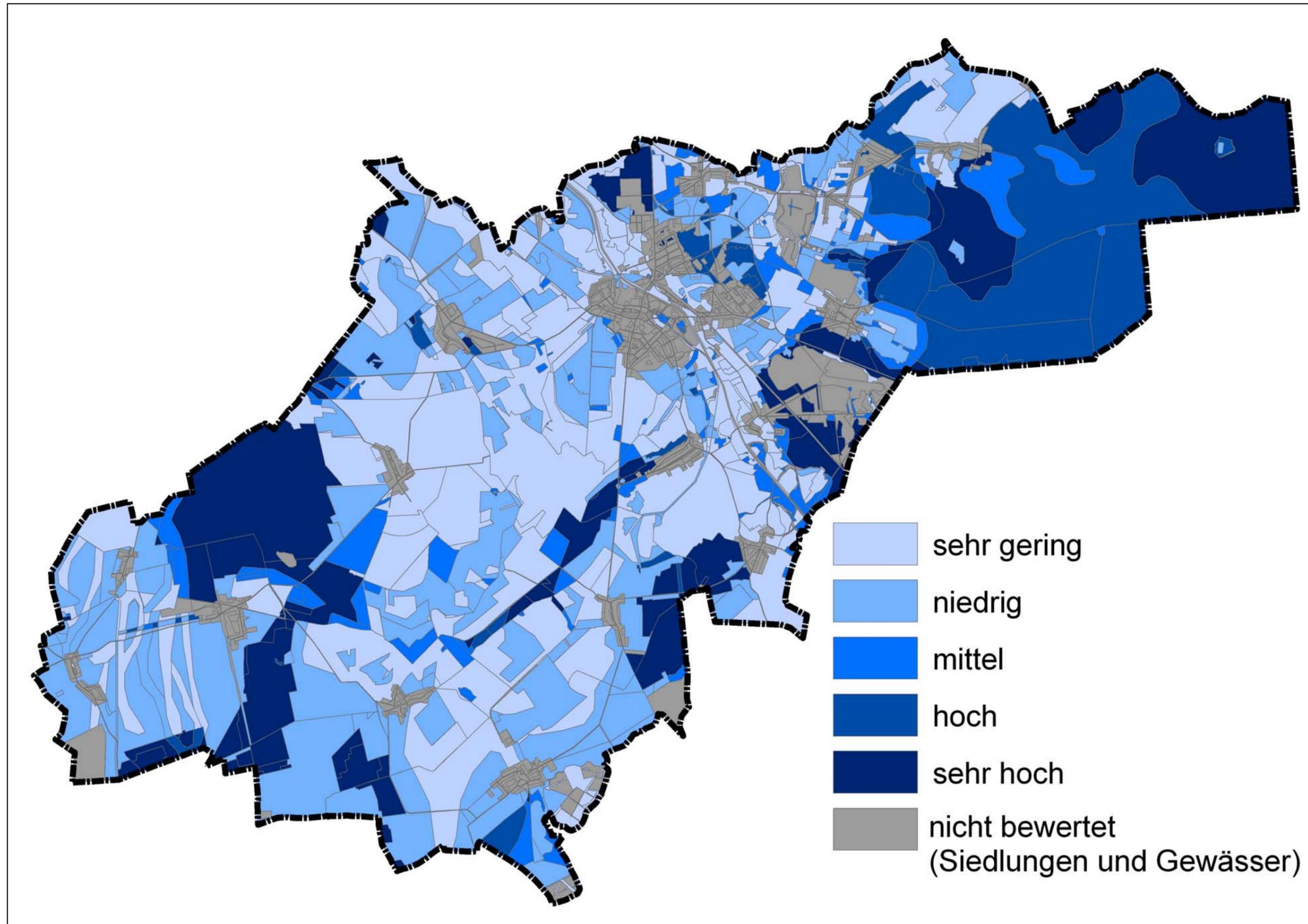


Abbildung 17: Wahrscheinlichkeit eines Trockenfallens der Gewässer

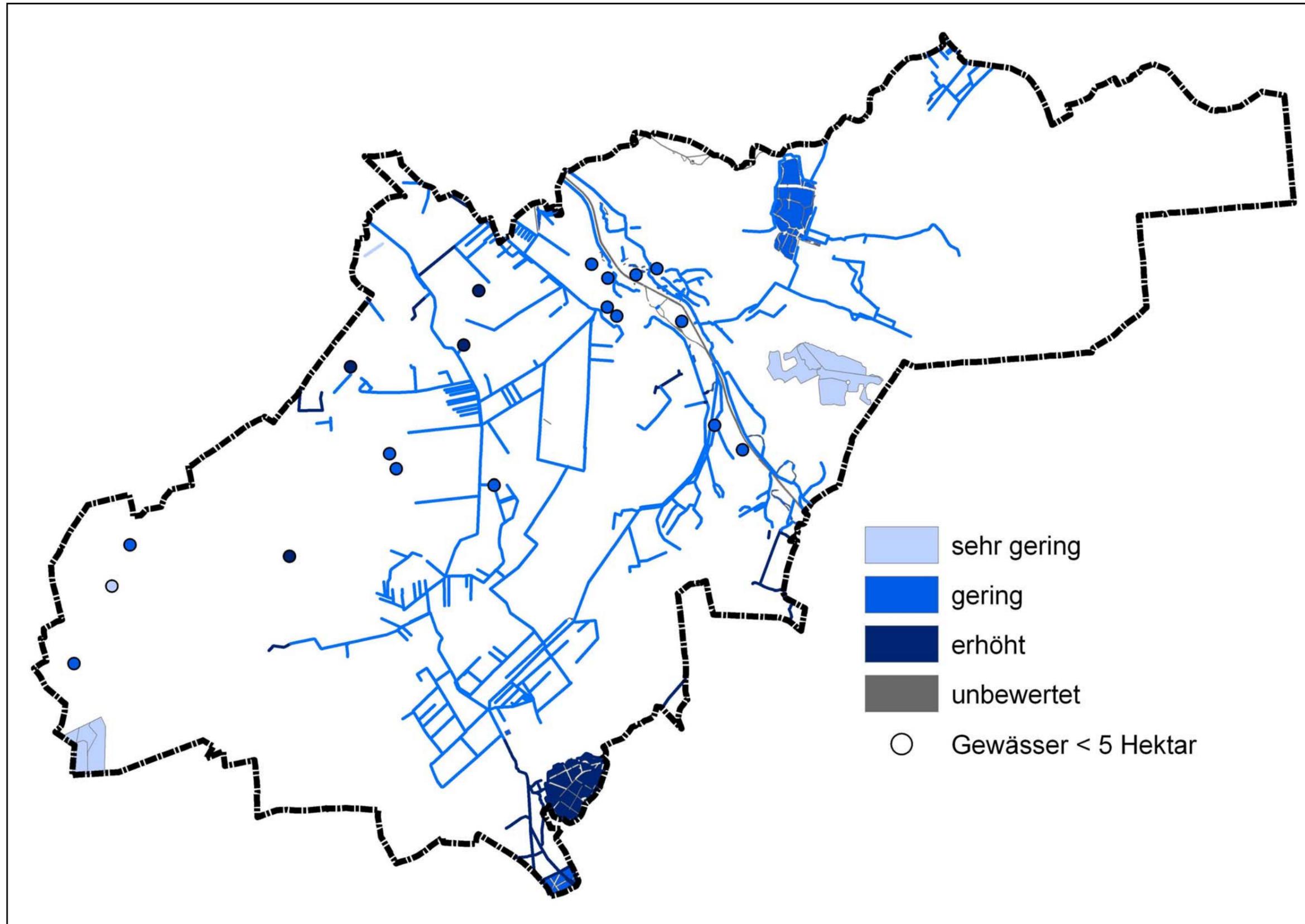


Abbildung 18: Gefahr einer reduzierten Bodenwasserversorgung von Ackerflächen

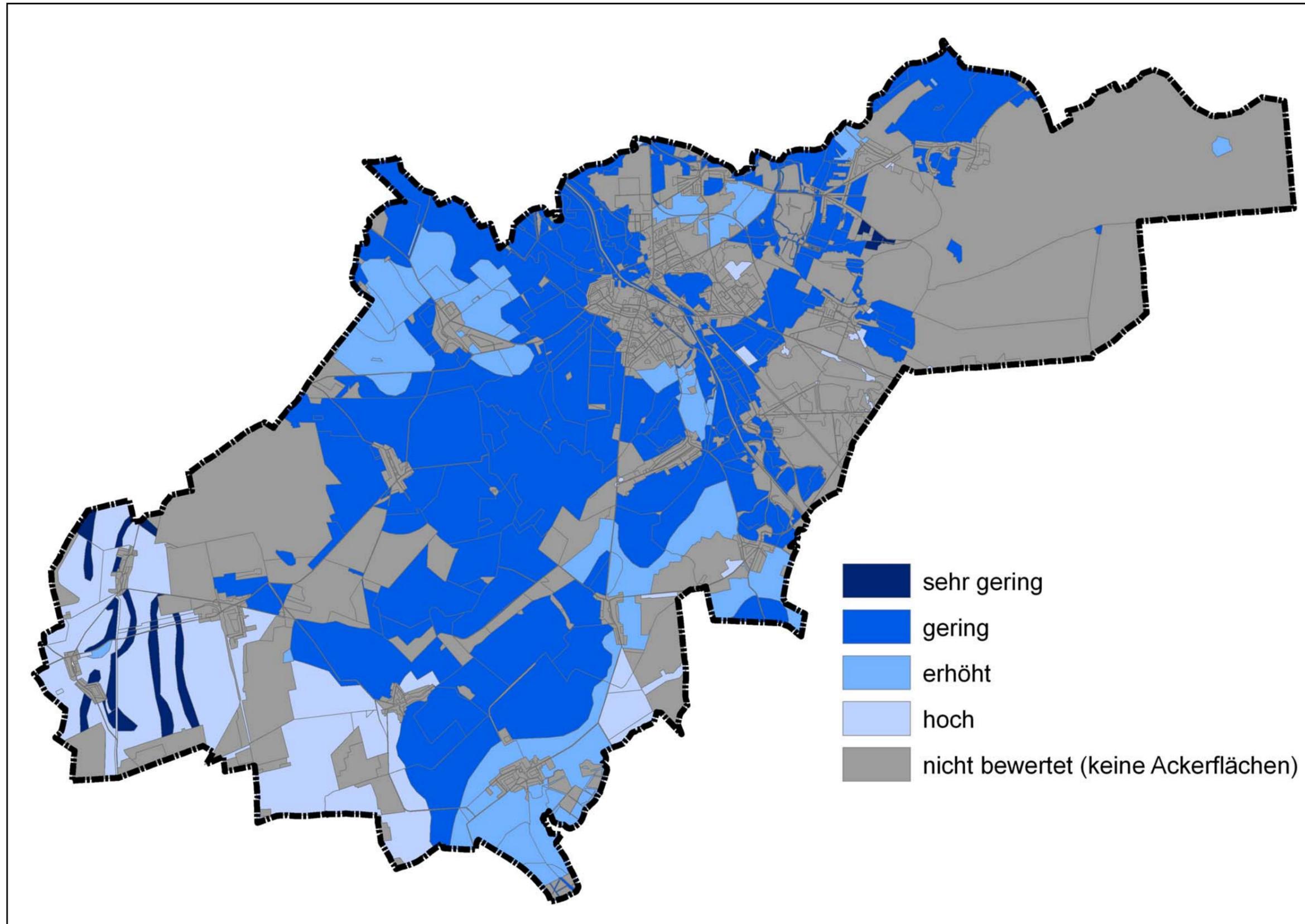
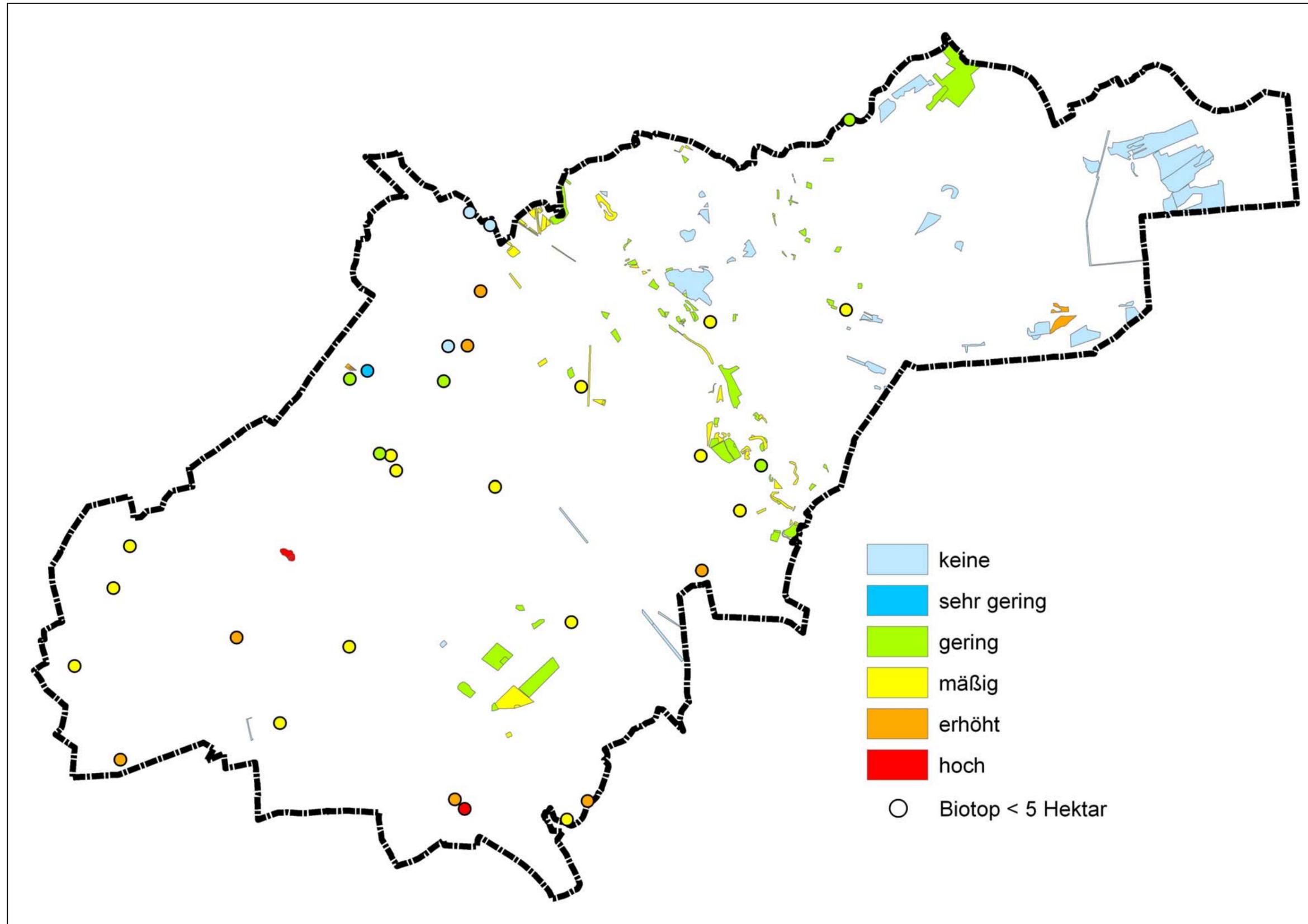


Abbildung 19: Anfälligkeit der geschützten Biotop gegenüber einem reduzierten Wasserdargebot



4.2.3 Veränderte Ansprüche an die Ausgestaltung von Freiflächen

Ausgangssituation

Die veränderten Ansprüche an die Ausgestaltung von Freiflächen beziehen sich auf die Wahrung einer möglichst hohen Aufenthaltsqualität. Diese wird im Zuge des Klimawandels in der Region im Sommer durch die Zunahme heißer Tage reduziert werden. Die Freiflächen im Untersuchungsgebiet sind daher auf ihre Anfälligkeit gegenüber diesen Entwicklungen aufgrund ihrer Strukturen und Ausstattung zu analysieren.

Freiflächen in Form von Plätzen und Parkanlagen existieren im Untersuchungsgebiet vor allem innerhalb der Stadt Bad Liebenwerda. Hier besitzen diese zugleich aufgrund des Kurortstatus der Stadt besonders hohe Bedeutung für die Erholung der Kurgäste. Eine zentrale Funktion bei der Grünflächenversorgung der Stadt nimmt der Kurpark ein. Den wichtigsten Stadtplatz stellt der Marktplatz dar. Da die öffentlichen Freiflächen in den Ortsteilen schon aufgrund ihrer geringeren Frequentierung dagegen eine untergeordnete Rolle spielen, beschränkt sich die Untersuchung auf Bad Liebenwerda selbst.

Daneben ist die Aufenthaltsqualität der freien Landschaft nicht zuletzt als wichtiger Bestandteil des Kurangebots in die Betrachtung einzubeziehen. Aufgrund der starken inhaltlichen Überschneidung zu der Wirkfolge „sinkender thermischer Komfort“ wird an dieser Stelle auf die diesbezüglich durchgeführten Untersuchungen verwiesen (siehe Kapitel 4.2.1). Der Aspekt wird daher im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

Methodische Vorgehensweise

Zunächst sind die relevanten Freiflächen im Untersuchungsgebiet zu ermitteln. Als Freiflächen werden definiert:

- innerörtliche Straßen und Wege,
- Parkanlagen,
- öffentliche Plätze.

Für die Identifikation dieser Flächen wird der Flächennutzungsplan, der Landschaftsplan und die Topografische Karte im Maßstab 1:10.000 herangezogen. Zur weiteren Differenzierung wird unterstützend eine Luftbildauswertung vorgenommen.

Die Flächen werden dann auf ihre Beschattung hin untersucht. Dabei spielt die Lage der schattenspendenden Strukturen auf oder um die betrachteten Freifläche eine große Rolle. Demnach besteht der größte Schutzbedarf in der Mittagszeit, wenn die Sonne im Süden steht und ihre größte Kraft entfaltet. Hat sie ihren Höchststand noch nicht erreicht oder bereits überschritten, ist die Einstrahlung schwächer. Schattenspendende Strukturen sind daher dahingehend zu bewerten, wann Sie im Verlaufe des Tages ihre Wirkung entfalten. Eine Baumreihe die nördlich entlang einer Straße verläuft besitzt beispielsweise keine relevante schattenspendende Wirkung. Eine südlich gelegene Baumgruppe bietet dagegen in dem Tageszeitraum mit den höchsten Temperaturen Schutz. Eine Allee stellt in Bezug auf Straßen die ideale Struktur da, bietet sie doch ganzen Tag über Sonnenschutz. Aus diesen Überlegungen ergibt sich für alle Freiflächen das gleiche Bewertungsschema wie es in Tabelle 10 bezüglich eines sinkenden thermischen Komforts in der freien Landschaft zum Zug kommt. Darüber hinaus ergibt sich eine weitere Differenzierung bei der Flächenanalyse in Abhängigkeit von der Nutzung.

Straßen und Wege

Bei Straßen und Wegen wurde der begleitende Baumbestand für die Analyse herangezogen. Häuser spenden dagegen zwar Schatten, sind jedoch meist durch Vorgärten und Abstandsgrün weiter entfernt von der Straße gelegen. Auch sind die Häuser aufgrund des Dorfcharakters der Ortsteile und des Kleinstadtcharakters Bad Liebenwerdas selbst häufig nicht hoch genug, um den Weg oder die Straße zuverlässig zu beschatten. Daher wurde die Bebauungsstruktur nicht in die Analyse einbezogen. Je größer im Ergebnis die Exposition eines Abschnittes einer Straße oder eines Weges gegenüber der Sonneneinstrahlung ausfällt, und je länger dieser ist, umso stärker wird die Route insgesamt von erhöhten Temperaturen in ihrer Aufenthaltsqualität gemindert. Die Empfindlichkeit des Straßen- und Wegenetzes Bad Liebenwerdas wird verbal argumentativ bewertet. Die einzelnen Abschnitte dienen somit zur Beurteilung der Gesamtsituation. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt auf Grundlage des Straßen- und Wegenetzes des Flächennutzungsplans mit hinterlegter TK 10.

Parkanlagen, öffentliche Plätze

Schattenspendende oder kühlende Strukturen, die die Aufenthaltsqualität der Freiflächen verbessern, lassen sich grob in drei Kategorien unterscheiden. In der Reihenfolge ihrer Effizienz handelt es sich um Grünstrukturen, Wasserflächen und künstliche Beschattungsstrukturen. Grünstrukturen sind dabei besonders effizient, da diese gleich auf zweifache Weise wirken. Zum einen gewähren sie Schatten am Tag, zum anderen kühlen sie auch nachts durch Transpiration ihr Umfeld ab. Dagegen bieten Wasserflächen zwar Abkühlung durch Verdunstung, jedoch keinen Schatten. Als drittes sind leblose Strukturen wie Häuser oder Mauern zu berücksichtigen. Diese bieten Schatten, jedoch keinen Kühlungseffekt durch Verdunstung. Neben der Art der vorhandenen Strukturen spielt deren Anordnung ebenfalls eine große Rolle. So ist eine Parkgliederung durch viele kleine Busch- und Baumgruppen eingebettet in Rasenflächen von Vorteil, da der Wind hier immer wieder auf kleine Hindernisse trifft. Dies sorgt für zusätzlich kühlende Luftzirkulationen durch Verwirbelungen.

Die identifizierten Parkanlagen und öffentliche Plätze werden auf Grundlage der genannten Kriterien analysiert und eingestuft. Hierfür werden Luftbilder sowie Vorort Begehungen ausgewertet. Da sich vor allem Grünflächen sehr unterschiedlich darstellen und dadurch nur schwer schematisieren lassen, erfolgt die anschließende Einstufung der Anfälligkeit verbal argumentativ. In der Karte wird die Gesamteinstufung der einzelnen Flächen durch Symbole dargestellt.

Ergebnisse zu „Parkanlagen, öffentliche Plätze“

Kurpark

Der Kurpark weist seinem Namen „Wäldchen“ entsprechend auf einem Großteil seiner Fläche einen dichten Bestand alter Laubbäume auf. Die wenigen Rasenflächen sind mit Bäumen umstanden, die aufgrund ihrer Höhe und Kronendurchmesser zu jeder Tageszeit Teilflächen beschatten. Einzige Ausnahme bildet die Freifläche im südöstlichen Teil des Kurparks auf Höhe des Sportplatzes. Diese besitzt selbst keine schattenspendenden Strukturen und profitiert durch ihre Größe auch nur geringfügig von den Bäumen der Umgebung. Das über weite Strecken unter Bäumen verlaufende Wegenetz weist nur im südlichen Teil des Parks entlang des Mühlgrabens sonnenexponiertere Abschnitte auf. Da diese jedoch von südlich anschließenden Bäumen flankiert werden, ist eine Hitzebelastung durch direkte Sonneneinstrahlung nur an sehr heißen Tagen am späten Morgen zu erwarten. Der im Norden auf der gegenüberliegenden Seite der Schwarzen Elster befindliche Teil des Kurparks ist auf Höhe des Otto Kloss Gartens und dem Garten der Sinne ebenfalls dicht mit Bäumen bestanden. Auf der westlich der Teiche gelegenen Rasenfläche fehlen dagegen Gehölze weitestgehend. Die Exponiertheit gegenüber direkter Sonneneinstrahlung ist hier daher dementsprechend hoch. Auch der Weg um die Teiche ist in weiten Abschnitten nicht beschattet. Zwar geht von den Wasserflächen und der schwarzen Elster ein Kühlungseffekt aus, insgesamt scheint die Aufenthaltsqualität an heißen Tagen jedoch auf einem Großteil dieser Flächen im Nordwesten des Kurparks eingeschränkt. Die Anfälligkeit ist hier daher als mittel zu bezeichnen.

Insgesamt ist die Anfälligkeit und damit der Anpassungsbedarf des Kurparks gegenüber einer erhöhten Hitzebelastung nicht zuletzt auch durch seine Insellage zwischen der Schwarzen Elster und dem Mühlgraben sehr gering. Aufgrund der guten Freiraumversorgung mit beschatteten Rasenflächen im Umfeld besteht auch für die Fläche im Süden in unmittelbarer Nähe zum Sportplatz kein akuter Handlungsbedarf. Einzig die Grünfläche im Nordwesten des Kurparks kann in Abhängigkeit von ihrem Stellenwert für die Freiraumversorgung von einer Aufwertung ihrer Aufenthaltsqualität durch ergänzende Pflanzungen profitieren.

Marktplatz

Der Platz vor dem Rathaus präsentiert sich als gepflasterte Fläche. Am östlichen Rand der St. Nikolai-Kirche vorgelagert stehen mehrere alte Bäume. Während diese bis zum späten Vormittag den Platz noch stark beschatten, existiert in der Mittagszeit kein Schatten auf dem Platz. Entsprechend gering ist die Aufenthaltsqualität zu dieser Tageszeit. Am Nachmittag sorgt das Rathaus selbst für eine ausreichende Beschattung. Die Anfälligkeit ist insgesamt gering, da der Platz außerhalb der Marktzeiten nur als Wegeverbindung dient und die mittägliche Exponiertheit somit auf eine relativ geringe Empfindlichkeit stößt.

Private Grünfläche

Der Park wird von einer mit Bäumen umrahmten Rasenfläche gebildet, in dessen Zentrum ein Weiher liegt. Auch finden sich auf der Fläche einzelne Bäume. Die Beschattungssituation ist daher als gut zu bezeichnen, die Anfälligkeit damit als gering.

Kartografische Darstellung der Ergebnisse „Veränderte Ansprüche an die Ausgestaltung von Freiflächen“

Abbildung 20: Thermischer Komfort der Straßen und Wege in Bad Liebenwerda

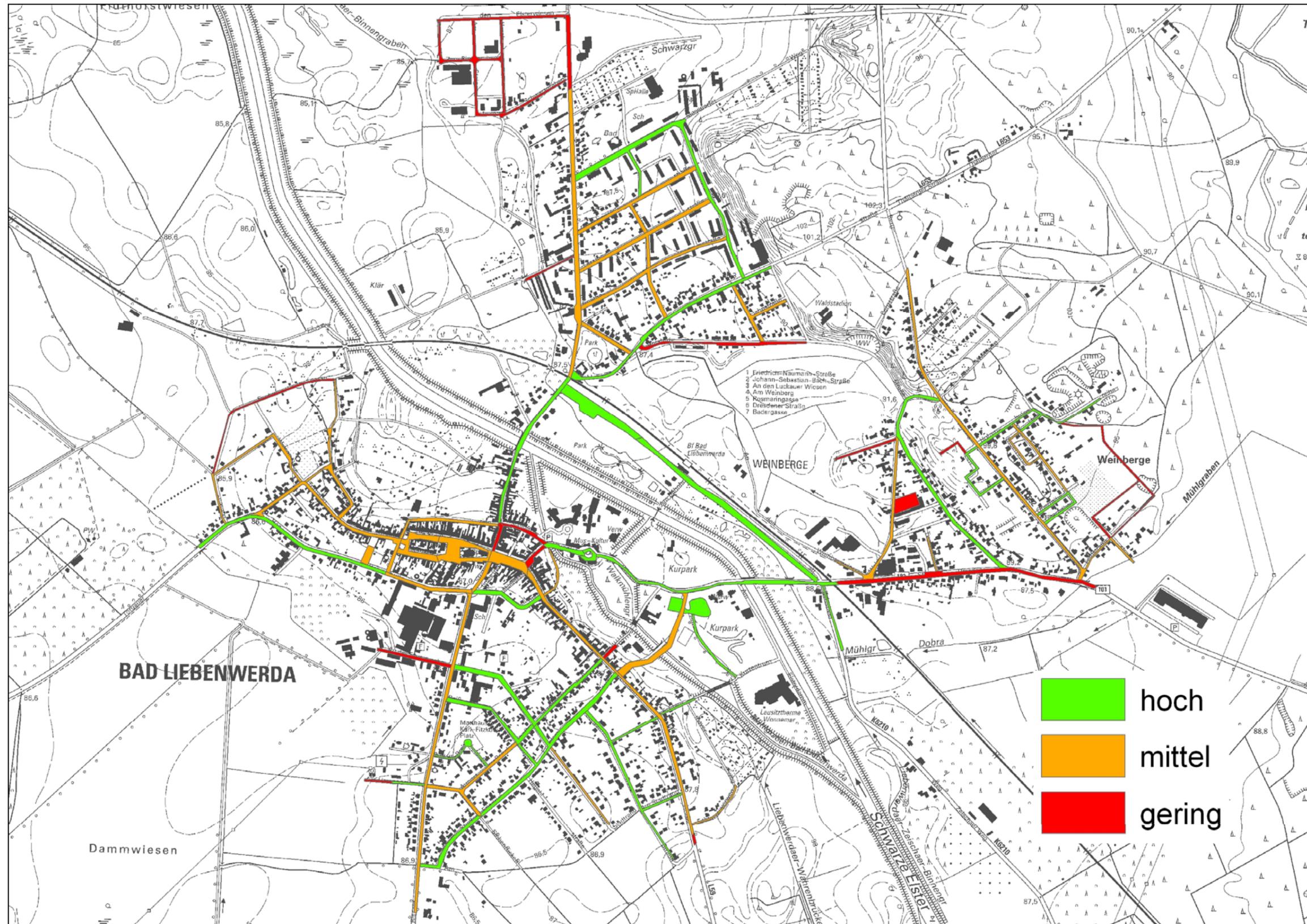
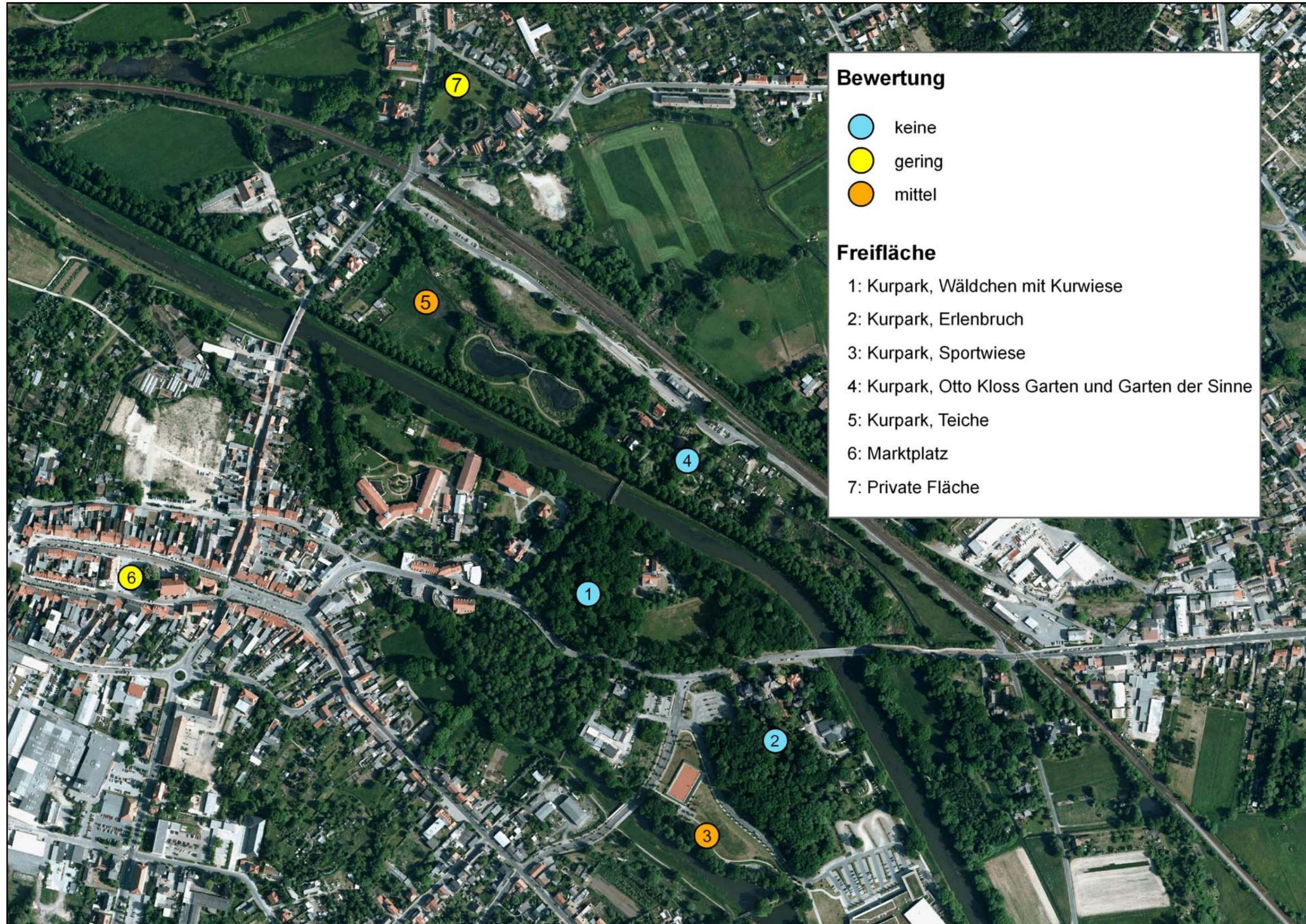


Abbildung 21: Anfälligkeit der Parkanlagen und des Marktplatzes in Bad Liebenwerda gegenüber einem sinkenden thermischen Komfort



4.2.4 Veränderung der Eignung von Pflanzen

Ausgangssituation

Auf Grund der vergleichsweise geringen Jahresniederschläge von 550 mm¹⁵ (BMU 2003) und der Dominanz sandiger Böden mit geringer Speicherkapazität ist die Stadt Bad Liebenwerda wie ganz Brandenburg besonders anfällig gegenüber lang anhaltenden Hitze- und Trockenperioden und damit einhergehender Wasserknappheit für Pflanzen. Dieses Problem wird in Zukunft noch verschärft, da die Ergebnisse der Klimamodellauswertung eine deutliche Erhöhung der durchschnittlichen Tagesmitteltemperaturen, die Zunahme heißer Tage im Sommer und einen Rückgang der Sommerniederschläge ergab. Dementsprechend legen auch einige der ausgewerteten Studien eine erhöhte Dürregefahr in der Region im Sommer und die Reduzierung der Sickerwasserspenden nahe (vgl. Kapitel 3.3.1).

Die Entwicklung der Wasserverfügbarkeit wird daher als am dringlichsten in Bezug auf eine veränderte Eignung von Pflanzen angesehen und im Blickpunkt der Betrachtung stehen. Direkte Pflanzenschädigungen durch Hitzeperioden werden dagegen durch den erhöhten Düngeeffekt steigender CO₂ Konzentrationen in der Luft zumindest teilweise kompensiert werden¹⁶. Daher wird dieser Aspekt nicht näher berücksichtigt. Das Projektgebiet lässt sich bezüglich der Wasserversorgung aufgrund unterschiedlicher Rahmenbedingungen in die Räume Siedlung und Landschaft einteilen.

Siedlung

In den Siedlungsbereichen wird das Problem der veränderten Pflanzeneignung infolge reduzierter Wasserverfügbarkeit noch durch den Wärmeinseleffekt im Sommer verschärft. Diese Entwicklung kann zwar durch erhöhte Bewässerungsgaben ausgeglichen werden, zugleich jedoch zu Konflikten mit der allgemeinen Wasserversorgung führen. Daher wird der Stadtraum in die Analyse einbezogen. Betrachtet wird die Anfälligkeit des Vegetationsbestand von:

- Straßen,
- Plätze,
- Parkanlagen.

Die Analyse konzentriert sich dabei auf die Stadt Bad Liebenwerda selbst, da die genannten Orte im Untersuchungsgebiet nur hier in größerer Anzahl vorhanden sind. Privatgärten werden infolge mangelnder Informationen zum Artenspektrum und der unüberschaubar hohen Zahl potentieller Arten, die auch viele Neophyten einschließt, bei der Untersuchung ebenfalls nicht berücksichtigt. Hier ist bedingt durch starke Privatinteressen zugleich jedoch auch die größte Anpassungsfähigkeit und damit insgesamt niedrigste Betroffenheit zu erwarten.

Landschaft

In der freien Landschaft kann die Erwärmung durch den fehlenden Wärmeinseleffekt bis zu einige Grad niedriger als in der Stadt Bad Liebenwerda liegen. Als wesentliche Nutzungstypen existiert hier die Land- und Forstwirtschaft. Auf landwirtschaftlichen Flächen kann im Allgemeinen von einer relativ großen Anpassungsfähigkeit gegenüber einer Verringerung der Wasserverfügbarkeit beispielsweise durch kurzfristige Umstellung der angebauten Kulturen ausgegangen werden. Bäume sind dagegen sehr langlebig und brauchen viele Jahre für ihre Entwicklung. Dagegen kommt der erwartete Klimawandel sehr rasch. Seine Geschwindigkeit und sein Ausmaß drohen die Anpassungsfähigkeit der Wälder zu überfordern. Um die größtmögliche Betroffenheit der Gemeinde Bad Liebenwerda gegenüber einer veränderten Eignung von Pflanzen zu ermitteln, wird den Ausführungen folgend die Forstwirtschaft im Bereich der freien Landschaft im Blickpunkt der Untersuchung stehen.

Methodische Vorgehensweise

Bad Liebenwerda

Für die Stadt Bad Liebenwerda liegen keine dezidierten Erfassungen zum Baumbestand vor. Ein Grünflächen- und Baumkataster existiert nicht. Zwar wurde von der für die Straßen und

¹⁵ Die durchschnittliche Niederschlagsmenge liegt in Deutschland bei ca. 789 mm im Jahr.

¹⁶ vgl. z.B. Auswertung der Brandenburg-Studie zur Entwicklung des Weizenertrages in Kapitel 3.3.1.

Grünflächenunterhaltung zuständigen Stelle eine Abschätzung der im Stadtgebiet und den Ortsteilen vorhandenen Baumgattungen und Individuen zur Verfügung gestellt, Angaben zu den Arten konnten allerdings nicht gemacht werden. Die Abschätzung der Anfälligkeit der Bäume kann jedoch nur auf Artenebene erfolgen, da die Klimaverträglichkeit der Bäume innerhalb einer Gattung ersten Forschungsergebnissen zufolge sehr unterschiedlich ausfallen. Sogar wenn nur einheimische Gehölze in die Betrachtung einbezogen werden, ergibt sich ein stark differenziertes Bild. Tabelle 17 verdeutlicht dieses Problem und zeigt zugleich vor allem die Wissenslücken, die noch bei vielen Gehölzen bezüglich ihrer Klimawandeleignung bestehen. In der Tabelle werden die in Brandenburg natürlich vorkommenden Gehölze bezüglich ihrer Klimawandel-Tauglichkeit anhand der Kriterien Trockenstress-Toleranz und Winterhärte nach der Klima-Arten-Matrix von ROLOFF ET AL. für urbane Räume eingestuft (2008). Dabei sind die Baumarten grün hinterlegt, die in beiden Kriterien als sehr geeignet beurteilt werden. Gelb sind solche markiert, die in beiden Kategorie mindestens als geeignet eingestuft werden, während Gehölze die in mindestens einer der beiden Kategorien eingeschränkt, ungeeignet oder problematisch sind, rot gekennzeichnet sind. Daneben werden Ansprüche der Arten bezüglich Wasser- und Nährstoffversorgung aufgezeigt. Dabei ist davon auszugehen, dass die Einstufung der Gehölze unter abweichenden Standortverhältnissen eher schlechter ausfallen dürfte. Die Tabelle kann dazu dienen, nach einer abgeschlossenen Bestandsaufnahme des Baumbestandes der Stadt erste Hinweise auf die Anfälligkeit ihres Inventars zu geben. Für eine genaue Einstufung sind jedoch die genauen Standortverhältnisse zu ermitteln. Bezüglich Neophyten kann die Klima-Arten-Matrix von ROLOFF ET AL. für urbane Räume Anhaltspunkte liefern.

Forstwirtschaft

Für die Ermittlung der Bestandsbestockung im Gemeindegebiet wird der Datenspeicher Wald und die dazugehörige Forstgrundkarte des Landeskompetenzzentrums Forst Eberswalde herangezogen. Als Flächeneinheit werden die in der Forstgrundkarte dargestellten Abteilungen verwendet. Da der Datenspeicher Wald weitere Flächendifferenzierungen enthält, wird die Baumart mit dem größten Anteil auf allen nachgeordneten Flächen für die gesamte Abteilung angenommen. Die Forstgrundkarte des Untersuchungsgebiets mit ihren auf diese Art zugewiesenen Hauptbaumarten wird im nächsten Schritt mit den Hydromorphiekarten des Untersuchungsgebiets der Landschaftsrahmenpläne Elbe-Elster und Naturpark Niederlausitzer Heidelandschaft (beide Fugmann Janotta 1997) verschnitten.

Durch diesen Schritt ist im Anschluss eine Bewertung der Bestockung der einzelnen Standorte hinsichtlich ihrer Eignung gegenüber verstärkt auftretenden Dürreperioden im Sommer mit Hilfe der KlimaArtenMatrix-Wald (ROHLOFF ET AL. 2008) möglich. Die Matrix stuft gängige, forstlich genutzte Baumarten bezüglich ihrer Trockenheitstoleranz und Frostresistenz in Abhängigkeit von den Bodenfeuchteverhältnissen ein. Für die Bewertung werden die in der Matrix verwendeten Feuchtespannen in die Nomenklatur der Hydromorphiestufen überführt. Die Tabelle 16 zeigt die im Untersuchungsgebiet vorkommenden Hauptbaumarten mit ihren Einstufungen durch die KlimaArtenMatrix-Wald. Bestandsprägend ist dabei die Waldkiefer, die den mit Abstand größten Teil der Bestockung im Untersuchungsgebiet ausmacht.

Tabelle 16: KlimaArtenMatrix für die im Gemeindegebiet vorkommenden Hauptwaldbaumarten

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Standortfeuchte nach KLAM- Wald			
		nass bis sehr frisch	ziemlich frisch bis frisch	mäßig frisch bis mäßig trocken	trocken bis sehr trocken
<i>Alnus glutinosa</i>	Schwarz-Erle	sehr gut geeignet	gut geeignet	Nicht geeignet	Nicht geeignet
<i>Betula pendula</i>	Hänge-Birke	bedingt geeignet	sehr gut geeignet	sehr gut geeignet	sehr gut geeignet
<i>Pinus sylvestris</i>	Waldkiefer	bedingt geeignet	gut geeignet	sehr gut geeignet	sehr gut geeignet

Ergebnisse zu „Bad Liebenwerda“

Tabelle 17: In Brandenburg natürlich vorkommende Gehölze und ihre Tauglichkeit gegenüber dem Klimawandel

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Wasserversorgung			Nährstoffversorgung	
		nass	feucht-frisch	trocken	reich	arm
Acer campestre	Feld-Ahorn		x	x	x	
Acer platanoides	Spitz-Ahorn		x		x	
Acer pseudoplatanus	Berg-Ahorn		x		x	
Alnus glutinosa	Schwarz-Erle	x			x	x
Betula pendula	Hänge-Birke		x	x	x	x
Betula pubescens	Moor-Birke	x	x		x	x
Carpinus betulus	Hainbuche		x			
Cornus sanguinea s.l.	Roter Hartriegel		x	x	x	
Corylus avellana	Gemeine Hasel		x		x	
Crataegus laevigata	Zweiggriffliger Weißdorn		x	x	x	
Crataegus monogyna	Einfriffliger Weißdorn		x	x	x	x
Crataegus-Hybriden	Weißdorn		x	x	x	x
Cytisus scorapius	Besenginster			x		x
Euonymus europaea	Europ. Pfaffenhütchen		x		x	
Fagus sylvatica	Rot-Buche		x		x	
Frangula alnus	Faulbaum	x	x		x	x
Fraxinus excelsior	Gemeine Esche	x	x		x	x
Malus sylvestris agg.	Wild-Apfel		x		x	x
Pinus sylvestris	Gemeine Kiefer		x	x	x	x
Populus tremula	Zitter-Pappel, Espe		x	x	x	x
Prunus padus	Gew. Traubenkirsche		x		x	x
Prunus spinosa	Schwarzdorn, Schlehe		x	x	x	
Pyrus pyraeaster	Wild-Birne		x	x	x	x
Quercus petraea	Trauben-Eiche		x	x	x	x
Quercus robur	Stiel-Eiche		x	x	x	x
Rhamnus cathartica	Purgier-Kreuzdorn		x	x	x	x
Rosa canina	Hunds-Rose		x	x	x	x
Rosa canina agg.	Artengruppe Hunds-Rose		x	x	x	
Rosa corymbifera	Artengruppe Hecken-Rose		x	x	x	
Rosa indora	Geruchlose Rose			x	x	
Rosa rubiginosa	Artengruppe Wein-Rose			x	x	
Rosa tomentosa	Artengruppe Filz-Rose		x		x	
Salix alba	Silber-Weide	x	x		x	x
Salix aurita agg.	Ohr-Weide	x				x
Salix caprea	Sal-Weide		x	x	x	x
Salix cinerea	Grau-Weide, Asch-Weide	x			x	x
Salix pentandra	Lorbeer-Weide	x			x	x
Salix tiandra	Mandel-Weide	x			x	
Salix viminalis	Korb-Weide	x	x		x	x

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Wasserversorgung			Nährstoffversorgung	
		nass	feucht-frisch	trocken	reich	arm
<i>Salix x rubens</i>	Hohe Weide	x	x		x	x
<i>Sambucus nigra</i>	Schwarzer Holunder		x		x	
<i>Sorbus aucuparia</i>	Eberesche, Vogelbeere		x	x	x	x
<i>Tilia cordata</i>	Winter-Linde		x		x	
<i>Ulmus glabra</i>	Berg-Ulme		x		x	
<i>Ulmus laevis</i>	Flatter-Ulme	x	x		x	
<i>Ulmus minor</i>	Feld-Ulme		x		x	
<i>Ulmus x hollandica</i>	Bastard-Ulme		x		x	
<i>Viburnum opulus</i>	Gemeiner Schneeball	x	x		x	x

Einstufung der Klimawandel-Tauglichkeit nach Trockenstress-Toleranz und Winterhärte

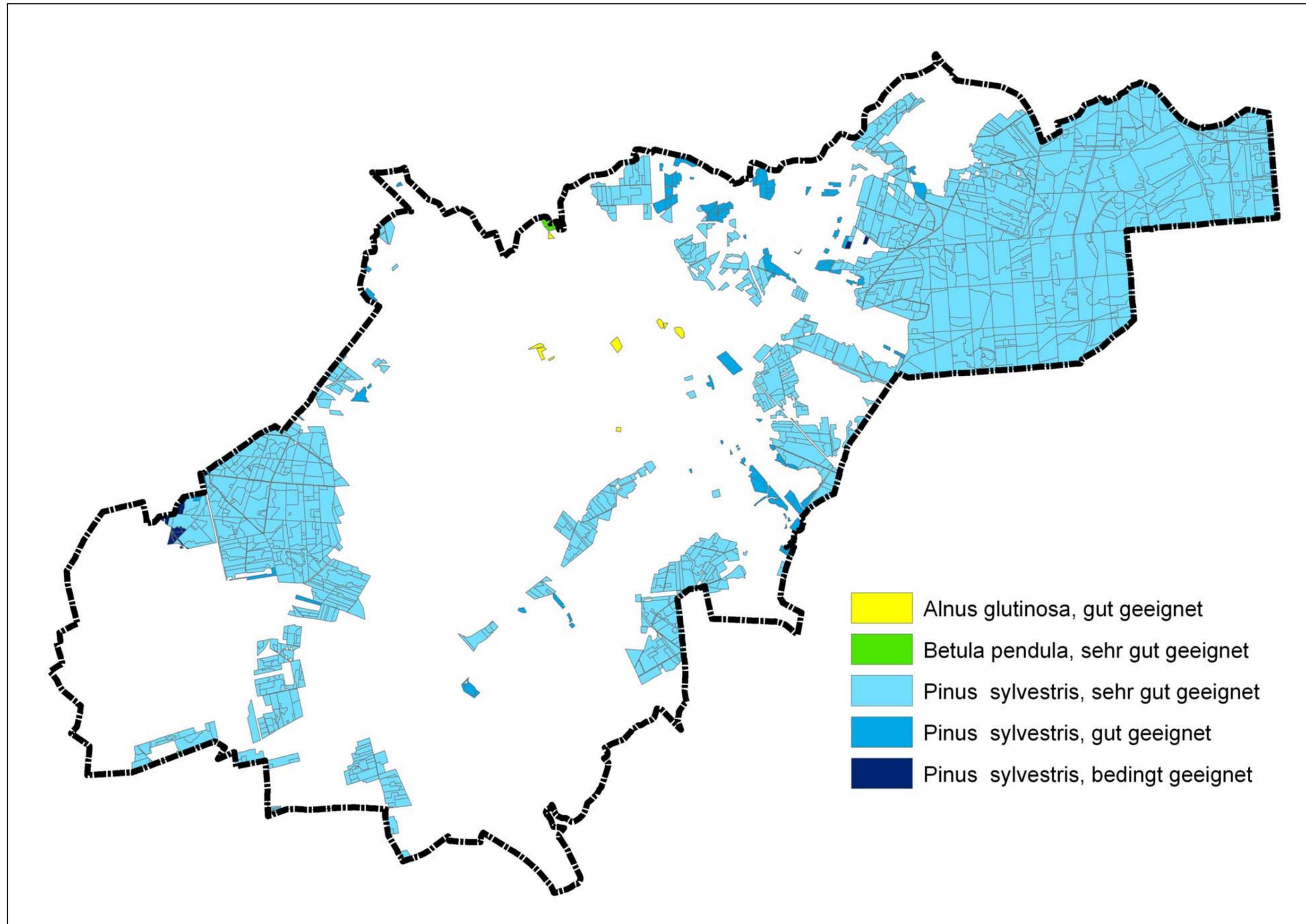
Grün: in beiden Kategorien sehr geeignet

Gelb: in beiden Kategorien mindestens gut

Rot: in einer Kategorie eingeschränkt, ungeeignet oder problematisch

Kartografische Darstellung der Ergebnisse „Veränderung der Eignung von Pflanzen“

Abbildung 22: Hauptbaumarten und ihre Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel in Abhängigkeit von den Feuchteverhältnissen der Standorte



4.2.5 Steigender Bedarf an Frisch- und Kaltluftentstehungsgebieten

Ausgangssituation

Im urbanen Raum wie ihn auch Bad Liebenwerda repräsentiert kann sowohl die lufthygienische als auch die thermische Belastung für die Bevölkerung sehr hoch sein, weil überwärmte Luft oder Schadstoffe nicht abtransportiert werden. Je dichter dabei die Bebauung, desto stärker kann dieses Phänomen auftreten. Demnach ist die Belastung im Innenstadtbereich rund um den Marktplatz von Bad Liebenwerda und südlich davon potentiell am höchsten.

Lufthygienische Belastungen werden im Stadtgebiet Bad Liebenwerdas vor allem durch Kraftfahrzeuge, Heizanlagen und gewerbliche Emittenten verursacht. Störende und belästigende Sekundäremissionen entstehen durch eine verkehrsbedingte Staubaufwirbelung. Ebenso haben vielfach großräumige Verfrachtungen, insbesondere von gasförmigen Luftbeimengungen, erheblichen Einfluss auf die örtliche Luftqualität, sind jedoch durch lokale oder regionale Maßnahmen kaum zu beeinflussen.

Die thermische Belastung resultiert aus dem Wärmeinseleffekt welcher an heißen Tagen für ein erhöhtes thermisches Niveau Bad Liebenwerdas gegenüber dem Umland sorgt (vgl. Kapitel 4.2.1.). Insbesondere in austauscharmen, sommerlichen Schönwetterperioden setzt sich die thermische Belastung in Tropennächten auch Nachts in den Häusern fort.

Die Veränderungen des Klimas wirken sich in Bezug auf die Lufthygiene vor allem durch die Veränderung der Dauer und Stärke von Phasen mit Belastungssituationen aus (ANDERSON ET AL. 2002). Die winterlichen Belastungen dürften im Gemeindegebiet vor allem durch die steigenden Temperaturen und häufigeren Niederschläge eher abnehmen, wohingegen die sommerliche Belastungssituationen wahrscheinlich zunehmen. In mittelbarem Zusammenhang mit der steigenden Zahl an Tagen mit hohen Temperaturen stehen dabei Belastungen durch erhöhte Werte des bodennahen Ozons¹⁷. Steigende Temperaturen in Kombination mit geringeren Niederschlägen dürften im Sommer auch zu stärkeren Luftfrachten von Stäuben führen. Die massivste Staubquelle stellt dabei der Verkehr dar¹⁸.

Eine thermische Luftbelastung wird zukünftig mit hoher Wahrscheinlichkeit noch stärker auftreten, da die Auswertung der Klimamodelle eine Zunahme der Zahl heißer Tage um bis zu zehn und die der Tropennächte um bis zu drei ergab.

Wie stark sich die beschriebenen Luftbelastungen auswirken können, ist entscheidend von der Versorgung der Stadt mit Frisch- und Kaltluft abhängig.

Als Frischluftentstehungsgebiete gelten vegetationsgeprägte Standorte wie Wälder oder Parkanlagen die durch ihre baum- und strauchreiche Vegetation eine lufthygienisch positive Wirkung haben. Auch städtische Siedlungen mit einem hohen Grünflächenanteil und einem geringen Versiegelungsgrad zählen hierzu. Die Vegetation trägt hierbei vor allem durch die Filterung von Stäuben und der Anreicherung der Luft mit Sauerstoff durch die Photosynthese zur Lufthygiene bei. Frischluftentstehungsgebiete besitzen eine besondere Relevanz für Siedlungsräume, da hier die Schadstoffbelastung der Luft besonders hoch ist und zugleich die Durchlüftung infolge der Bauungsstruktur oftmals reduziert wurde. Außerdem leben hier pro Flächeneinheit die meisten Menschen.

Daneben produzieren vor allem unbewachsene Böden, Brachfelder und Wiesen aufgrund ihrer nächtlichen Auskühlung Kaltluft, welche insbesondere in Tropennächten für eine Entlastung sorgen kann. Wälder treten dagegen vor allem tagsüber als Kaltluftherzeuger auf. Gründe hierfür sind die Abschirmung des Waldbodens zur Atmosphäre durch die Belaubung und der erhöhte Energieverbrauch der Bäume durch Wasserverdunstung und Photosynthese.

Die Produktionsrate von Kaltluft hängt stark von der Flächennutzung ab und ist nicht in jedem Fall gleichzusetzen mit der Frischluftproduktionsrate: Kaltluft kann auch schadstoffbeladen die Siedlung durchströmen. Besiedelte Flächen können zu Wärmeinseln werden, aber auch bewaldete Flächen zeigen trotz ihrer großen Bedeutung für die Frischluftproduktion eine gegenläufige Tendenz bei der Kaltluftproduktion.

¹⁷ Erste Abschätzungen für London weisen bspw. auf eine Zunahme von 14% der bodennahen Ozonbelastung je Grad Temperaturzunahme hin (LEE 1993).

¹⁸ Ursache hierfür ist die Zerkleinerung der Staubablagerungen auf der Straßenoberfläche, sowie der Abrieb von Straßendecke und Reifen. Der Staub wird beim Abrollen der Fahrzeugreifen mobilisiert und anschließend durch die Wirbelschleppung des Fahrzeuges in größere Höhen verfrachtet.

Die Wirksamkeit von Frisch- und Kaltluftentstehungsgebieten ist neben ihrer Größe auch von der Lage abhängig. Besitzen diese über Ventilationsbahnen¹⁹ beispielsweise Anschluss an belastete Siedlungsbereiche, ist ihre Wirksamkeit besonders groß.

Als Konsequenz aus einer möglichen Erhöhung der thermischen und hygienischen Belastung der Luft im Sommer wird ein erhöhter Bedarf an Frisch- und Kaltluftgebieten abgeleitet. Die meisten Menschen im Gemeindegebiet leben in der Stadt Bad Liebenwerda, welche zusätzlich den Status eines Kurortes besitzt. Die höchste Empfindlichkeit liegt somit im Stadtraum vor. Die Ermittlung der Anfälligkeit konzentriert sich daher auf Bad Liebenwerda.

Methodische Vorgehensweise

Lufthygienische Belastung

Für die Beurteilung eines steigenden Bedarfs an Frischluftentstehungsgebieten ist zunächst die Hintergrundbelastung der Luft im Untersuchungsgebiet durch solche Schadstoffe abzuschätzen, deren Konzentration mit steigenden Temperaturen und geringeren Niederschlägen erhöht wird. Im Anschluss sind die Entwicklungstrends dieser Schadstoffe zu ermitteln. In Abhängigkeit von den Ergebnissen dieser Relevanzprüfung kann dann gegebenenfalls eine vertiefende Betrachtung einzelner Schadstoffe erfolgen.

Da der Verkehr und der Hausbrand als Hauptemissionsquelle im Gemeindegebiet auftreten, handelt es sich bei den zu betrachtenden Schadstoffen um die Leitsubstanzen Stickstoffdioxid und Benzol, welche als Vorläufersubstanzen zur Ozonbildung beitragen sowie Grob- und Feinstaub. Hinzu kommt die Ozonbelastung selbst. Für die Charakterisierung der aktuellen Hintergrundbelastung und Trendentwicklung in Bad Liebenwerda werden Daten des Landesumweltamtes Brandenburg der Jahre 2007 bis 2009 für die nächst gelegene Messstation Elsterwerda ausgewertet. Die Station befindet sich nicht an einer direkt durch den Straßenverkehr beeinflussten Position und ist somit repräsentativ für den städtischen Hintergrund. Aufgrund der ähnlichen Größe und orografischen Lage Elsterwerdas im Vergleich zu Bad Liebenwerda und der geringen Entfernung von ca. 10 km, lassen sich die dort gemessenen Luftschadstoffimmissionen gut auf das Untersuchungsgebiet anwenden. Wo die Messungen nicht ausreichen, werden die Hintergrundmessstationen des Landesumweltamtes Brandenburg in Eisenhüttenstadt und Wittenberge ausgewertet und Gutachten zur Belastungssituation in Brandenburg herangezogen.

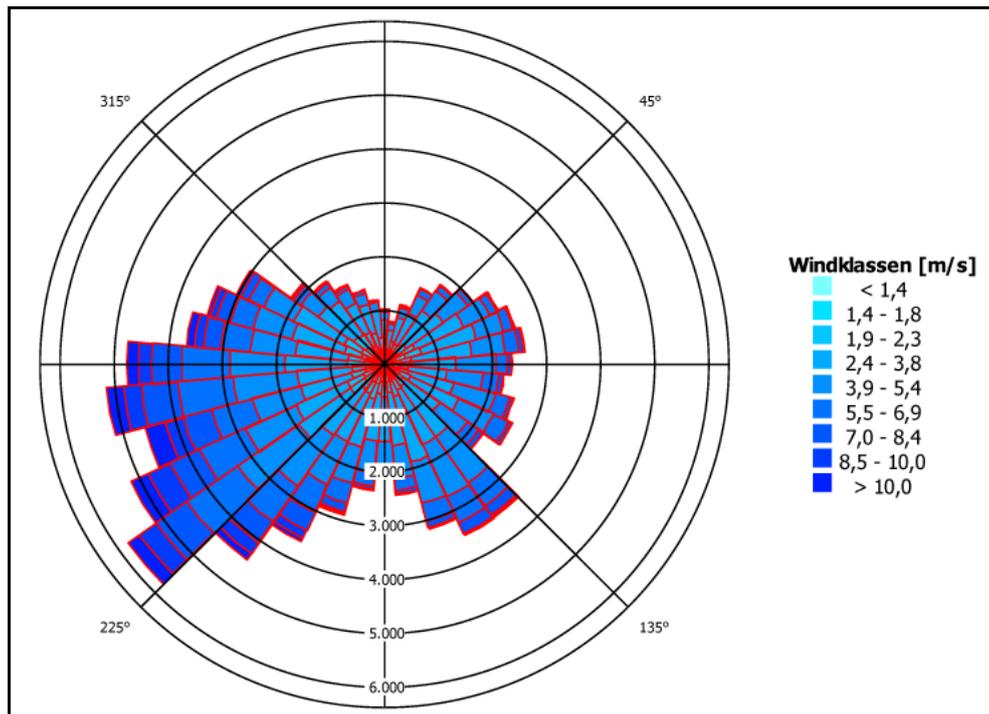
Thermische Luftbelastung

Für die Bewertung des Bedarfs an Kaltluftentstehungsgebieten wird auf Grundlage der Ergebnisse der thermischen Belastung für Bad Liebenwerda aus Kapitel 4.2.1 die Flächennutzung im Umland auf ihren thermischen Einfluss auf die Stadt eingeschätzt. Die Bedeutung der Nutzung für die Kaltluftentstehung sinkt in der Reihenfolge Äcker> Brachen> trockene Wiesen> feuchter Wiese> Schonung und Niederwald> trockenes Moor> Hochwald (UBA 1998). Tagsüber besitzen Wald- und Wasserflächen die größte Wirkung. Neben der Flächengröße und der räumlichen Lage der einzelnen Nutzungen zur Stadt wird dabei auch die Verteilung der Hauptwindrichtung, das Relief und die Bebauungsstruktur berücksichtigt um die Wirkung lokaler Luftleitbahnen beurteilen zu können. In die Betrachtung wird ebenfalls die geplante Ortsumgehung im Süden der Stadt einbezogen.

Die Informationen werden dem Flächennutzungsplan und der TK 10 entnommen. Für die Ermittlung der durchschnittlichen Windrichtungsverteilung wird die Ausbreitungsklassenstatistik der stündlich gemittelten Ausbreitungssituationen – festgelegt durch Windrichtungssektor, Windgeschwindigkeitsklasse und Stabilitätsklasse nach Klug/Mannier – der Meteomedia Messstation Bad Liebenwerda verwendet (vgl. Abb. 13). Die Angaben stammen aus dem Zeitraum 2000 - 2008 (ohne 2004).

¹⁹ Ventilationsbahnen gewährleisten einen Luftmassentransport unabhängig von der lufthygienischen oder thermischen Ausprägung.

Abbildung 23: Durchschnittliche Windrichtungsverteilung der Messstation Bad Liebenwerda Zeitraum 2000 – 2008 (ohne 2004)



In der Windrose ist zu erkennen, dass Winde aus südwestlichen bis westlichen Richtungen dominieren. Ein relatives Maximum stellen die südöstlichen Richtungssektoren dar.

Die Bewertung der Anfälligkeit bzw. des Bedarfs an Kaltluftentstehungsgebieten erfolgt unter den genannten Gesichtspunkten durch eine Einschätzung der lokalen Klimafunktionen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit. Die Ergebnisse werden in einer Klimafunktionskarte dargestellt. Dabei werden auch Aspekte der Frischluftentstehung aufgegriffen.

Ergebnisse zu „Lufthygienische Belastung“

Die Jahresmittelwerte der betrachteten Schadstoffe sind in der Tabelle 18 zusammengestellt.

Tabelle 18: Luftschadstoff-Immissionen an der Station Elsterwerda

Jahr	PM ₁₀ Jahres- mittelwert [µg/m ³]	PM ₁₀ Über- schreitungs- häufigkeit [-]	PM _{2,5} Jahres- mittelwert [µg/m ³]	NO ₂ Jahres- mittelwert [µg/m ³]	Ozon [µg/m ³]	Benzol Jahres- mittelwert [µg/m ³]
2007	24	14	*)	14	51	-
2008	21	5	15	15	49	0,9
2009	23	21	17	17	47	**)

*) Messung erst ab 2008

***) Messung 12/2008 eingestellt

Da die Messungen erst im Jahre 2007 begannen und für einzelne Schadstoffe noch später aufgenommen oder mittlerweile wieder eingestellt wurden, lassen sich aus den Ergebnissen der Messstation Elsterwerda allein bis heute keine belastbaren Trends ableiten. Auch liegen keine Prognoseberechnungen des Landesumweltamtes zur Abschätzung zukünftiger Immissionsbelastungen vor. Obwohl von 2008 nach 2009 ein Anstieg der gemessenen Werte zu verzeichnen ist, kann jedoch aufgrund der Aussagen des letzten Jahresberichts zur Luftqualität in Brandenburg aus dem Jahre 2008 (LUA 2009) davon ausgegangen werden, dass sich die Luftschadstoffimmissionen entsprechend dem Trend der vergangenen Jahre zukünftig weiter vermindern. Dieser Trend gilt für alle hier berücksichtigten Schadstoffe bis auf Schwebstaub. Die Feinstaubbelastung ist laut LUA seit dem Jahr 2000 im

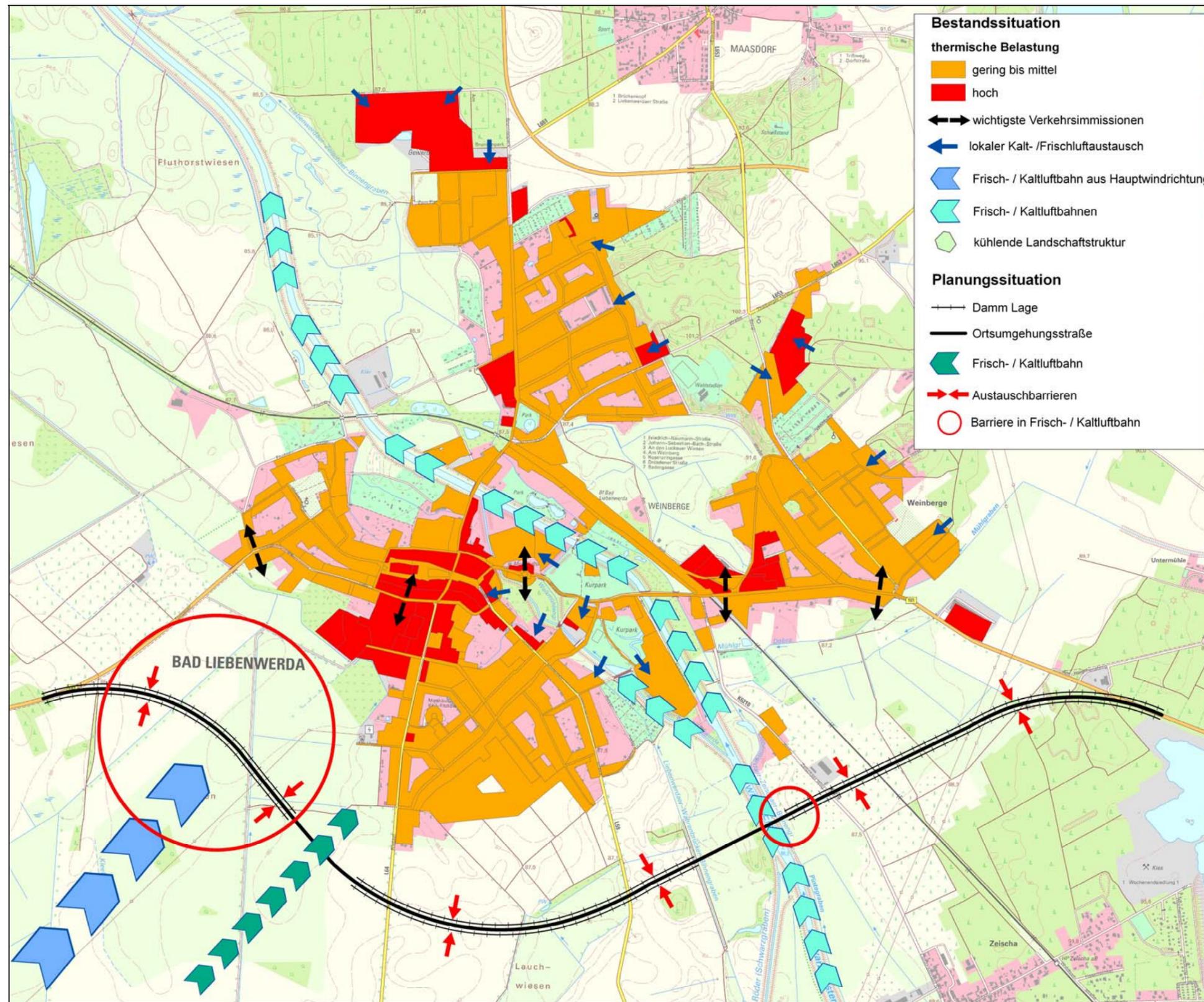
landesweiten Mittel nur geringen, im Wesentlichen meteorologisch bedingten Veränderungen unterworfen gewesen. Trotzdem wurde der Jahresmittelwert-Grenzwert von 40 µg/m³ für PM₁₀ in Elsterwerda im Jahr 2008 und 2009 klar unterschritten. Auch beim PM_{2,5} wird der für 2010 definierte Zielwert von 25 µg/m³ in Elsterwerda 2008 und 2009 deutlich eingehalten.

Die Belastungssituation der Luft durch die betrachteten Schadstoffe und deren Entwicklungstrends lässt die Herleitung eines steigenden Bedarfs an Frisch- und Kaltluftentstehungsgebieten für das Gemeindegebiet nicht zu. Zu deutlich sind die Unterschreitungen der Jahresmittelwert-Grenzwerte für die meisten Schadstoffe und zu gering ist die Zahl der Emittenten Vorort. Auch die Tatsache, dass es sich bei Bad Liebenwerda um eine Kleinstadt handelt, wirkt sich positiv auf die Belastungssituation für fast alle der betrachteten Schadstoffe aus. Einzig die Ozonbelastung liegt im ländlichen Bereich höher als in größeren Städten²⁰. Hier zeigt die Messstation Elsterwerda jedoch dem bundesweiten Trend entsprechend sinkende Konzentrationen. Auch wenn der Klimawandel die Erhöhung einiger der Schadstoffe in der Luft bewirken kann, scheint der Trend zu rückläufigen Konzentrationen diese Entwicklung zu kompensieren.

²⁰ Dafür verantwortlich sind andere Schadstoffe wie bspw. Stickstoffmonoxid das in der Stadt in höheren Konzentrationen vorliegt und in der Nacht einen verstärkten Ozonabbau bedingt.

Kartografische Darstellung der Ergebnisse „steigender Bedarf an Frischluft- und Kaltluftentstehungsgebieten“

Abbildung 24: Klimafunktionskarte Bad Liebenwerda



4.2.6 Veränderte Häufigkeit und Höhe von Hochwässern

Wie in Kapitel 4.1 bereits angemerkt, weicht die Bearbeitung des Aspekts einer veränderten Häufigkeit von Hochwässern von der bisherigen Vorgehensweise ab. Die Betrachtung beschränkt sich im Folgenden auf eine kurze Darstellung der Gefährdung im Bestand. Die Anfälligkeit wird nicht mit einem methodischen Ansatz analysiert sondern nur in ihren Grundzügen verbal-argumentativ dargelegt.

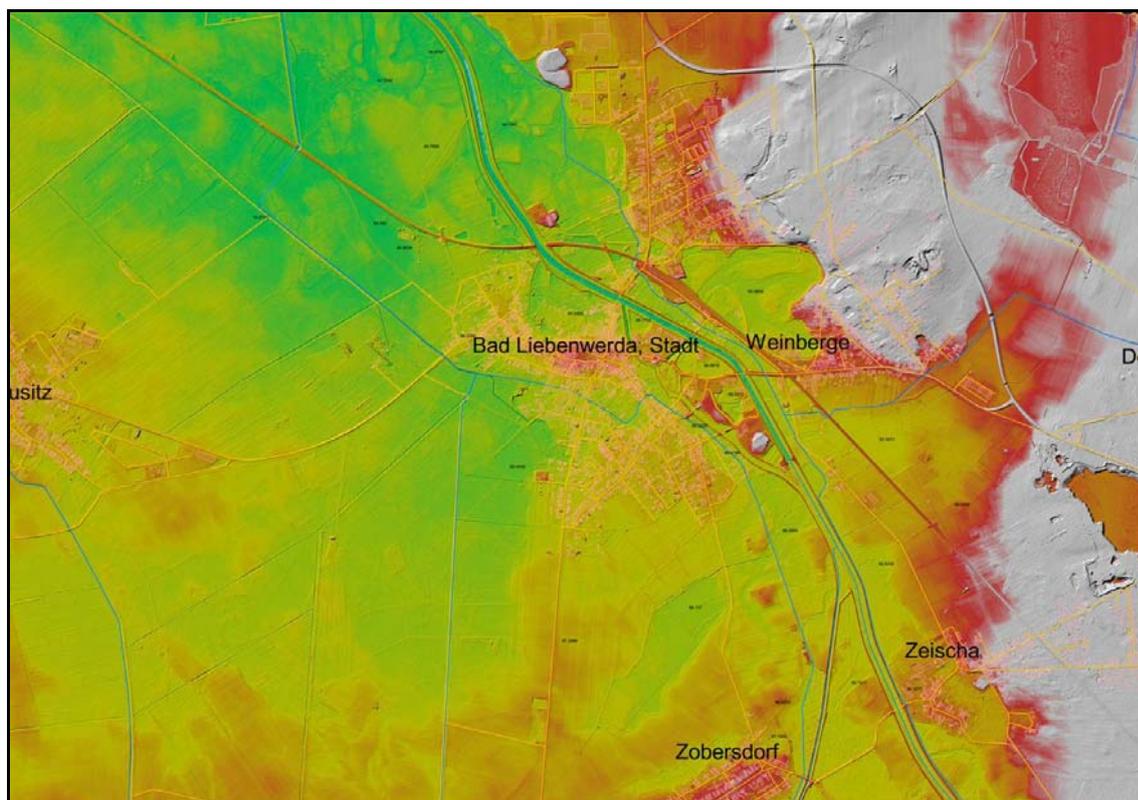
Als Datengrundlage dient ein Geländemodell von Bad Liebenwerda und die TK 10. Mit Hilfe dieser Quellen ist die Identifizierung der Relief- Situation und damit die Ausweisung besonders hochwassergefährdeter Bereiche möglich.

Hochwassergefährdungssituation

Aus der Auflösung des digitalen Geländemodells in Abbildung 25 wird ersichtlich, dass sich ein Großteil des Siedlungsgebietes Bad Liebenwerdas innerhalb des Niederungsbereichs der Schwarzen Elster erstreckt. Während die Wohnbebauung im nördlichen Teil der Stadt teilweise in das Niederlausitzer-Hügelland hineinreicht und damit erhöht liegt, befinden sich die Stadtteile auf der südlichen Uferseite der Schwarzen Elster überwiegend in einer Muldensituation. Lediglich der Stadtkern um den Marktplatz ist höher gelegen.

Die Ortsteile Zobersdorf und Zeischa, welche sich ebenfalls in direkter Nähe zur Schwarzen Elster befinden, liegen auf Anhöhen, wodurch eine Hochwasserbetroffenheit hier geringer ist. Der Ortsteil Lausitz hingegen (am linken Rand der Abbildung 25 nicht vollständig dargestellt) liegt zwar in weiterer Entfernung zum Fluss, zugleich jedoch noch innerhalb der Flächen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit frühzeitig überschwemmt werden würden.

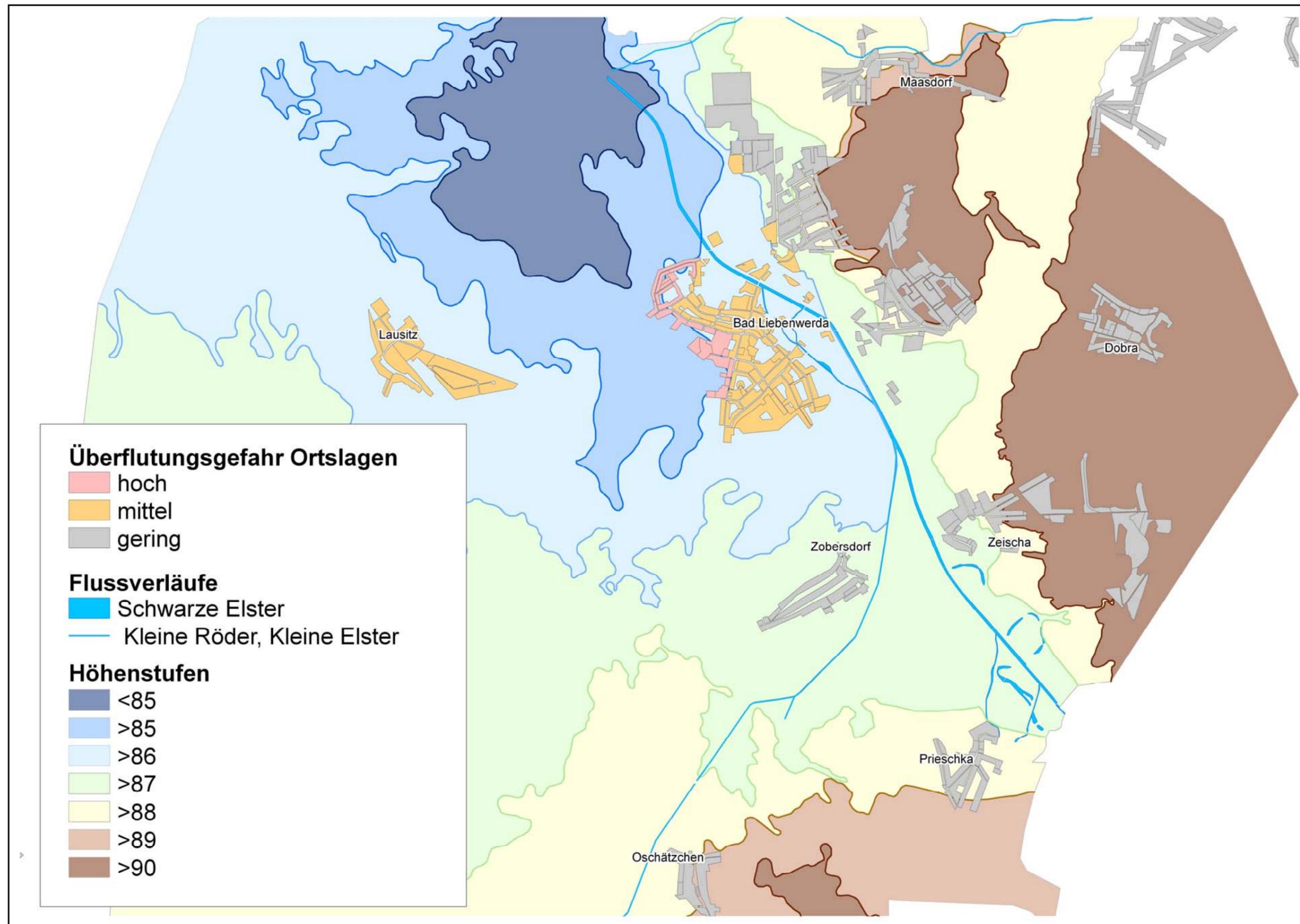
Abbildung 25: Digitales Geländemodell der Stadt Bad Liebenwerda und Umgebung



Aus den topografischen Gegebenheiten folgt somit eine erhöhte Empfindlichkeit der Bebauung und Infrastruktur im südlichen Teil der Stadt Bad Liebenwerda und dem Ortsteil Lausitz. Hier wird sich eine Betroffenheit durch Hochwasser am schnellsten einstellen. Eine Darstellung der gefährdeten Siedlungsbereiche anhand des Verlaufs der Höhenlinien der TK 10 und in Anlehnung an das digitale Geländemodell ist Abbildung 18 zu entnehmen.

Kartografische Darstellung der Ergebnisse „Veränderte Häufigkeit und Höhe von Hochwässern“

Abbildung 26: Hochwassergefährdung der Ortsteile Bad Liebenwerdas



5 Darstellung der Betroffenheit und des Anpassungsbedarfs

5.1 Methodik für die Ermittlung der Betroffenheit

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die möglichen klimatischen Veränderungen (sog. Exposition) im Gemeindegebiet Bad Liebenwerdas und dessen Anfälligkeit gegenüber bestimmter Wirkfolgen untersucht. Durch den nun folgenden Vergleich aus Exposition und Anfälligkeit soll die Betroffenheit und der Handlungsbedarf bezüglich der betrachteten Aspekte des Klimawandels eingeschätzt werden. Um die Betroffenheit möglichst realistisch abbilden zu können, muss eine Risikoabschätzung der verschiedenen Wirkfolgen erfolgen, welche die potentiellen Schäden, deren Wiederholungshäufigkeit und Eintrittswahrscheinlichkeit zum Gegenstand hat. Zu diesem Zweck kommt eine Stärken-Schwächen-Analyse (SWOT-Analyse) zum Einsatz. Daneben sind die Ergebnisse der Exposition und der Anfälligkeit kritisch auf ihre Aussagekraft und Belastbarkeit hin zu hinterfragen. Dabei muss die Prognoseunsicherheit der ausgewerteten Klimamodelle ebenso berücksichtigt werden, wie die gewählten Methoden und die verwendete Datengrundlage.

SWOT – Analyse

Die SWOT-Analyse ist eine Technik, die hauptsächlich im Bereich der strategischen Unternehmensplanung eingesetzt wird. Sie kommt aber auch in Projekten zum Einsatz, um die aktuelle Situation systematisch zu durchleuchten und Lösungsansätze und Gefahren in Richtung der Umsetzung zu diskutieren. SWOT steht für:

1. **Strength** (Stärken)
2. **Weaknesses** (Schwächen)
3. **Opportunities** (Chancen)
4. **Threats** (Gefahren)

Bei einer SWOT- Analyse werden zunächst die Stärken und Schwächen untersucht. Dabei wird im konkreten Fall basierend auf den Ergebnissen der Anfälligkeitsuntersuchung die Bestandssituation stichpunktartig dargestellt. In einem zweiten Schritt werden zukünftige Chancen und Gefahren untersucht. Hierfür sind die Klimaprognosen und die ausgewerteten Studien zur regionalen Betroffenheit heranzuziehen und in Stichpunkten aufzuführen. Im Anschluss wird versucht, den Nutzen aus Stärken und Chancen zu maximieren und die Verluste aus Schwächen und Gefahren zu minimieren. Dazu wird gezielt verbal-argumentativ nach folgenden Kombinationen gesucht, um dann zu klären, welche Initiativen und Maßnahmen sich daraus ableiten lassen:

1. **Stärke-Chancen-Kombination:** Welche Stärken passen zu welchen Chancen? Wie können Stärken genutzt werden, so dass sich die Chancenrealisierung erhöht?
2. **Stärke-Gefahren-Kombination:** Welchen Gefahren kann mit welchen Stärken begegnet werden? Wie können vorhandene Stärken eingesetzt werden, um den Eintritt bestimmter Gefahren abzuwenden?
3. **Schwäche-Chancen-Kombination:** Wo können aus Schwächen Chancen entstehen? Wie können Schwächen zu Stärken entwickelt werden?
4. **Schwäche-Gefahren-Kombination:** Wo befinden sich Schwächen, und wie kann Schaden abgewendet werden?

Aufgrund dieser Kombinationen können sodann passende Strategien entwickelt und aufeinander abgestimmt werden. Die Darstellung der Betroffenheit auf Grundlage der SWOT- Analyse erfolgt für jede Wirkfolge einzeln.

5.2 Potentielle Betroffenheit durch die untersuchten Wirkfolgen

5.2.1 Sinkender thermischer Komfort

Tabelle 19: SWOT Tabelle „sinkender thermischer Komfort“

Bestandssituation	
Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> – gute Durchlüftungssituation – relativ geringe bauliche Überprägung – kein ausgeprägtes Stadtklima – Oaseneffekt über das gesamte Stadtgebiet Bad Liebenwerdas wirksam 	<ul style="list-style-type: none"> – Rad- und Wanderwegenetz in südöstlicher Feldflur sonnenexponiert
Zukünftige Entwicklung	
Chancen	Gefahren
<ul style="list-style-type: none"> – Erhalt der günstigen thermischen Verhältnisse als Qualität des Kurstandortes (guter Luftaustausch Stadt – Land, großer Baumbestand etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> – Zunahme der Zahl heißer Tage – Zunahme der Zahl von Tropennächten – erhöhte Anfälligkeit durch demografischen Wandel – Entfernung und Verbauung klimaregulierender Strukturen – sinkende Kurgastzahlen infolge reduzierter Aufenthaltsqualität

Der höchste Anteil thermisch belasteter Flächen findet sich im Bereich rund um den Marktplatz von Bad Liebenwerda. Hier ist die bauliche Überprägung am größten und die Verhältnisse denen eines Stadtraumes am ähnlichsten. Gleichwohl stellt sich die Belüftungssituation sehr günstig dar, da die als hochbelastet eingestuft Bereiche direkt an die südwestliche Feldflur anschließen. Indem die Bereiche zugleich in der Hauptwindrichtung liegen, kann der Wind die überwiegende Zeit kühlend auf das Zentrum Liebenwerdas wirken. Auch die gute Durchgrünungssituation bedingt durch Gärten und Straßenbäume, welche bei der Ermittlung der Anfälligkeit nicht einbezogen wurde, mindert eine Aufheizung der Luft. Hinzu kommt der Oaseneffekt, der sich nahezu flächendeckend auf ganz Bad Liebenwerda auswirkt.

Die thermische Belastung der Ortsteile Bad Liebenwerdas wurde bis auf wenige Ausnahmen als gering bis mittel eingestuft. Durch ihre Kleinräumigkeit ist die Durchlüftungssituation in allen Ortsteilen als gut zu bezeichnen. Überdies kann flächendeckend von einer ausreichend starken Oaseneffekt durch das Umland ausgegangen werden.

Das Rad- und Wanderwegenetz weist über weite Strecken ein gutes Verhältnis von Abschnitten mit unterschiedlicher Beschattungsintensität in relativ kurzen Wechseln auf. So stehen 30 Kilometer unbeschatteter Wegabschnitte etwa 55 Kilometer gut bis sehr gut beschatteter Wege gegenüber, was einem Verhältnis von annähernd eins zu zwei entspricht. Eine Erhöhte Anfälligkeit ergibt sich in der ausgeräumten Landschaft südöstlich von Bad Liebenwerda auf Höhe der Ortsteile Möglenz, Zoberndorf, Kosilenzien und Oschätzchen. Hier existieren etwa 12,5 Kilometer sonnenexponierterer Abschnitte und nur 11 Kilometer mit Beschattung zu verschiedenen Tageszeiten. In diesem Bereich sinkt das Verhältnis damit auf etwa eins zu eins.

Insgesamt ist die Anfälligkeit Bad Liebenwerdas und seiner Ortsteile gegenüber einem sinkenden thermischen Komfort als sehr gering zu bezeichnen. Zwar weisen einige Flächen eine potentiell hohe thermische Belastung auf, durch günstige Strukturen im Umfeld wie Wasser-, Wald- und Grünflächen sowie der ländlichen Ausgangssituation sind die Auswirkungen jedoch als gering einzustufen. Dabei muss auch berücksichtigt werden, dass die Bewertung nur für schwachwindige, wolkenlose Sommertage gilt. Die dargestellte Belastungssituation wird somit an den meisten Sommertagen und –nächten nicht erreicht werden. Das Rad- und Wanderwegenetz zeigt nur südöstlich eine erhöhte Anfälligkeit. Das Netz als ganzes ist dagegen nur wenig anfällig.

Die Erhöhung der Temperatur gilt als gesicherte Erkenntnis (IPCC 2007) und konnte durch die Auswertung der Klimamodelle als homogener Trend herausgearbeitet werden (vgl. Kapitel 3.2). Die Belastungssituation durch heiße Tage und Tropennächte wird damit zukünftig ebenfalls sehr wahrscheinlich zunehmen. Der hohen Eintrittswahrscheinlichkeit steht jedoch eine relativ geringe

Anfälligkeit Bad Liebenwerdas gegenüber. Die Betroffenheit im Zuge des Klimawandels ist damit beim Zugrundelegen der Bestandssituation gering. Einzig eine Verbesserung der Beschattungssituation des Wander- und Radwanderwegnetzes südlich von Bad Liebenwerda durch die Schaffung schattenspendender Grünstrukturen können in Abhängigkeit von der Frequentierung der einzelnen Abschnitte sinnvoll sein.

5.2.2 Sinkende Wasserverfügbarkeit im Sommer

Tabelle 20: SWOT Tabelle „sinkende Wasserverfügbarkeit im Sommer“ - Trinkwasser

Bestandssituation	
Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> – deutlicher Anstieg der Grundwasserstände in den letzten vierzig Jahren – aktuelle Nutzungsverteilung relativ grundwasserschonend 	<ul style="list-style-type: none"> – hoher Nadelbaumanteil bei Waldstandorten
Zukünftige Entwicklung	
Chancen	Gefahren
<ul style="list-style-type: none"> – erhöhte Grundwasserneubildung durch Niederschlagsverschiebung in den Winter hinein – intelligentes Wassermanagement (Melioration etc.) – Umstellung auf grundwasserschonende Nutzung – Waldumbau hin zu Eichen-Kiefern-Mischbeständen 	<ul style="list-style-type: none"> – steigender Wasserverbrauch durch Temperaturzunahme im Sommer bei zugleich ungünstiger Entwicklung der Nutzungsverteilung – sinkende Wasserverfügbarkeit durch sinkende Grundwasserstände

Die aktuelle Nutzungsverteilung im Untersuchungsgebiet wirkt sich positiv auf die Grundwasserneubildung aus. Während auf einer Fläche von 3.959 Hektar eine hohe bis sehr hohe Grundwasserzehrung vorliegt, ist auf einer angehend doppelt so großen Fläche von etwa 7.888 Hektar eine gering bis sehr geringe Grundwasserzehrung vorhanden. Korrespondierend hierzu ist im Zeitraum von 1970-1999 ein deutlicher Anstieg der Grundwasserstände des 1. Grundwasserleiters festgestellt worden²¹ (vgl. Kapitel 3.3.1). Eine sinkende Trinkwasserverfügbarkeit ist insgesamt den Ausführungen folgend nicht gegeben, die Anfälligkeit ist damit gering.

Die Auswertung der Klimamodelle ergab ein erhöhtes Risiko von Hitze- und Trockenperioden. Dies wird auch eine Reduzierung der Grundwasserneubildungsraten mit sich bringen. Andererseits zeigte die Klimamodellauswertung eine wahrscheinliche Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter, wodurch die Grundwasserneubildung gefördert wird. Aufgrund dieser gegensätzlichen Trends lässt sich keine klare Tendenz bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Grundwassermenge ableiten. Da dieser Unklarheit jedoch eine aktuell geringe Anfälligkeit gegenübersteht, ist die Betroffenheit insgesamt als eher gering anzusehen.

Tabelle 21: SWOT Tabelle „sinkende Wasserverfügbarkeit im Sommer“ - Betriebswasser

Bestandssituation	
Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> – deutlicher Anstieg der Grundwasserstände in den letzten vierzig Jahren 	<ul style="list-style-type: none"> – hoher Wasserbedarf bestimmter Ackerkulturen
Zukünftige Entwicklung	
Chancen	Gefahren
<ul style="list-style-type: none"> – sparsamer Umgang mit Wasser – Intelligentes Meliorationsmanagement im Niederungsbereich der Schwarzen Elster 	<ul style="list-style-type: none"> – sinkende Wasserpegel im Sommer infolge Temperaturzunahme – Ertragseinbußen in der Land- und Fischereiwirtschaft

²¹ Dieser Trend wurde von Herrn Barth vom Kreisbauernverband Elbe-Elster e. V. auch für die vergangenen Jahre bestätigt.

Die Ermittlung der Wasserverfügbarkeit der grundwassergespeisten Fließgewässer im Untersuchungsgebiet ergab für die meisten Abschnitte eine zum aller größten Teil geringe Wahrscheinlichkeit eines Trockenfallens im Sommer. Dies ist der starken Grund- und Stauwasserbeeinflussung im Niederungsbereich der Schwarzen Elster zuzuschreiben, in dem sich der überwiegende Teil des Grabensystems befindet. Auch wenn einige wenige Abschnitte eine erhöhte Gefährdung aufweisen, sind die Gräben als ganzes nicht gefährdet. Im Untersuchungsgebiet existieren daneben bis auf eine Ausnahme keine temporären Gewässer die von vorneherein als stärker gefährdet angesehen werden müssen. Eine erhöhte Gefährdung allein auf Grundlage der Hydromorphie ergibt sich für den Großen Teich nahe Kröbels. Da die Speisung des Gewässers jedoch auch durch Gräben außerhalb des Untersuchungsgebiets erfolgt, ist die Einstufung mit einer großen Unsicherheit behaftet.

In Abhängigkeit von der Modell- und Szenariokombination wird sowohl eine Zunahme um bis zu 20% als auch eine Abnahme der Abflussmenge um bis zu 30% im Sommer prognostiziert. Durch die gegensätzlichen Aussagen lässt sich kein klarer Trend in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit einer Wasserverknappung für Gewässer im Sommer ableiten. Andererseits ist die Anfälligkeit gegenüber dieser Problematik im Untersuchungsgebiet gering, so dass auch bei einer zukünftig reduzierten Abflussmenge im Sommer ein akuter Betriebswassermangel unwahrscheinlich erscheint. Zumal das Betriebswasser im Notfall unter Berücksichtigung von Konflikten mit der allgemeinen Wasserversorgung auch dem Grundwasser entnommen werden kann.

Tabelle 22: SWOT Tabelle „sinkende Wasserverfügbarkeit im Sommer“ - Ackerkulturen

Bestandssituation	
Stärken	Schwächen
– verstärkte Versorgung durch deutlichen Anstieg der Grundwasserstände in den letzten vierzig Jahren	– hohe Anforderung an die Bewirtschaftbarkeit der Fläche
Zukünftige Entwicklung	
Chancen	Gefahren
– erhöhte Grundwasserneubildung durch Niederschlagsverschiebung in den Winter hinein – Rücknahme der Melioration – Umstellung der landwirtschaftlichen Nutzung	– mangelnde Wasserversorgung infolge sinkender Grundwasserstände durch steigende Hitze- und Trockenperioden im Sommer

Der überwiegende Teil der Ackerflächen im Gemeindegebiet unterliegt einer starken bis mäßigen Grund- und Stauwasserbeeinflussung. Die Versorgung der Ackerkulturen mit Bodenwasser ist damit aktuell auf etwa 6.508 Hektar bzw. 82% der Gesamtackerfläche als sehr gut bis ausreichend einzustufen. Dem stehen nur 1.381 Hektar bzw. 18% mit geringer Bodenwasserversorgung gegenüber. Die Anfälligkeit bezüglich einer mangelnden Versorgung der Ackerpflanzen mit Wasser aus dem Boden ist somit im Moment als gering zu bewerten.

Laut den ausgewerteten Klimastudien wird mit einer Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter gerechnet (BRONSTERT ET AL. 2003). Dadurch verringert sich die Sickerwasserspende vor allem im Sommer. Insbesondere bei Hitze- und Trockenperioden können sinkende Grundwasserstände die Folge sein. Dadurch verschlechtert sich die Versorgung der Ackerkulturen mit Bodenwasser. Dies dürfte zu aller erst die Flächen betreffen, die aktuell einer mäßigen Grund- und Stauwasserbeeinflussung unterliegen. Der Flächenanteil mit geringer Bodenwasserversorgung würde sich dann auf 2.826 Hektar bzw. etwa 36% erhöhen. Legt man diese ungünstige Annahme zugrunde, wäre die Betroffenheit hoch. Andererseits sind die Anpassungsmöglichkeiten im Niederungsbereich der Schwarzen Elster in dem der Großteil der Ackerflächen liegt durch bedarfsgerechte Optimierung der Meliorationssteuerung und einer angepassten Bewirtschaftungsweise hoch. Durch das hohe Adaptionpotential ist die Betroffenheit daher eher als mittel einzustufen.

Tabelle 23: SWOT Tabelle „sinkende Wasserverfügbarkeit im Sommer“ - Biotope

Bestandssituation	
Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> – verbesserte Wasserversorgung durch deutlichen Anstieg der Grundwasserstände in den letzten vierzig Jahren 	<ul style="list-style-type: none"> – geringes Wasserrückhaltevermögen der Böden – schnelle Austrocknung der Böden
Zukünftige Entwicklung	
Chancen	Gefahren
<ul style="list-style-type: none"> – Intelligentes Meliorationsmanagement im Niederungsbereich der Schwarzen Elster 	<ul style="list-style-type: none"> – sinkende Wasserversorgung im Sommer infolge steigender Hitze- und Trockenperioden – erhöhter Wasserbedarf durch Verlängerung der Vegetationsperiode – extreme Grundwasserschwankungen

Die Anfälligkeit gegenüber einem reduzierten Wasserdargebot wurde für den überwiegenden Teil der betrachteten Biotope innerhalb des Niederungsbereichs der Schwarzen Elster mit gering bis mäßig bewertet. Durch den hohen Grund- und Stauwassereinfluss ist die Wasserversorgung in diesem Bereich als gut zu bezeichnen. Der anhaltende Trend zu steigenden Grundwasserständen in der Region dürfte dafür sorgen, dass auch ein Großteil der als mäßig versorgt eingestuftem Biotope im Bereich der Niederung tatsächlich im Moment eher eine gute Versorgung und damit geringe Anfälligkeit gegenüber einer reduzierten Wasserversorgung aufweisen. Vereinzelt finden sich Biotope mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit einer Wasserverknappung. Dabei handelt es sich überwiegend um auf Anhöhen gelegene Lebensräume mit geringerem Grundwassereinfluss. Der überwiegende Teil der Biotope in höheren Lagen ist jedoch trocken angepasst und entsprechend wenig anfällig. Insgesamt ist die Anfälligkeit der Biotopausstattung im Gemeindegebiet gering. Feuchte Standorte sind einer verstärkten Vernässung unterworfen, bei solchen mit geringer Wasserversorgung haben sich entsprechend trockenheitsverträgliche Pflanzengesellschaften etabliert.

Die Klimamodellauswertung ergab als homogenen Trend den deutlichen Anstieg der Tagesmitteltemperaturen, eine Verlängerung der Vegetationsperiode, eine Zunahme von heißen Tagen und die Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter. Die hohe Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Entwicklungen wird die Biotope mit einer erhöhten bis hohen Anfälligkeit zuerst betreffen und wahrscheinlich zu einer Artenverschiebung führen. Dabei werden zukünftig vermutlich verstärkt wechselfeuchte Pflanzen gefördert, da die prognostizierte Niederschlagsverschiebung in Kombination mit einem Anstieg heißer Tage zu ausgeprägteren Grundwasserschwankungen führen wird. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass eine Artenverschiebung nicht zwingend zu einer Reduzierung der Schutzwürdigkeit führen muss, da die Veränderung der Pflanzengesellschaft von der tatsächlichen Maß der Wasserverknappung abhängig ist²². Dieser Umstand und der, dass nur 7% der Biotope als erhöht oder hoch in ihrer Anfälligkeit eingestuft wurden lässt die Betroffenheit nach dem heutigen Kenntnisstand gering erscheinen.

²² Dieses ließ sich jedoch zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie nicht beziffern.

5.2.3 Veränderte Ansprüche an die Ausgestaltung von Freiflächen

Tabelle 24: SWOT Tabelle „veränderte Ansprüche an die Ausgestaltung von Freiflächen“ - Straßen und Wege

Bestandssituation	
Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> – gute Durchlüftungssituation – relativ geringe thermische Belastungen im Umfeld – gute Beschattungssituation – Kühlung durch Transpiration der Bäume 	<ul style="list-style-type: none"> – einige Straßen und Wege über längere Abschnitte unbeschattet
Zukünftige Entwicklung	
Chancen	Gefahren
<ul style="list-style-type: none"> – Verbesserung der Aufenthaltsqualität gegenüber Hitze als Qualität des Kurstandortes – zusätzliche Kühlung durch Schaffung freier Wasserflächen 	<ul style="list-style-type: none"> – Zunahme der Zahl heißer Tage – Entfernung von Straßenbegleitgrün – sinkende Kurgastzahlen infolge reduzierter Aufenthaltsqualität

Das Wegenetz rund um den Stadtkern Bad Liebenwerdas auf Höhe des Marktplatzes weist über weite Abschnitte eine mittlere bis hohe Beschattungssituation auf. Gleiches gilt für die Straßen und Wege im Umfeld des Kurzentrums die zum Kurpark, der Lausitztherme Wonnemar und der Fontana Klinik führen. Zwar finden sich auch vereinzelte Abschnitte mit einer geringen Beschattung, diese sind aber nur kurz und dürften nicht zu einer erheblichen Reduzierung der Aufenthaltsqualität insgesamt führen. Die wichtigsten Bereiche der Stadt sind damit in ihrer Anfälligkeit gegenüber einer reduzierten Aufenthaltsqualität durch Hitzebelastungen als relativ gering einzustufen. Dabei muss auch berücksichtigt werden, dass bei der Ermittlung der Beschattungssituation nur Bäume einbezogen wurden. Die tatsächliche Sonnenexponiertheit und damit Anfälligkeit der Straßen und Wege stellt sich daher vor allem im Bereich des Stadtkerns durch die zusätzliche Schattenspende der Häuser noch geringer dar als die Bewertung zunächst suggeriert. Längere Abschnitte mit einer geringen Beschattung finden sich im Gewerbegebiet Nord. Hier sind jedoch zugleich die niedrigsten Anforderungen an die Aufenthaltsqualität zu stellen, da hier weder kurbezogene noch sonstige Aktivitäten des öffentlichen Lebens stattfinden. Daneben existieren auch einige Abschnitte mit geringer Beschattung innerhalb der Wohngebiete der Stadt. Entlang dieser Strecken kann das Anpflanzen zusätzlicher Bäume zur Schattenspende unter Umständen ratsam sein. Das Straßen- und Wegenetz als ganzes weist jedoch insgesamt eine relativ geringe Anfälligkeit auf, da die meisten Straßen und Wege zumindest abschnittsweise zu jeder Tageszeit beschattet sind.

Der Kühlungseffekt ließe sich durch die Anlage offener Wasserflächen erhöhen. Einen Beitrag daran könnten künstliche Wasserflächen wie Brunnen und Wasserbecken oder aber die Öffnung verrohrter Gräben liefern. Dies könnte insbesondere für das Stadtgebiet von Bad Liebenwerda ein wesentlicher Handlungsansatz sein, um die exponierteren Abschnitte in ihrer Anfälligkeit zu reduzieren und die Aufenthaltsqualität in der Stadt insgesamt weiter zu erhöhen.

Die Erhöhung der Temperatur konnte durch die Auswertung der Klimamodelle als homogener Trend herausgearbeitet werden (vgl. Kapitel 3.2.4). Die Belastungssituation durch erhöhte Sonneneinstrahlung an heißen Tagen wird damit zukünftig ebenfalls sehr wahrscheinlich zunehmen. Der hohen Eintrittswahrscheinlichkeit steht jedoch eine relativ geringe Anfälligkeit Bad Liebenwerdas gegenüber. Neben der guten Beschattungssituation ist hierfür maßgeblich auch der hohe Anteil von Wasserflächen und die Transpiration der vielen Bäume in der Stadt verantwortlich, die für zusätzliche Kühlung an heißen Tagen sorgen. Die Betroffenheit im Zuge des Klimawandels ist damit beim Zugrundelegen der Bestandssituation überwiegend gering. Trotz dieses Befundes kann jedoch eine detaillierte Betrachtung der sonnenexponierten Weg- und Straßenabschnitte sinnvoll sein, da im Rahmen dieser Studie die Frequentierung der einzelnen Straßen und Wege nicht berücksichtigt wurde. Gerade bei einer hohen Frequentierung kann die Betroffenheit lokal jedoch hoch sein.

Tabelle 25: SWOT Tabelle „veränderte Ansprüche an die Ausgestaltung von Freiflächen“ - Parkanlagen, öffentliche Plätze

Bestandssituation	
Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> – gute Durchlüftungssituation – hoher Anteil von Baumbeständen 	
Zukünftige Entwicklung	
Chancen	Gefahren
<ul style="list-style-type: none"> – Verbesserung der Aufenthaltsqualität auch gegenüber Hitze als Qualität des Kurstandortes – zusätzliche Kühlung durch Schaffung freier Wasserflächen 	<ul style="list-style-type: none"> – Zunahme der Zahl heißer Tage

Die Beurteilung der Parkanlagen und öffentlichen Plätze im Untersuchungsgebiet auf ihre Anfälligkeit gegenüber einer reduzierten Aufenthaltsqualität durch die Zunahme heißer Tage erfolgte bereits im Kapitel 4.2.3. Im Ergebnis kann die Anfälligkeit für den überwiegenden Teil der betrachteten Freiflächen aufgrund der meist großen Baumbestände und häufig zusätzlich vorhandenen Wasserflächen insgesamt als gering bezeichnet werden. Dies gilt insbesondere für den Kurpark „Wäldchen“, der zugleich auch die wichtigste Parkanlage im Stadtraum darstellt.

Die Erhöhung der Temperatur wurde von allen zur Ermittlung der Exposition herangezogenen Klimamodellen prognostiziert (vgl. Kapitel 3.2.4). Eine Reduzierung der Aufenthaltsqualität in Parkanlagen und auf öffentlichen Plätzen durch zunehmende Hitze im Sommer wird damit wahrscheinlich. Der hohen Eintrittswahrscheinlichkeit steht jedoch eine relativ geringe Anfälligkeit Bad Liebenwerdas gegenüber. Im Ergebnis ist somit die Betroffenheit ebenfalls gering.

5.2.4 Veränderung der Eignung von Pflanzen

Tabelle 26: SWOT Tabelle „Veränderung der Eignung von Pflanzen“ - Forstwirtschaft

Bestandssituation	
Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> – Waldkiefer als dominierende Forstbaumart Klimawandel geeignet 	<ul style="list-style-type: none"> – erhöhte Anfälligkeit von Kiefernmonokulturen (Waldbrand, Schadorganismen)
Zukünftige Entwicklung	
Chancen	Gefahren
<ul style="list-style-type: none"> – Waldumbau hin zu Eichen-Kiefern Mischbeständen 	<ul style="list-style-type: none"> – längere Trockenperioden – erhöhte Waldbrandgefahr – sinkende Grundwasserstände – steigende Anfälligkeit gegenüber herkömmlichen Schadorganismen

Die forstlich genutzten Flächen im Gemeindegebiet von Bad Liebenwerda weisen auf 4.070 Hektar eine Bestockung mit Waldkiefern als Hauptbaumart auf. Daneben existieren kleinere Bestände mit Schwarz-Erlen und Hänge-Birken als dominierende Baumarten. Diese machen etwa 15 Hektar aus. Die Standorteignung der aktuellen Bestockung gegenüber auftretenden Dürreperioden im Sommer stellt sich aktuell gut bis sehr gut dar. Einzig 13 Hektar Waldkiefer sind als nur bedingt geeignet zu beurteilen²³. Dies entspricht jedoch nur etwa 0,3% der gesamten Forstfläche im Gemeindegebiet. Problematisch ist dagegen der geringe Anteil an Nebenbaumarten, insbesondere von Laubgehölzen in den Kiefernkulturen zu beurteilen. Hieraus ergibt sich eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Waldbränden und dem Einfall von Schadorganismen. Die Anfälligkeit ergibt somit ein differenziertes Bild in der Bestandssituation. Sie ist flächendeckend gering gegenüber auftretenden Dürreperioden, bezüglich der Krankheitsanfälligkeit und Waldbrandgefahr dagegen hoch.

²³ Die Einstufung beruht auf zu feuchten Standortverhältnissen. Da zukünftig eher mit einer Wasserverknappung im Sommer gerechnet werden muss, werden diese Standorte in ihrer Eignung für die Waldkiefer eher aufgewertet.

Die Ergebnisse der Klimamodellauswertung ergaben als homogenen Trend eine deutliche Erhöhung der durchschnittlichen Tagesmitteltemperaturen, die Zunahme heißer Tage im Sommer und einen Rückgang der Sommerniederschläge. Dementsprechend legen auch einige der ausgewerteten Studien eine erhöhte Dürregefahr in der Region im Sommer und die Reduzierung der Sickerwasserspenden nahe (vgl. Kapitel 3.3.1). Die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Trends ist somit relativ gesichert. Die Betroffenheit ist dagegen aufgrund der Baumartenzusammensetzung mit der Kiefer als Hauptbaumart flächendeckend gering. Die Auswertung der Klimastudien ergab demgegenüber auch eine steigende Anfälligkeit gegenüber herkömmlicher und neuer Schadorganismen (ZEBISCH ET AL. 2005). Auch wenn es sich dabei um Annahmen handelt und dieser Aspekt im Rahmen dieser Studie nicht näher betrachtet wurde, muss die Betroffenheit aufgrund des großen Anteils von Kiefernreinbeständen als potentiell hoch eingeschätzt werden. Gleiches gilt für die Waldbrandgefährdung welche als Extremereignis nicht berücksichtigt wurde, für die Region um Bad Liebenwerda jedoch als bereits hoch eingestuft wird und sich weiter erhöhen wird (BADECK ET AL. 2004).

5.2.5 Steigender Bedarf an Frisch- und Kaltluftentstehungsgebieten

Tabelle 27: SWOT Tabelle „steigender Bedarf an Frisch- und Kaltluftentstehungsgebieten“

Bestandssituation	
Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> – hoher Grünanteil in der Stadt – geringe Größe der versiegelten Flächen – hoher Luftaustausch mit dem Umland 	<ul style="list-style-type: none"> – Verkehrsimmissionen in der Innenstadt
Zukünftige Entwicklung	
Chancen	Gefahren
<ul style="list-style-type: none"> – Auslagerung des Verkehrs durch Ortsumgehung 	<ul style="list-style-type: none"> – Erhöhte Immissionen durch den Straßenverkehr – Unterbrechung wichtiger Ventilationsbahnen

Die Frisch- und Kaltluftversorgung der Stadt Bad Liebenwerda stellt sich aktuell sehr gut dar. Aufgrund des Kleinstadtcharakters schließen sich an den überwiegende Teil der Bebauung direkt Flächen an, die lokal entweder Kalt- oder Frischluft und im Fall von Wäldern beides produzieren. Vor allem die südwestlich von Bad Liebenwerda gelegene Feldflur sorgt in Kombination mit ihrer Lage zur Hauptwindrichtung für den Eintrag von Kalt- und Frischluft aus dem Umland in den Innenstadtbereich welcher die potentiell höchste thermische Belastung aufweist. Die Schwarze Elster die direkt durch die Stadt fließt sorgt als Ventilationsbahn zusätzlich für die Anlieferung unbelasteter Luftmassen.

Als Hauptemittent tritt der Verkehr auf der Bundesstraße 183 auf, welche direkt durch die Stadt führt und die höchste Verkehrsdichte im Stadtgebiet aufweist. Durch die Unterschreitungen der aktuellen Jahresmittelwert-Grenzwerte für die meisten Schadstoffe, der geringen Zahl an Emittenten Vorort und der guten Frischluftversorgung ist die Schadstoffbelastung insgesamt allerdings als gering zu bezeichnen. Das gleiche gilt für die thermische Belastung aufgrund der hohen Zahl an kaltluftproduzierenden Flächen in unmittelbarer Nähe zu den belasteten Siedlungsräumen.

Durch die Veränderungen des Klimas dürften die winterlichen Belastungen durch Schadstoffe im Gemeindegebiet vor allem durch die steigenden Temperaturen und häufigeren Niederschläge eher abnehmen. Sommerliche Belastungssituationen werden dagegen vermutlich durch eine steigende Zahl an Tagen mit hohen Temperaturen und geringeren Niederschlägen zunehmen (vgl. 4.2.5). Die prognostizierte Zunahme der Zahl heißer Tage um bis zu zehn und die der Tropennächte um bis zu drei wird auch die thermische Belastung der Luft erhöhen. Dieser Entwicklung steht aktuell eine geringe Anfälligkeit gegenüber. Durch die geplante Ortsumgehung kann sich die Anfälligkeit zukünftig jedoch erhöhen. So sorgt der für die Straße vorgesehene Damm potentiell für eine Reduzierung der wichtigsten Frisch- und Kaltluftzufuhr für die am stärksten thermisch belasteten Siedlungsräume aus südwestlicher Richtung. Auch die vorgesehene Lage des Damms direkt am Ufer der Schwarzen Elster kann eine solche Wirkung entfalten. Andererseits reduziert die Ortsumgehung die lufthygienische Belastung in der Stadt und erhöht damit die Aufenthaltsqualität. Auf diese Weise leistet die Straße einen wichtigen Beitrag zur Stärkung des Kurstandorts. Auch wenn die Vor- und Nachteile der Umgehungsstraße zu diesem Zeitpunkt nicht fundiert gegeneinander abgewogen werden können, ist die Durchlüftungssituation auch nach Fertigstellung der Straße voraussichtlich so günstig, dass die Reduzierung der Schadstoffe in der Stadt höher zu gewichten ist.

Den Ausführungen folgend, ist ein steigender Bedarf an Frisch- und Kaltluftentstehungsgebieten basierend auf den Untersuchungsergebnissen aufgrund der geringen Anfälligkeit Bad Liebenwerdas nicht ersichtlich. Die Betroffenheit im Bestand ist somit gering. Hinsichtlich der geplanten Umgehungsstraßen können Beeinträchtigungen dagegen nicht ausgeschlossen werden.

6 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

Die Analyse der Betroffenheit ergab für den Großteil der betrachteten Wirkfolgen und ihrer Aspekte eine geringe Betroffenheit. Maßgeblich hierfür ist die gute Grundwasserversorgung im Niederungsbereich der Schwarzen Elster, die geringe Größe und der moderate Versiegelungsgrad der bebauten Flächen bei zugleich starker Durchgrünung und einer guten Durchlüftungssituation durch den großen Einfluss des ländlichen Umfeldes.

Daneben zeigte sich jedoch bei einigen Wirkfolgenaspekten eine geringe bis mittlere Betroffenheit. Diese weisen zwar auf die gesamte Fläche des Gemeindegebiets bezogen eine geringe, kleinräumig oder lokal jedoch eine potentiell erhöhte Betroffenheit auf.

Wie in der Tabelle 28 dargestellt, ergab sich außerdem für zwei Aspekte eine potentiell mittel bzw. hoch einzustufende Betroffenheit. Dabei basiert die Einstufung bezüglich des Aspekts „Forstwirtschaft“ weniger auf dem in dieser Studie gesetzten Schwerpunkt der zukünftigen Wasserversorgung sondern mehr auf dem hohen Anteil von Kiefernreinbeständen und der damit verbundenen erhöhten Gefährdung durch Waldbrände, Schadorganismen und indirekt der reduzierten Grundwasserneubildung. Aufgrund der langen Zeiträume in denen die Forstwirtschaft plant und der langen Zeit, bis entsprechende Anpassungsmaßnahmen wie ein Waldumbau greifen, scheint die Einstufung jedoch gerechtfertigt.

Die mittlere Betroffenheit bei einer Verringerung der Wasserverfügbarkeit für Ackerkulturen fußt insbesondere auf der Annahme, dass eine kurzfristige Anpassung der Kulturen möglich ist. Dabei wurden betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte jedoch nicht berücksichtigt. Hier können sich allerdings Entwicklungen ergeben, die eine hohe Betroffenheit verursachen können. So beispielweise wenn die Bodenwasserverhältnisse nur noch Kulturen zulassen, die einen geringen Marktpreis erzielen. Eine betriebswirtschaftliche Analyse der im Gemeindegebiet wirtschaftenden Betriebe hinsichtlich einer Umstellung der Ackerbewirtschaftung auf trockenresistentere Kulturen kann daher zukünftig sinnvoll sein.

Bezüglich des Aspekts einer veränderten Häufigkeit und Höhe von Hochwasserereignissen, welcher im Rahmen dieses Gutachtens nur angeschnitten wurde (vgl. 4.1), lässt die prognostizierte Zunahme starker Regenfälle eine zukünftig erhöhte Exposition durch den Klimawandel erwarten. Vor allem das Rekord-Hochwasser im Herbst 2010 untermauert diese Einschätzung. Die Lage weiter Teile des Siedlungsbereichs von Bad Liebenwerda und dem Ortsteil Lausitz in Senken legt eine potentiell hohe Betroffenheit von Infrastruktur und Bebauung im Untersuchungsgebiet nahe.

Tabelle 28: Zusammenfassung der Betroffenheitsanalyse

Wirkfolge	Aspekt	Betroffenheit	Handlungsansätze
sinkender thermischer Komfort	Siedlungsbereich	gering	-
	Freie Landschaft	gering - mittel	Schattenspendende Pflanzungen entlang sonnenexponierter Wander- und Radwanderwegabschnitte
geringere Wasserverfügbarkeit im Sommer	Trinkwasser	gering	-
	Betriebswasser	gering	-
	Ackerkulturen	mittel	Wassermanagement im Niederungsbereich Umstellung der Ackerkulturen
	Biotope	gering	-
veränderte Ansprüche an die Ausgestaltung von Freiflächen	Straßen und Wege	gering - mittel	Schattenspendende Pflanzungen entlang sonnenexponierter Straßen- und Wegabschnitte
	Parkanlagen, öffentliche Plätze	gering	-
Veränderung der Eignung von Pflanzen	Siedlung	unbewertet*	Analyse der Grünstrukturen Bad Liebenwerdas hinsichtlich ihrer Anpassungsfähigkeit gegenüber dem Klimawandel nach Abschluss der Bestandserfassung

	Forstwirtschaft	hoch	Umstellung der Arten-Zusammensetzung
steigender Bedarf an Frisch- und Kaltluftentstehungsgebieten	Lufthygienische Belastung	gering	-
	Thermische Luftbelastung	gering - mittel	Erhalt der günstigen Situation durch Anpassung der Umgehungsstraßenplanung
Häufigkeit und Höhe von Hochwasserereignissen	Hochwassergefährdung	hoch	Steuerung der Siedlungsentwicklung durch FNP Schaffung von Retentionsflächen Reaktivierung von Altarmen

* Aufgrund mangelnder Daten (vgl. 4.2.4)

Trotz der relativ niedrigen Betroffenheit durch die betrachteten Wirkfolgen und ihrer Aspekte insgesamt muss berücksichtigt werden, dass der Klimawandel eine Vielzahl von möglichen Veränderungen mit sich bringen wird, von denen in der vorliegenden Studie nur einige wenige wenn auch potentiell relevante Folgen betrachtet wurden.

Abschließend ist noch darauf hinzuweisen, dass die Bewertungsverfahren bewusst so entwickelt wurden, dass mit Hilfe einfach zu beschaffender Indikatoren aus gut verfügbarem Kartenmaterial und sonstigen Daten eine Anfälligkeit abgebildet werden kann. Dies bedeutet jedoch nicht, dass eine detaillierte Analyse für Teilräume des Gemeindegebiets überflüssig ist oder die Ergebnisse die realen Verhältnisse detailgetreu wiedergeben. Vielmehr sind die angewendeten Verfahren geeignet, erste Hinweise auf Räume mit einer hohen Anfälligkeit aufzuzeigen, in denen gegebenenfalls zuerst Maßnahmen angesetzt werden sollten. Für eine effiziente Maßnahmensteuerung bedarf es im Anschluss jedoch weiterer Untersuchungen innerhalb der lokalisierten Bereiche.

7 Literatur

- Anderson, H.R.; Derwent, R.G.; Stedman, J. (2002): Air Pollution and Climate Change. In: Department of Health (Hrsg.) (2002): Health Effects of Climate Change. Selbstverlag London. Online verfügbar unter: http://www.dh.gov.uk/en/Publicationsandstatistics/Publications/PublicationsPolicyAndGuidance/DH_4007935.
- Badeck, F.; Lasch, P.; Hauf, Y.; Rock, J.; Suckow, F.; Thonicke, K. (2004): Steigendes klimatisches Waldbrandrisiko. In: AFZ- Der Wald, Jg. 59, H. 2, S. 2–6.
- BMU – Bundesministerium für Umweltschutz, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. fvd Freiburger Verlagsdienste, Freiburg i.Br..
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.) (2010): Klimawandel als Handlungsfeld der Raumordnung: Ergebnisse der Vorstudie zu den Modellvorhaben „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“. Schriftenreihe Forschungen, H. 144. Eigenverlag BMVBS, Berlin (im Druck).
- BMVBS/BBR - Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung / Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.) (2009): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung: Wirkfolgen des Klimawandels. BBSR-Online-Publikation 23/09, Bonn November 2009.
- BMVBS/BBR – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung / Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.) (2008): Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel – Vorstudie für Modellvorhaben – Zusammenfassung des Zwischenberichtes zu den räumlichen Wirkfolgen von Klimaveränderungen und ihrer raumordnerischer Relevanz. BBR-Online-Publikation 19/2008.
- Bronstert, A.; Lahmer, W.; Krysanova, V. (2003): Klimaänderung in Brandenburg und Folgen für den Wasserhaushalt. In: Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 12 (3), S. 72-79.
- DWD – Deutscher Wetterdienst (2008): Klimawandel im Detail – Zahlen und Fakten zum Klimawandel in Deutschland, Zahlen und Fakten zur DWD-Pressekonferenz am 15. April 2008 in Berlin.
- Fugmann Janotta (1997): Landschaftsrahmenplan Landkreis Elbe-Elster, Berlin.
- Fugmann Janotta (1997): Landschaftsrahmenplan Naturpark Niederlausitzer Heidelandschaft, Berlin.
- Gerstengarbe, F.-W.; Badeck, f.; Hattermann, F.; Krysanova, V.; Lahmer, W.; Lasch, P.; Stock, M.; Suckow, f.; Wechsung, F.; Werner, P. (2003): Studie zur Klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. PIK Report No. 83, Eigenverlag, Potsdam.
- Hemminger (2009): Flächennutzungsplan der Stadt Bad Liebenwerda, Karten zur Flächennutzung, 1:10.000, Bad Liebenwerda.
- Hemminger (2009): Fortschreibung Landschaftsplan für das Gesamtgebiet der Stadt Bad Liebenwerda, Karten Geschützte Biotop, 1:10.000, Bad Liebenwerda.
- Holsten, A.; Vetter, T.; Vohland, K.; Krysanova, V. (2009): Impact of climate change on soil moisture dynamics in Brandenburg with focus on nature conservation areas. In: Ecological Modelling 220 (2009), S. 2076-2087.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Hg.) (2007): Klimaänderung 2007: Auswirkungen, Anpassungen, Verwundbarkeiten. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC). Unter Mitarbeit von M. L. Parry, O. F. Canziani und J.P. Palutikof et al. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Hg.) (2007): Klimaänderung 2007 – Synthesebericht.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Hg.) (2000): Emissions Scenario. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jones, R. (2000): Managing uncertainty in climate change projections – Issues for impact assessments. In: Climatic Change 45, S. 403-419.
- Kahn, H. und Wiener, A.. (1977): Ihr werdet es erleben. Voraussagen der Wissenschaft bis zum Jahre 2000. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt (Rororo, 6677).

- Klama, K.; Friedrich, M.; Schmidt, C. (2009): Vulnerabilitätsanalyse Westsachsen. Arbeitsstand des Workshop zum Thema Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel, Modellvorhaben der Raumordnung (Moro). Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Klimamoro (Hrsg.). Online verfügbar unter: http://www.klimamoro.de/fileadmin/Dateien/Veranstaltungen/1.%20Querschnittsworkshop%20Darmstadt/MORO_Westsachsen.pdf.
- Lasch, P.; Lindner, M.; Ebert, B.; Flechsig, M.; Gerstengarbe, F.-W.; Suckow, F.; Werner, P. (1999): Regional impact analysis of climate change on natural and managed forests in the Federal State of Brandenburg, Germany. In: *Environmental Modeling and Assessment* 4 (1999), S. 273-286.
- LBV - Landesamt für Bauen und Verkehr (2010): Mittelbereichsprofil Elsterwerda – Bad Liebenwerda 2010, Hoppegarten.
- Lee, D.O. (1993): Climate change and air quality in London. In: *Geography* 78, S. 77-79.
- LUA – Landesumweltamt Brandenburg (Hg.) (2010): Auswertung regionaler Klimamodelle für das Land Brandenburg. Fachbeiträge des Landesumweltamtes Nr. 113. Eigenverlag, Potsdam.
- LUA - Landesumweltamt Brandenburg (2009): „Luftqualität in Brandenburg – Jahresbericht 2008“, Potsdam, September 2009.
- LUA – Landesumweltamt Brandenburg (2007): Biotopkartierung Brandenburg Band 2, Brandenburgische Universitätsdruckerei und Verlagsgesellschaft Potsdam mbH, Golm.
- Mosimann, T. et al. (1999): Karten der klima- und immissionsökologischen Funktionen - Instrumente zur prozessorientierten Betrachtung von Klima und Luft in der Umweltplanung, in: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 31,(4), S. 101-108, Stuttgart.
- PT-DLR (HG.) (2005): GLOWA 2007 – Statusbericht.
- Rannow, S.; Fleischhauer, M.; Gruehn, D.; Meyer, B.; Greiving, S.; Loibl, W.; Züger, J.; Köstl, M.; Diller, C. (2008): Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel – Vorstudie für Modellvorhaben – 2.Zwischenbericht, (unveröffentlicht).
- Roloff, A. ; Bonn, S. ; Gillner, S. (2008): Klimawandel und Baumartenwahl in der Stadt – Entscheidungsfindung mit der KlimaArtenMatrix (KLAM).Online verfügbar unter: www.frankfurt.de/sixcms/media.php/738/klam_stadt.pdf.
- Roloff, A.; Grundmann, B.M. (2008): Waldbaumarten und ihre Verwendung im Klimawandel. *Archiv f. Forstw. u. Ldsch.ökol.* 42: 97-109.
- Schmidt, C.; Klama, K.; Freidrich, M. (2010): Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel Region Westsachsen – Vorstellung von Zwischenergebnissen auf dem Workshop in Darmstadt.
- Schönwiese, C.-D. und Janoschitz, R. (2008): Klima-Trendatlas Deutschland 1901-2000. Berichte des Institutes für Atmosphäre und Umwelt der Universität Frankfurt/Main Nr. 4, 2. aktualisierte Auflage, Eigenverlag, Frankfurt/Main.
- SENSTADT (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie Berlin) (Hrsg.) 2007: Umweltatlas Berlin, Ausgabe 2007, Karte 01.02 Versiegelung, 1:50 000, Berlin.
- SENSTADT (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie Berlin) (Hrsg.) 1998: Umweltatlas Berlin, Ausgabe 1998, Karte 04.09 Bioklima bei Tag und Nacht, 1:75 000, Berlin.
- Stiens, G. (1982): Zur Methodik und zu dem Ergebnissen raumbezogener Szenarien. *Erfahrungsberichte aus der BRD*. Herausgegeben von Nationales Forschungsprogramm "Regionalprobleme in der Schweiz", Bern. (Arbeitsberichte, 30).
- Sträter, D. (1988): Szenarien als Instrument der Vorausschau in der räumlichen Planung. In: *Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): Regionalprognose. Methoden und ihre Anwendung*. Hannover (Veröffentlichungen der ARL: Forschungs- und Sitzungsberichte, 175), S. 417–440.
- UBA Umweltbundesamt Berlin (1998.): Revitalisierung von Altstandorten versus Inanspruchnahme von Naturflächen, UBA Texte 15/98, Forschungsbericht 203 40 119, Berlin
- Walkenhorst, O. und Stock, M. (2009): Regionale Klimaszenarien für Deutschland – Eine Leseanleitung. E-Paper der ARL Nr. 6. Eigenverlag, Hannover.
- Wattenbach, M.; Zebisch, M.; Hatterman, F.; Gottschalk, P.; Goeman, H.; Kreins, P.; Badeck, F.; Lasch, P.; Suckow, f.; Wechsung, F. (2007): Hydrological impact assessment of afforestation and change in

tree-species composition – A regional case study for the Federal State of Brandenburg (Germany). In: Journal of Hydrology 346, S. 1-17.

Wechsung, F.; Becker, A.; Gräfe, P. (Hrsg.) (2005): Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Weißensee Verlag, Berlin.

Wechsung, F.; Gerstengarbe, F.-W.; Lasch, P.; Lüttger, a. (Hrsg.) (2008): Die Ertragsfähigkeit Ostdeutscher Ackerflächen unter Klimawandel. Eigenverlag Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam.

Zebisch, M.; Grothmann, T.; Schröter, D.; Hasse, C.; Fritsch, U.; Cramer, W. (2005): Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Herausgegeben von Umweltbundesamt, Dessau.