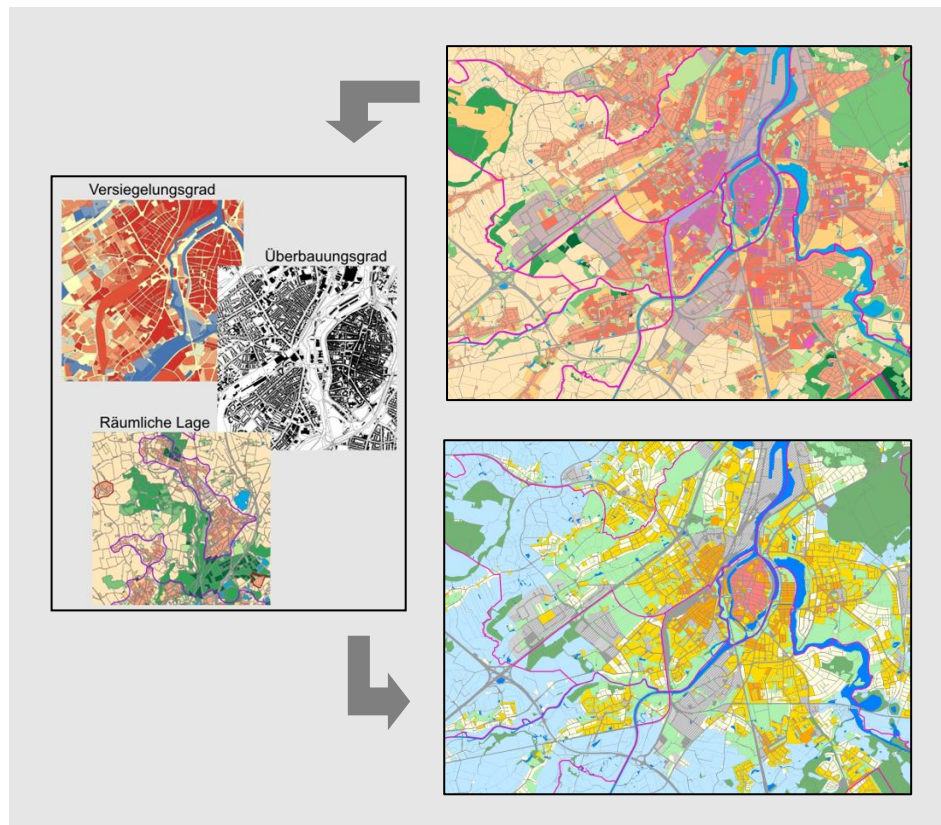


Klimaanalyse für das Stadtgebiet der Hansestadt Lübeck

Phase 1: Klimatopkarte



Auftraggeber:

Hansestadt LÜBECK 

Bereich Umwelt-, Natur- und
Verbraucherschutz;
Umweltvorsorge und Stadtklima
Kronsforder Allee 2-6

23539 Lübeck



GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover

Tel. (0511) 3887200
FAX (0511) 3887201

www.geo-net.de

In Zusammenarbeit mit: Prof. Dr. G. Groß
Anerkannt beratender Meteorologe (DMG),
Öffentlich bestellter Gutachter für Immissionsfragen und
Kleinklima der IHK Hannover-Hildesheim

Hannover, April 2014

Inhaltsverzeichnis

	Seite:
1. Aufgabenstellung.....	3
2. Die klimatische Situation in Lübeck	3
2.1 Das Klima heute	3
2.2 Die Entwicklung des Klimas in Lübeck.....	12
3. Methodik und Datengrundlage zur Erstellung einer Klimatopkarte	16
3.1 Datengrundlage	16
3.2 Konzept zur Ableitung der Klimatope.....	16
4. Ergebnis	22
5. Reliefeinfluss.....	24
6. Zusammenfassung	27
Literatur	28

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Klimadiagramm Lübeck-Blankensee (Zeitraum 1981-2010)	4
Abb. 2.2: Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen in Lübeck im Zeitraum 1985 bis 2012	5
Abb. 2.3: Lage der verschiedenen Klimastationen in Lübeck	6
Abb. 2.4: Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen in Lübeck an verschiedenen Wetterstationen von 1890 bis 2013	7
Abb. 2.5: Sommertage in Lübeck von 1890 bis 2013	8
Abb. 2.6: Hitzetage in Lübeck von 1890 bis 2013	8
Abb. 2.7: Tropennächte in Lübeck 1890 bis 2013	9
Abb. 2.8: Prinzipskizze Flurwinde	10
Abb. 2.9: Jahresdurchschnittstemperatur in Lübeck 1890 bis 2010 (Messwerte und Simulation durch WETTREG 2010)	12
Abb. 2.10: Jahresdurchschnittstemperatur Lübeck-Travemünde, Betrachtungszeitraum 2014 – 2100	13
Abb. 2.11: Anzahl der Hitzetage pro Jahr in Lübeck-Travemünde, Betrachtungszeitraum 2014 bis 2100	14
Abb. 2.12: Durchschnittliche Anzahl von Hitzewellen pro Jahr Lübeck- Travemünde, Betrachtungszeitraum 2014 – 2100	15

Abb. 3.1: Nutzungsstruktur im Untersuchungsgebiet	18
Abb. 3.2: Skizze des Verfahrensablaufs zur Ableitung der Klimatope	20
Abb. 3.3: Schema zur Bestimmung der Klimatope in Lübeck	21
Abb. 4.1: Klimatopkarte Lübeck	22
Abb. 4.2: Detailausschnitt Klimatopkarte Lübeck	23
Abb. 5.1: Detailausschnitt Klimatopkarte Lübeck mit Reliefeinfluss	24
Abb. 5.2: Klimatopkarte Lübeck mit Reliefeinfluss	25

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1: Eingangsdaten zur Ableitung von Klimatopen	16
Tab. 3.2: Nutzungskategorien als Grundlage für die Einordnung der Klimatope sowie für die geplante Klimamodellierung	17

1. Aufgabenstellung

Das Schutzgut Klima ist ein wichtiger Aspekt der räumlichen Planung und Bestandteil der Abwägung bei Bauleitplanung und Umweltverträglichkeitsprüfung. Vor dem Hintergrund konkurrierender Planungsziele ist das Vorliegen flächenbezogener Fachinformationen ein wichtiges Hilfsmittel zur sachgerechten Beurteilung dieses Schutzgutes. Aus der Kenntnis des in einer Stadt vorherrschenden Lokalklimas, die dadurch mitbestimmte lufthygienische Situation und den klimatischen Funktionszusammenhängen lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung von Klima und Luft ableiten. Dieser Leitgedanke gilt der Sicherung, Entwicklung und Wiederherstellung klimaökologisch wichtiger Oberflächenstrukturen und zielt somit ab auf die Erhaltung und Verbesserung günstiger bioklimatischer Verhältnisse sowie die Unterstützung gesundheitlich unbedenklicher Luftqualität.

Gemäß VDI-RL 3787 Bl. 1 (VDI 2014) ist die Konzeption von Klimaanalysekarten in aufeinander aufbauenden thematischen Schritten durchzuführen. Der erste und grundlegende dieser Schritte ist die Klimatopausweisung, das heißt die Einordnung und Abgrenzung von Gebieten mit ähnlichen mikroklimatischen Bedingungen auf Grundlage von Landnutzungsfachdaten.

Im Auftrag der Hansestadt Lübeck wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in einem ersten Schritt auf Grundlage vorhandener Nutzungs- und Strukturdaten eine solche Klimatop-Karte erstellt. Nutzungsbedingte Veränderungen des örtlichen Windfeldes und des Wärmehaushaltes sind die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Ausbildung eines gegenüber dem Umland veränderten Stadtklimas. Zahlreiche der vielen stadtklimatisch relevanten Parameter lassen sich daher über die Nutzungsstruktur, die Bebauungsdichte und den Grad der Oberflächenversiegelung einer Fläche abschätzen. Die Ausprägung dieser Einflussgrößen ist nutzungsabhängig und nimmt bei gleichen Nutzungstypen ähnliche Werte an. Somit ermöglicht die Analyse der Nutzungen im Untersuchungsgebiet eine Abgrenzung von Gebieten ähnlicher stadtstruktureller Ausstattung und damit einhergehender stadtklimatischer Charakteristika. Im Folgenden wird die Methode und das Ergebnis der Klimatopanalyse kurz vorgestellt.

Basierend auf der erstellten Klimatopkarte kann im nächsten Schritt eine Klimaanalyse unter Einbezug der klimatischen Rahmenbedingungen erstellt werden, die detaillierter Aufschluss über die klimaökologischen Funktionen im Stadtgebiet Lübecks geben kann.

2. Die klimatische Situation in Lübeck

2.1 Das Klima heute

Lübeck ist eine Hansestadt im Südosten Schleswig-Holsteins an der Ostsee gelegen. Das Klima in Lübeck ist vor allem durch die Nähe zum Meer geprägt und weist daher maritime Einflüsse auf. Nach der Klimaklassifikation von Köppen-Geiger zählt Schleswig-Holstein einschließlich Lübeck insgesamt zum warm gemäßigten Regenlima (Cfb-Klima), bei dem die mittlere Lufttemperatur des wärmsten Monats unter 22 °C und die des kältesten Monats über –3 °C bleibt. In Lübeck beträgt die Jahresdurchschnittstemperatur im langjährigen Mittel (1981-2010) 8,8 °C. Beim

Niederschlag ist für den gleichen Zeitraum ein langjähriges Mittel von 712 mm zu verzeichnen. Abb. 2.1 zeigt für die Klimastation Lübeck-Blankensee durchschnittliche Monatsmittelwerte von Niederschlag (in mm) und Lufttemperatur (in °C) für den Zeitraum 1981 bis 2010, die einen charakteristischen Verlauf für diese Klimazone aufweisen. Die Lage der Messstation ist außerhalb des verdichteten Stadtgebiets Lübecks in der Nähe des Flughafens. Das Klimadiagramm repräsentiert daher eher die Klimatypologie des Umlands.

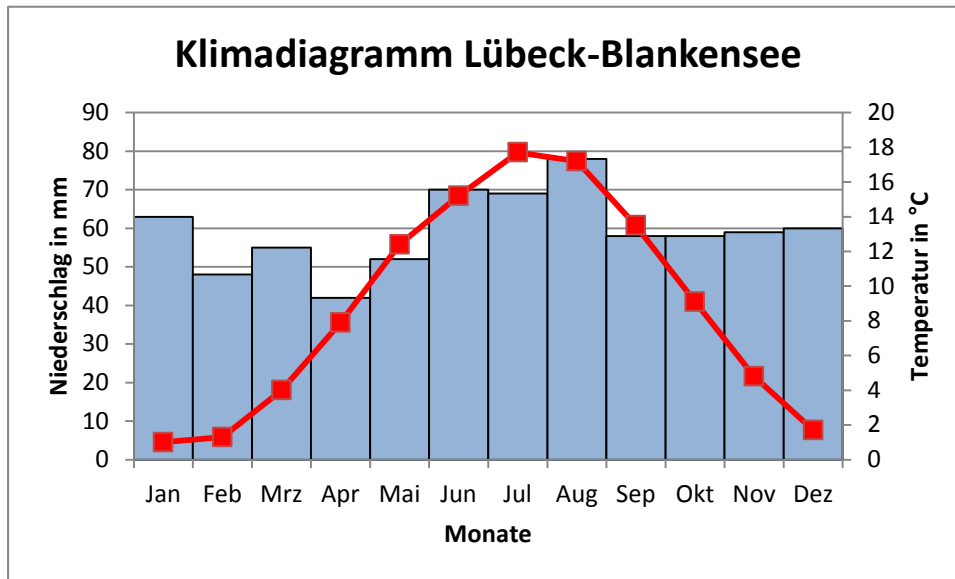


Abb. 2.1: Klimadiagramm Lübeck-Blankensee (Zeitraum 1981-2010)

Monatsmittelwerte der Niederschlagsmengen in mm (blaue Balken) und der Lufttemperatur in °C (rote Kurve). (Datengrundlage: DWD, www.dwd.de)

Die Fachhochschule Lübeck betreibt auf ihrem Campus eine Wetterstation. Im Internet stehen langjährige Datenreihen zur Verfügung. Abb. 2.2 zeigt die Jahresmitteltemperaturen für den Zeitraum 1985 bis 2012. Dargestellt ist außerdem eine Trendlinie, die verdeutlicht, dass tendenziell ein Anstieg der Jahresmitteltemperatur in Lübeck beobachtet werden kann. Der Anstiegstrend beträgt 0,06 °C pro Jahr, wobei die höchste Jahresmitteltemperatur mit 10,4 °C im Jahr 2007 gemessen wurde. Die niedrigste ermittelte Jahresmitteltemperatur stammt aus dem Jahr 1987 und beträgt 7,2 °C.

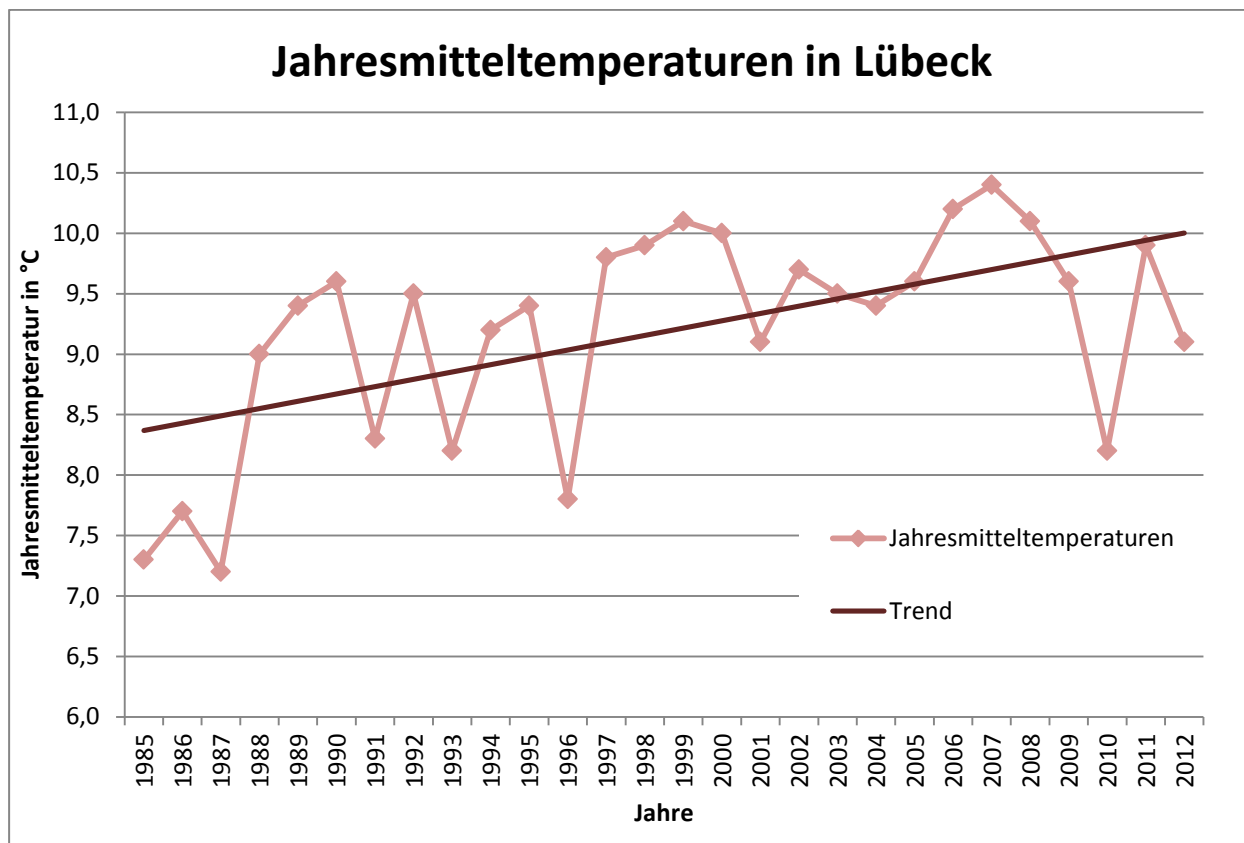


Abb. 2.2: Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen in Lübeck im Zeitraum 1985 bis 2012
 (Datengrundlage: Fachhochschule Lübeck, <http://wetter.fh-luebeck.de/wstats/temdat.htm>)

Der DWD stellt auf seiner Homepage weitere Klimadaten aus Lübeck zur Verfügung. Diese Daten reichen bis ins Jahr 1890 zurück und sind an verschiedenen Orten in Lübeck erhoben worden. Abb. 2.3 zeigt die Lage der verschiedenen Klimastationen im Stadtgebiet. Die älteste der Stationen ist Lübeck-Werft. Sie liegt in direkter Hafennähe und lieferte Wetterdaten von 1890 bis 1972. Ab 1950 bereits gab es eine weitere Wetterstation in Lübeck. Sie lag recht zentral etwas oberhalb der Lübecker Altstadt und war bis 1984 in Benutzung. Seit 1985 ist die Wetterstation Lübeck-Blankensee des Deutschen Wetterdienstes am Lübecker Flughafen im Süden der Stadt in Betrieb. Diese Wetterstation liefert auch aktuell Wetterdaten für Lübeck, auf Grund ihrer Lage im Umland kann sie allerdings nicht das typische Stadtklima einer Großstadt repräsentieren. Darüber hinaus wird eine private Station am Standort der Fachhochschule Lübeck im Stadtteil St. Jürgen betrieben. Diese Daten wurden vom Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften der Fachhochschule Lübeck zur Verfügung gestellt.

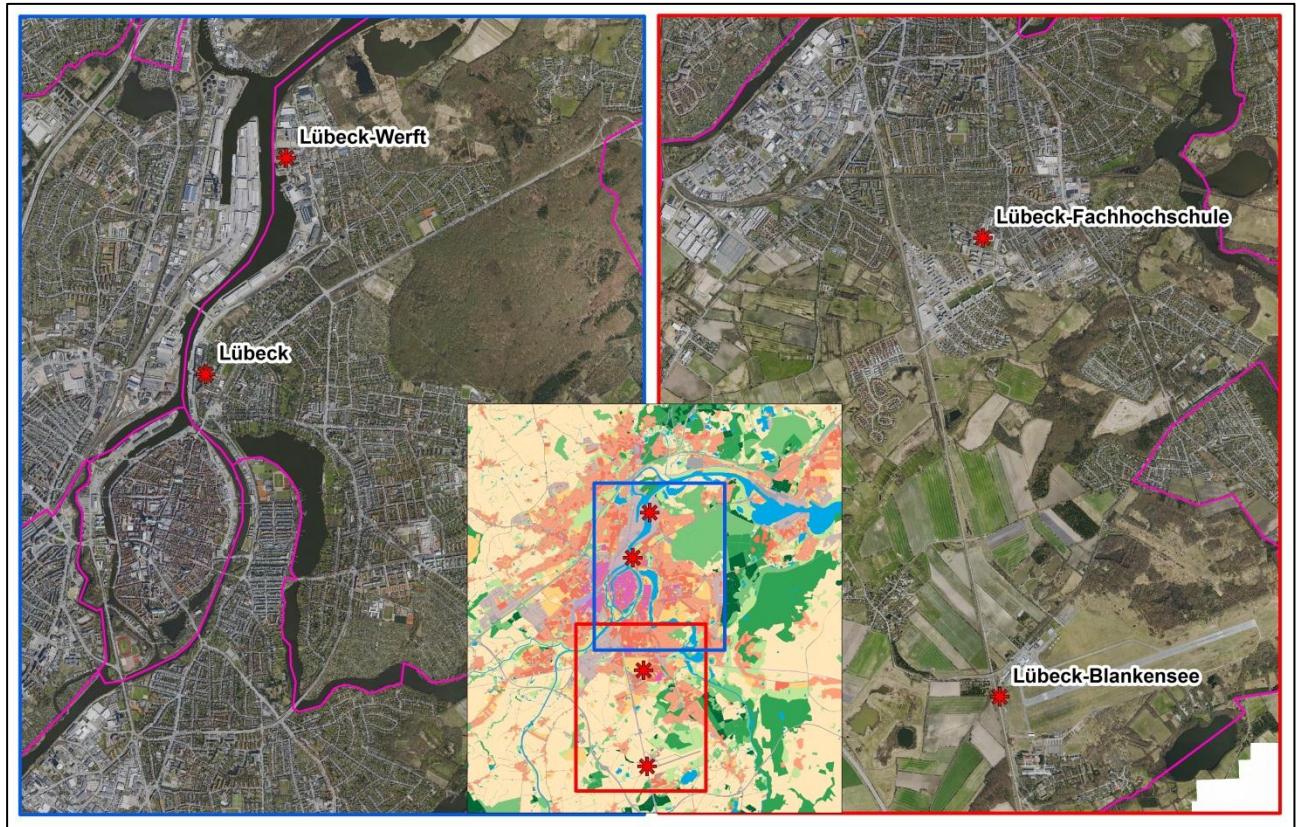


Abb. 2.3: Lage der verschiedenen Klimastationen in Lübeck

In Abb. 2.4 sind die gemessenen Jahresmitteltemperaturen der verschiedenen Stationen in Lübeck für den Zeitraum 1890 bis 2013 dargestellt. Auf Grund der unterschiedlichen Lage der verschiedenen Standorte und den abweichenden Zeiträumen, in denen gemessen wurde, ist eine direkte Vergleichbarkeit der Werte schwierig. Dennoch kann diese lange Zeitreihe einen Eindruck über die Entwicklung des Klimas in Lübeck vermitteln. Die Trendlinien der einzelnen Zeitreihen zeigen deutlich das seit 1890 die Jahresmitteltemperaturen in Lübeck kontinuierlich ansteigen. Der Anstieg ist insbesondere in den letzten 30 Jahren besonders deutlich zu erkennen. (Standort Lübeck-Blankensee und Lübeck-Fachhochschule). Da diese beiden Stationen Werte für den gleichen Zeitraum liefern sind sie zudem direkt vergleichbar. Allerdings ist die Station Lübeck-Fachhochschule keine offizielle Wetterstation des DWD und daher nicht durch diesen geprüft. Die leicht höheren Werte der Station Fachhochschule können durch die unterschiedliche Lage der beiden Stationen erklärt werden. Da die Wetterstation der Fachhochschule in einem dichter bebauten Gebiet liegt, weist sie insgesamt leicht höhere Werte auf, die auf stadtklimatische Effekte hinweisen.

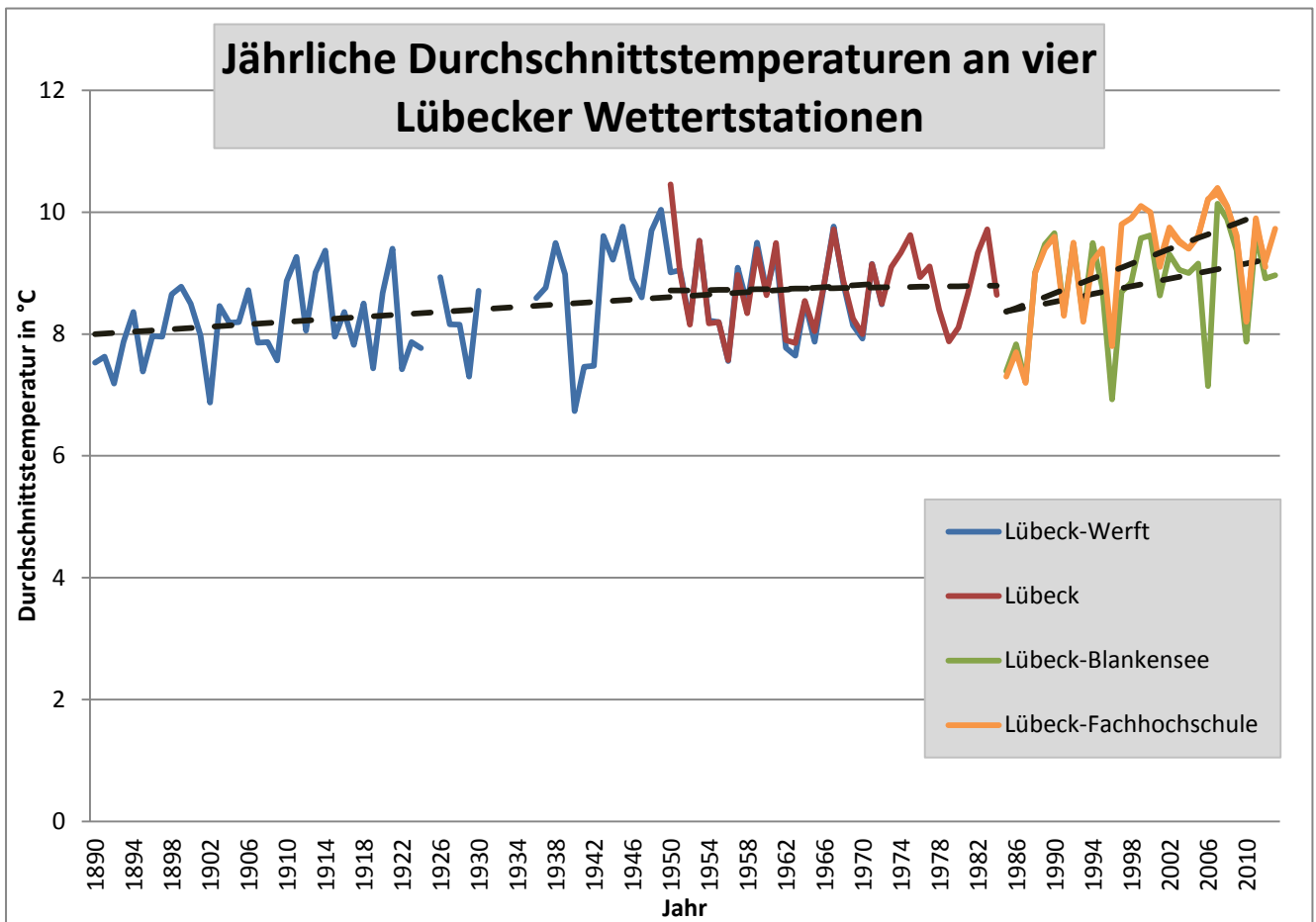


Abb. 2.4: Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen in Lübeck an verschiedenen Wetterstationen von 1890 bis 2013
 (Datengrundlage: Lübeck Wert, Lübeck, Lübeck-Blankensee: DWD, www.dwd.de; Lübeck Fachhochschule: Fachhochschule Lübeck)

Abb. 2.5 zeigt die Entwicklung von Sommertagen für die Hansestadt Lübeck, welche als Tage mit einer Tageshöchsttemperatur von mindestens 25 °C definiert sind. Auch hier sind die Daten für verschiedene Zeiträume an mehreren Orten (Abb. 2.3) ermittelt worden.

Auch bei den Sommertagen in Lübeck ist ein steigender Trend zu beobachten. Lediglich die Daten der Fachhochschule zeigen im letzten Zeitraum ein Absinken der Werte. Der Zeitraum der betrachteten Werte ist recht kurz, aber auch in den Daten der Station Blankensee ist ein leichtes Absinken in den letzten Jahren zu erkennen. Es überwiegt allerdings der positive Trend der langfristig steigenden Werte. Unter dem Einfluss des sich bereits jetzt abzeichnenden Klimawandels wird zukünftig ein Ansteigen der Häufigkeit von Sommertagen in Lübeck zu erwarten sein.

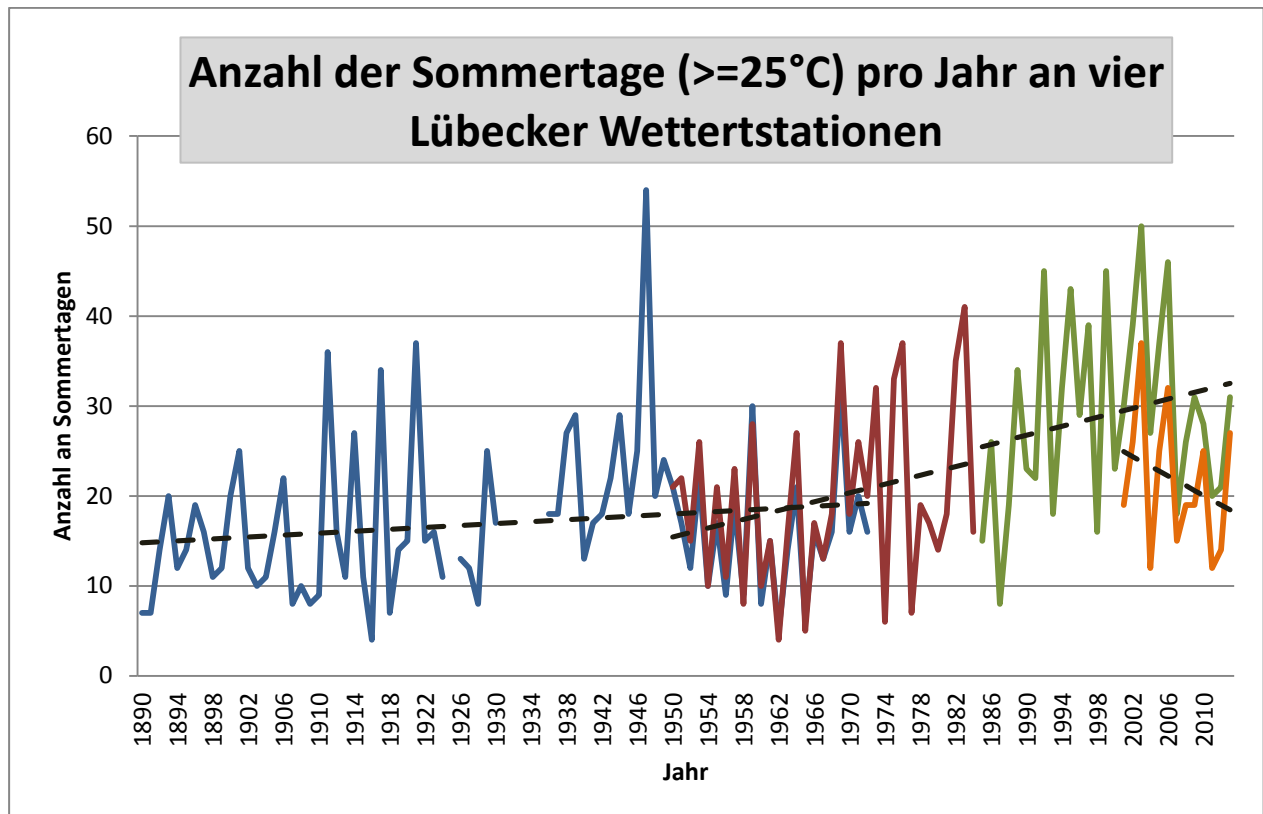


Abb. 2.5: Sommertage in Lübeck von 1890 bis 2013

(Legende: siehe Abb. 2.4. Datengrundlage: Lübeck Wert, Lübeck, Lübeck-Blankensee: DWD, www.dwd.de; Lübeck Fachhochschule: Fachhochschule Lübeck)

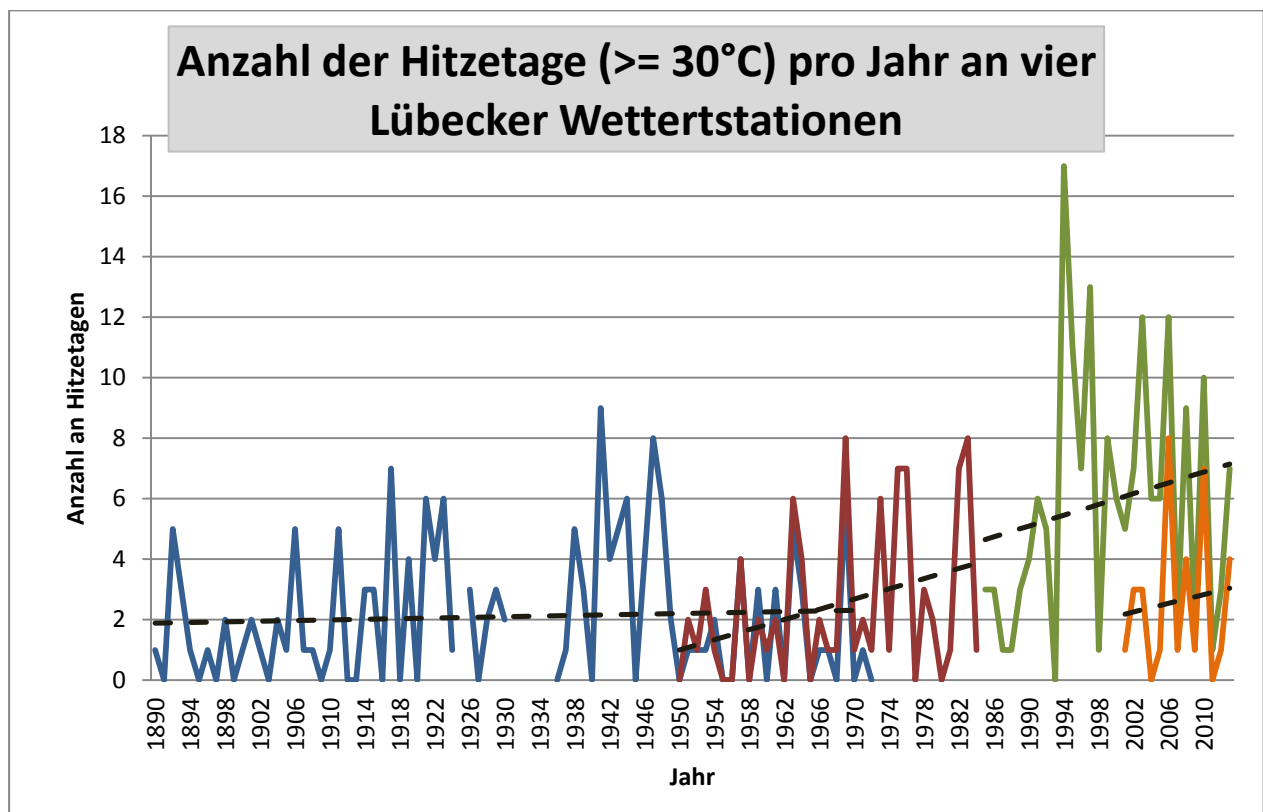


Abb. 2.6: Hitzetage in Lübeck von 1890 bis 2013

(Legende: siehe Abb. 2.4. Datengrundlage: Lübeck Wert, Lübeck, Lübeck-Blankensee: DWD, www.dwd.de; Lübeck Fachhochschule: Fachhochschule Lübeck)

In Abb. 2.6 ist die Entwicklung der Hitzetage (Tage mit einem Temperaturmaximum $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$) für die verschiedenen Messstationen dargestellt. Hitzetage sind ein besonders starker Indikator für die Wärmebelastung des Menschen. Steigen die Temperaturen über dreißig Grad an, wird der Organismus zunehmend belastet. Körperliche Arbeit und anstrengende Tätigkeiten sollten reduziert werden. Besonders gefährdet sind alte und kranke Menschen.

Hier ist der Trend an allen gemessenen Stationen eindeutig positiv. Vor allem seit den 50er-Jahren ist es zu einem größeren Anstieg der Hitzetage pro Jahr gekommen. Insgesamt sind die Hitzetage in Lübeck im Vergleich zu anderen deutschen Städten aber gering ausgeprägt. Dies ist auf die Lage der Stadt an der Ostsee zurück zu führen.

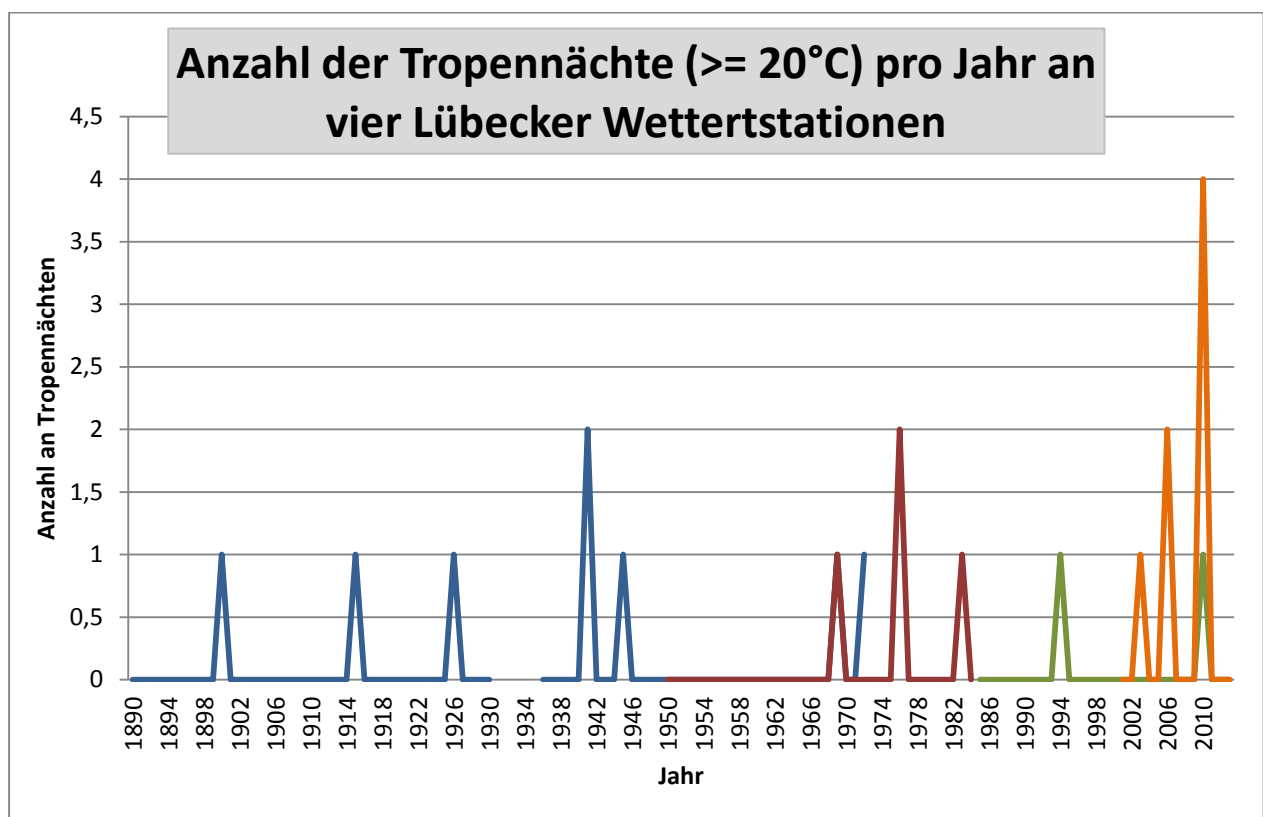


Abb. 2.7: Tropennächte in Lübeck 1890 bis 2013

(Legende: siehe Abb. 2.4. Datengrundlage: Lübeck Wert, Lübeck, Lübeck-Blankensee: DWD, www.dwd.de; Lübeck Fachhochschule: Fachhochschule Lübeck)

Ein ebenfalls sehr wichtiger Indikator, um die Hitzebelastung zu messen, ist die Tropennacht. Eine Tropennacht ist eine Nacht, in der die Temperatur nicht unter $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sinkt. Temperaturen über $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ in der Nacht verhindern eine wirksame Erholung während der Nachtstunden.

In der Hansestadt Lübeck sind auf Grund des ozeanisch geprägten Klimas Tropennächte eher selten. Etwas hervor stechen die Tropennächte, die im Bereich der Fachhochschule auftreten. Hier sind im Jahr 2010 vier Tropennächte aufgetreten. Diese höhere Ausprägung kann auf die Lage der Wetterstation und damit auf das typische Stadtklima, welches im Folgenden genauer erläutert wird, zurück zu führen sein.

Im verdichteten Stadtgebiet Lübecks entstehen durch anthropogene Einflüsse spezielle Stadtklimate, die sich unter anderem durch Wärmeinseleffekte auszeichnen. Im Sommer führen sie zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen in den Siedlungsflächen, die Beeinträchtigungen des Wohlbefindens und der Gesundheit der Bewohner zur Folge haben können.

Solche belastenden Wettersituationen entstehen bei Hochdruckwetterlagen und sind durch einen ausgeprägten Tagesgang der Strahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Bewölkung geprägt. Diese Wetterlagen werden als autochthone (eigenbürtige) Wetterlagen bezeichnet.

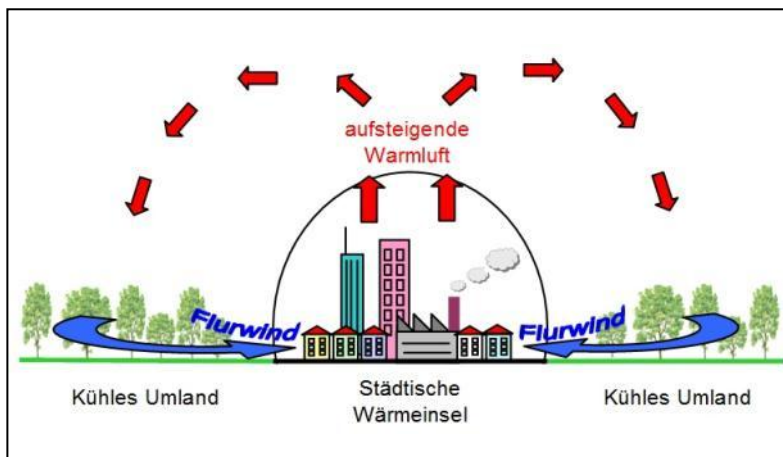


Abb. 2.8: Prinzipskizze Flurwinde

Unter diesen Rahmenbedingungen kommt es tagsüber zu einem konvektiven Aufsteigen von warmer Luft über dem überwärmten Stadtkörper. Als Folge dessen treten sogenannte Flurwinde als Ausgleichsströmungen auf, die bodennah zu einem Zuströmen kühlerer Luft aus dem Umland führen. Solche Strömungen sind auf einen überwärmten Bereich ausgerichtet und fließen bevorzugt über gering bebaute Flächen in die Stadt ein (Abb. 2.8). Die neutralen bis labilen Temperaturschichtungen, die tagsüber während sommerlicher Hochdrucklagen vorliegen, bewirken, dass den Flurwinden häufig eine geringe Höhenströmung überlagert ist. Das Aufsteigen von Warmluftblasen verursacht zusätzlich eine Böigkeit der bodennah nachströmenden Luft, so dass die Ausgleichsströmungen insgesamt weniger sensibel auf Strömungshindernisse reagieren.

In den Nachtstunden sind autochthone Wetterlagen dagegen durch eine stabile Temperaturschichtung der unteren Luftschichten gekennzeichnet. Damit wird eine vertikale Durchmischung unterbunden und eine ggf. überlagerte Höhenströmung hat keinen Einfluss mehr auf das bodennahe Strömungsfeld. Durch lokal unterschiedliche Abkühlungsraten entstehen Temperatur- und damit Dichteunterschiede, die zu Ausgleichsströmungen führen. Während der nächtlichen Abkühlung fließt dann kühlere Umgebungsluft aus stadtnahen Freiflächen in das wärmere Stadtgebiet ein. Da der Zustrom bodennah, mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten erfolgt, kann dieser Luftaustausch nur entlang von Flächen ohne blockierende Strömungshindernisse, auf sogenannten Leitbahnen erfolgen. Darüber hinaus treten Kaltluftabflüsse über unbebauten Hangbereichen auf, sofern sie Neigungen von $\geq 1^\circ$ aufweisen. Aufgrund der vergleichsweise höheren Dichte von Kaltluft setzt sie sich, dem Gefälle folgend,

hangabwärts in Bewegung. Durch diese „Beschleunigung“ weisen Kaltluftabflüsse meist höhere Strömungsgeschwindigkeiten auf als Strömungen, die sich nur aufgrund des Temperaturunterschiedes zwischen kühlen Freiflächen und überwärmter Bebauung einstellen. Aus stadtklimatischer Sicht sind daher Abflüsse als sehr wirksam zu bewerten. Aufgrund der Reliefsituation im Untersuchungsraum treten Kaltluftabflüsse nur kleinräumig auf.

Austauscharme Wetterlagen können weiterhin vor allem im Winter mit überdurchschnittlich hohen Schadstoffkonzentrationen verbunden sein, wenn es zur Ausbildung von Inversionen und einem Ansammeln von freigesetzten Schadstoffen, zum Beispiel aus Hausbrand oder Verkehr, in der bodennahen Luftschicht kommt. Für eine Minderung von Belastungssituation ist es auch hier wichtig, eine gute Durchlüftung des Stadtgebietes zu gewährleisten.

2.2 Die Entwicklung des Klimas in Lübeck

Auch die mögliche Entwicklung des Klimas in der Zukunft spielt vor allem für die Klimaanpassung eine wichtige Rolle. Im Folgenden sollen kurz die wichtigsten Prognosen für das Bioklima im Hinblick auf die Temperaturentwicklung dargestellt werden. Hierbei wird auf das Klimamodell WETTREG 2010¹, Szenario A1B, Klimastation Lübeck-Travemünde zurückgegriffen. Diese Klimastation ist die einzige in Lübeck, für die die WETTREG-Simulation vorgenommen wurde. Durch die Lage direkt an der Ostsee wird hier kein typisches Stadtklima abgebildet, sondern eher das Klima des Umlands mit der Besonderheit des Seeklimas. Dargestellt werden die gemittelten Werte aus 10 Modellläufen.

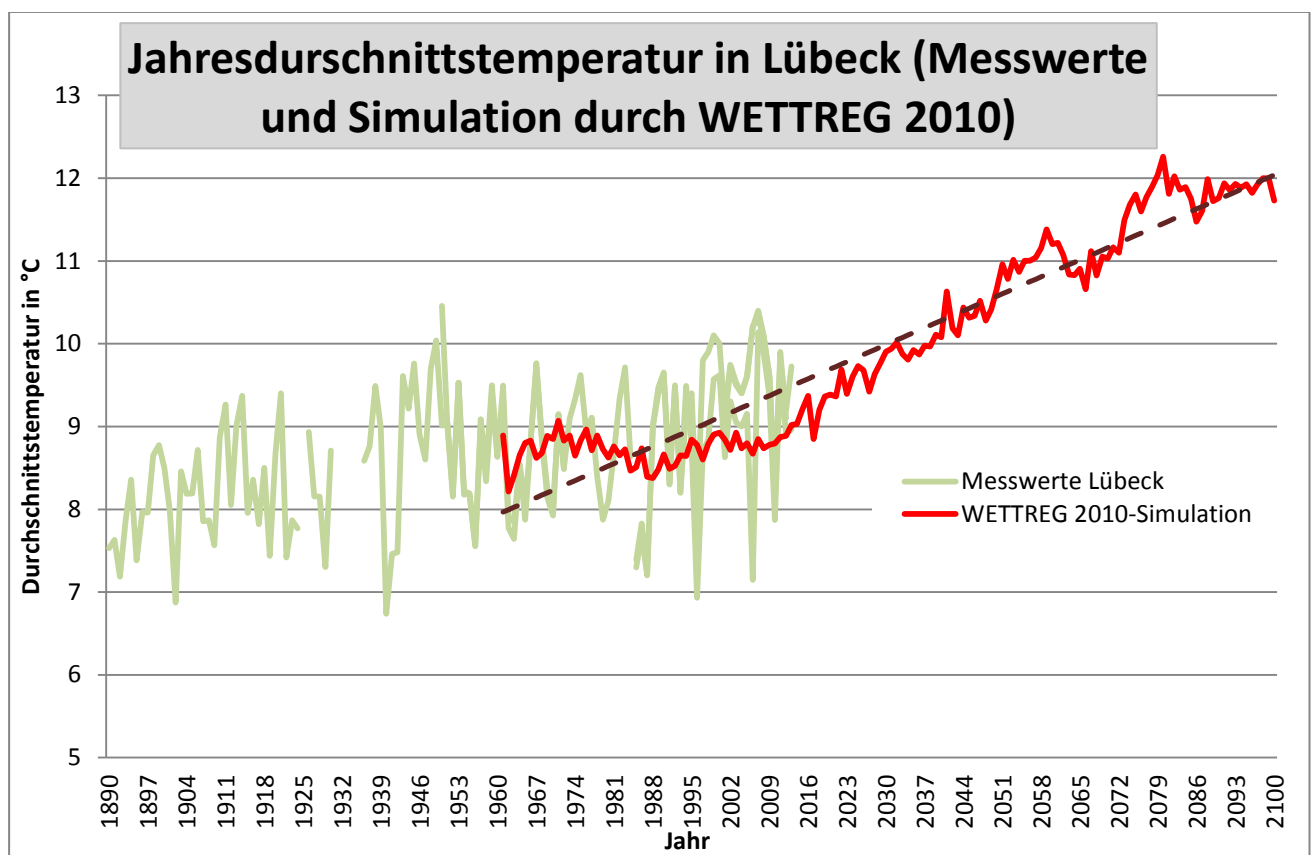


Abb. 2.9: Jahresdurchschnittstemperatur in Lübeck 1890 bis 2010 (Messwerte und Simulation durch WETTREG 2010)

Abb. 2.9 zeigt den Vergleich zwischen den gemessenen Werten in Lübeck und der Modellierung mit WETTREG, die im Jahr 1961 startet. Die Mittelwerte der Klimanormalperiode 1961-1990 liegen sowohl für die Modellierung als auch für die Messungen bei 8,7 °C. Obwohl die gemessenen Werte eine wesentlich größere Amplitude aufweisen, ist hier eine hinreichend genaue Korrelation festzustellen.

¹ s. Glossar

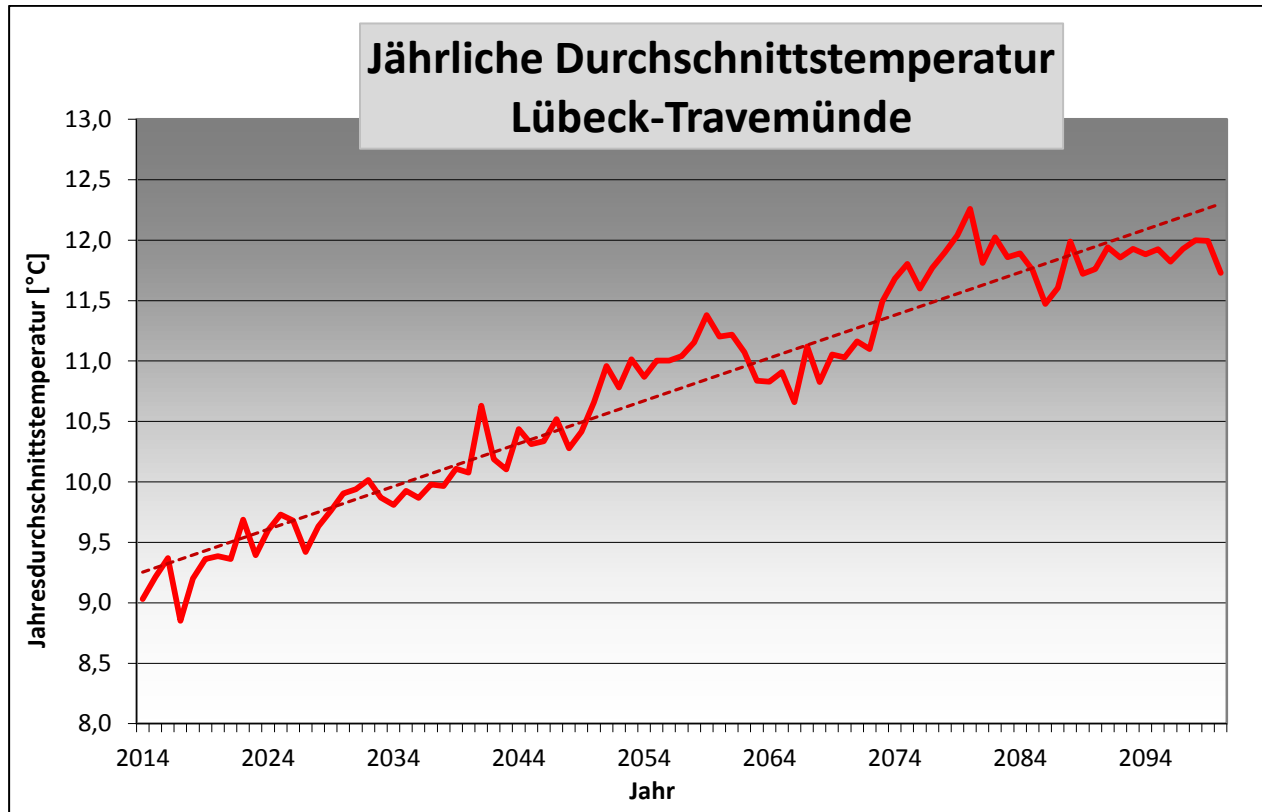


Abb. 2.10: Jahresdurchschnittstemperatur Lübeck-Travemünde, Betrachtungszeitraum 2014 – 2100 WETTREG 2010-Simulation, Szenario A1B

In Abb. 2.10 wird die modellierte Jahresmitteltemperatur an der Station Lübeck-Travemünde für den Zeitraum 2014 bis 2100 dargestellt. Prognostiziert wird ein Anstieg der Jahresmitteltemperaturen auf 11,7 °C im Jahre 2100. Der höchste prognostizierte Jahresmittelwert wird im Jahre 2080 mit 12,9 °C erreicht. Damit wird ein deutlicher Anstieg der Jahresmitteltemperaturen von etwa 2,8 °C bis zum Ende des Jahrhunderts im Vergleich zur heutigen Situation vorhergesagt.

Diese Entwicklung der steigenden Temperaturen wird auch bei der Betrachtung der Entwicklung der Hitzetage in Lübeck-Travemünde deutlich. In Abb. 2.11 wird die Anzahl der Hitzetage pro Jahr für den Zeitraum 2014 bis 2100 begleitet von einer polynomischen Trendlinie dargestellt. Es ist ein deutlicher Anstieg der Hitzetage pro Jahr zu erkennen. Im Jahr 2100 werden 7,6 Tage im Jahr mit einer Temperatur ≥ 30 °C prognostiziert, während es für das Jahr 2014 lediglich 0,5 Tage sind. Vergleicht man diese simulierten Werte mit denen in der Vergangenheit in Lübeck gemessenen, fällt auf, dass in Lübeck in den letzten Jahren bereits mehrfach eine recht hohe Anzahl von Hitzetagen auftrat. Hier wird vermutlich der Einfluss der Ostsee auf die Spitzentemperaturen in Travemünde deutlich. Aus dem Trend des Werteverlaufs bis zum Ende des Jahrhunderts ist für das Landesinnere und die städtischen Gebiete Lübecks ein weiteres Ansteigen von Hitzetagen mit entsprechend höheren Werten zu erwarten.

Für den menschlichen Organismus sind vor allem Hitzetage belastend. Davon betroffen sind insbesondere ältere oder sehr junge Menschen, aber auch Menschen, die schwere körperliche Arbeiten verrichten müssen. Aus diesem Grund ist die Betrachtung der Entwicklung von

Hitzewellen insbesondere interessant, denn je länger die hohen Temperaturen andauern, desto stärker ist auch die Belastung für den menschlichen Organismus.

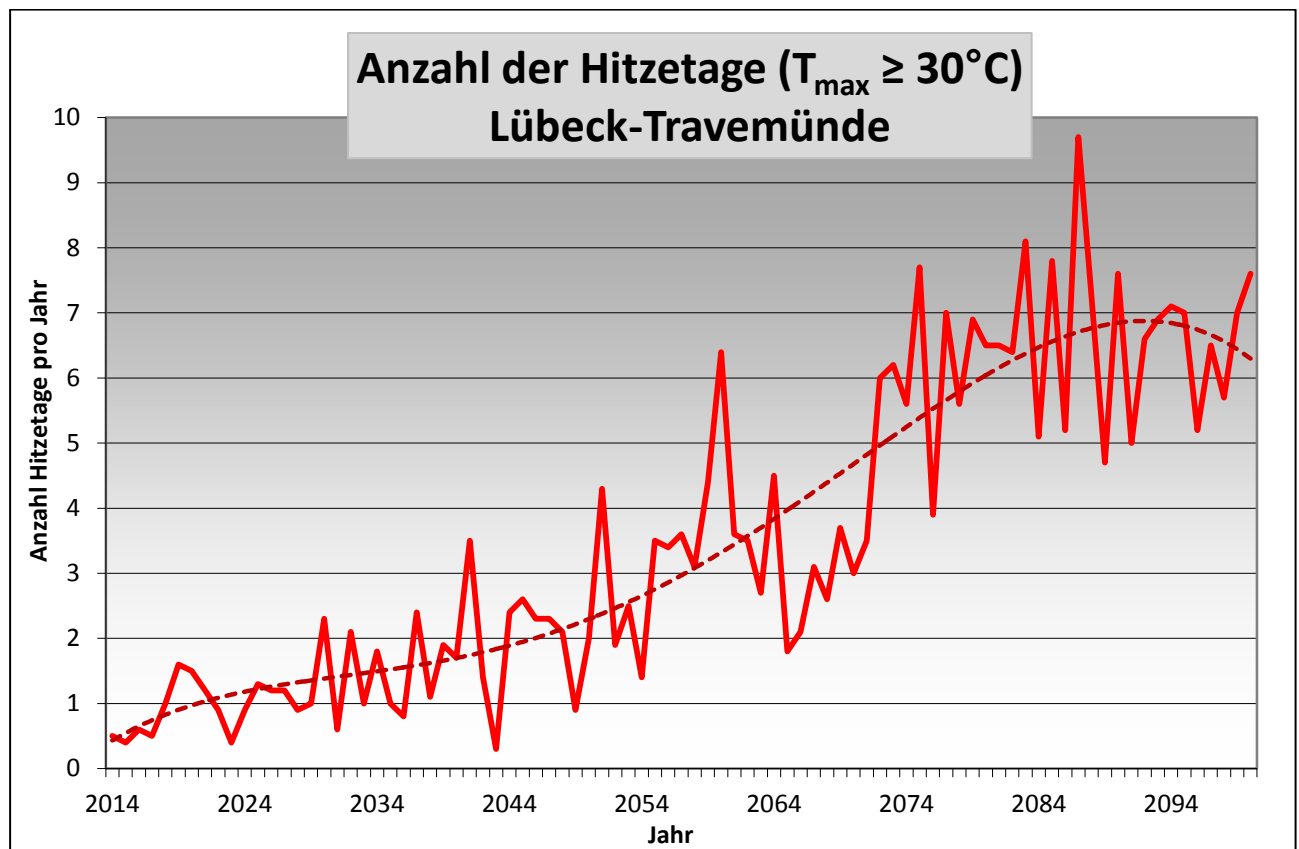


Abb. 2.11: Anzahl der Hitzetage pro Jahr in Lübeck-Travemünde, Betrachtungszeitraum 2014 bis 2100 WETTREG 2010-Simulation, Szenario A1B

Der Begriff Hitzewelle ist nicht klar definiert. Temperaturschwellenwerte und andere Rahmenbedingungen (z.B.: Luftfeuchte oder Dauer) unterscheiden sich je nach Land oder Region. Grund dafür sind die klimatischen Unterschiede, die auch eine unterschiedliche Akklimatisierung der Bevölkerung (bezogen auf einen gesunden Menschen durchschnittlichen Alters) an hohe Temperaturen mit sich bringen. In Deutschland gibt es keine offizielle Definition einer Hitzewelle. Für dieses Gutachten werden mindestens 3 Tage mit Maximaltemperaturen über 30°C als Hitzewelle angenommen.

Abb. 2.12 zeigt die Entwicklung der durchschnittlichen Anzahl von Hitzewellen für die Station Lübeck-Travemünde. Der zunächst noch schwache Anstieg erhöht sich etwa ab dem Jahr 2050 deutlich. Werden 2014 noch 0,1 Hitzewellen projiziert, sind es im Jahr 2087 1,8 Hitzewellen. In den Jahren danach ist wieder ein kleiner Rückgang von Hitzewellen pro Jahr zu erkennen. Die Anzahl von einer Hitzewelle im Jahr 2100 ist dennoch wesentlich höher als zu Beginn des Jahrhunderts.

Auch hier ist zu bedenken, dass es sich um den Standort Travemünde handelt, der sehr von der ausgleichenden Wirkung der Ostsee profitiert. Es ist davon auszugehen, dass im Landesinneren noch mehr Hitzewellen pro Jahr auftreten können.

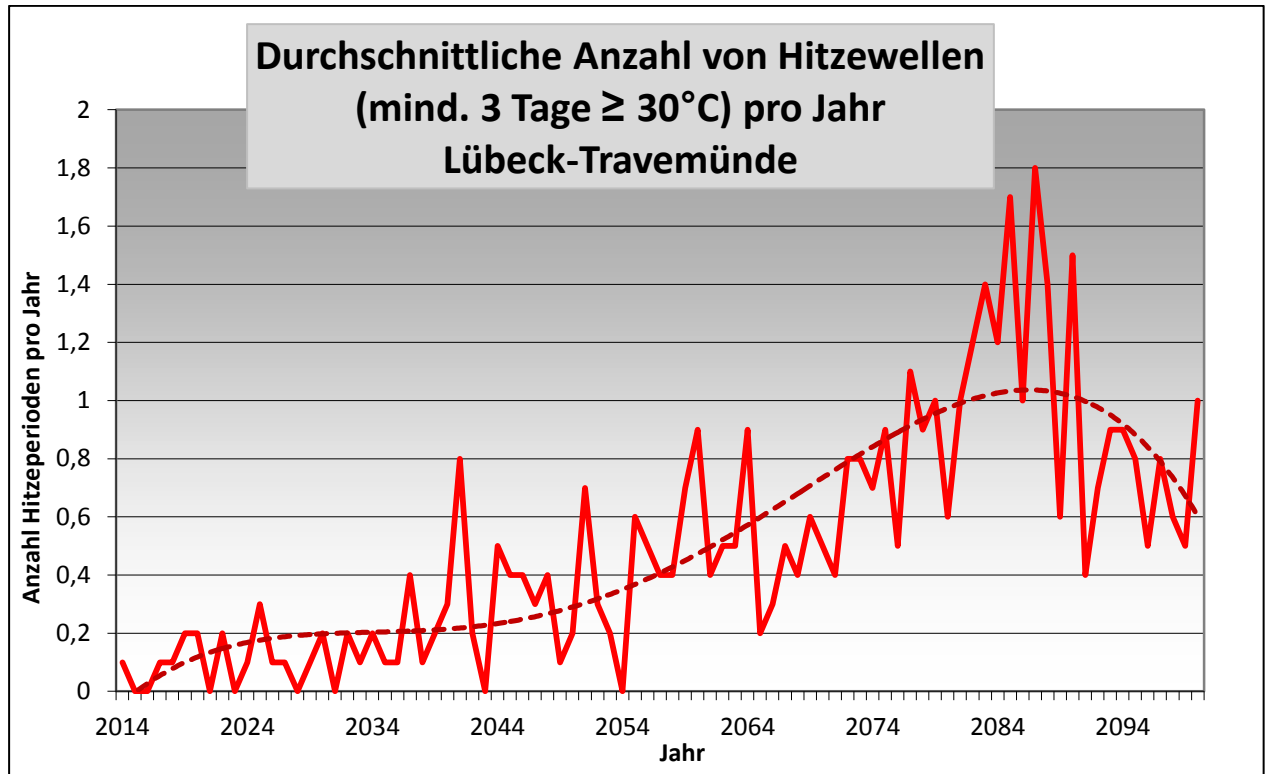


Abb. 2.12: Durchschnittliche Anzahl von Hitzewellen pro Jahr Lübeck-Travemünde, Betrachtungszeitraum 2014 – 2100
WETTREG 2010-Simulation, Szenario A1B

3. Methodik und Datengrundlage zur Erstellung einer Klimatopkarte

3.1 Datengrundlage

Zur Ableitung der Klimatope wird auf folgende Daten zurückgegriffen:

Name	Verwendung	Quelle (vorliegend)
ALKIS-Daten, ATKIS Basis-DLM	Basisdatensatz (Geometrie, Nutzung)	Hansestadt Lübeck
CORINE Landnutzungsdaten	Basisdatensatz (Geometrie, Nutzung)	EUROPEAN COMMISSION (1994)
Gebäude	Modifikation Bebauungsdichte	Hansestadt Lübeck
Versiegelungsgrad	Modifikation Gesamtversiegelung	EEA FTSP degree of soil sealing (2012)

Tab. 3.1: Eingangsdaten zur Ableitung von Klimatopen

Als Basisgeometrie für das Untersuchungsgebiet des Großraum Lübecks wird großflächig auf den detaillierten ALKIS-Datensatz zurück gegriffen. In Randbereichen, in denen diese Daten nicht vorliegen, werden ATKIS- bzw. CORINE-Daten verwendet.

Ein spezifisches Problem bei der Ableitung von klimaökologischen Zusammenhängen aus den zugrunde liegenden Nutzungsgeometrien beruht auf der ungenügenden Differenzierung der für klimaökologische Fragestellungen wesentlichen Einflussfaktoren Bebauungsdichte und Versiegelungsgrad. Um diese Parameter hinreichend berücksichtigen zu können, werden die in Tab. 3.1 genannten Daten zum Gebäudebestand und zur ebenerdigen Versiegelung mit den ATKIS-Flächenobjekten kombiniert.

3.2 Konzept zur Ableitung der Klimatope

Auf Grundlage der in Tabelle 3.1 dargestellten Basisgeometrien wird in einem ersten Arbeitsschritt und im Hinblick auf die geplante Klimamodellierung eine Einteilung der Daten in 14 Klassen vorgenommen. Dieser 14-klassige Nutzungsschlüssel wird den speziellen Anforderungen der Modelnanalyse gerecht und ermöglicht für die geplante Modellierung des Klimas eine problemlose Zuweisung des mittleren Versiegelungsgrades und der mittleren Strukturhöhe auf Basis der in den Eingangs- und Literaturdaten vorkommenden Nutzungsklassifizierungen. Gleichzeitig bildet diese Einstufung nach der Nutzungsstruktur eine gute Grundlage zur Ausweisung von Klimatopen, da die Klassen nach den strukturellen Eigenschaften der Fläche gewählt werden, die auch für die Klimatope relevant sind. Es erfolgt eine Überprüfung mit Hilfe der von der Hansestadt Lübeck gelieferten Luftbilder und in Bereichen, die diese nicht abdecken, mit Hilfe frei zugänglicher Luftbilddaten. Dies ermöglicht es, Fehler zu korrigieren und beispielsweise neueste Bauvorhaben mit aufzunehmen. In Tabelle 3.2 ist eine Übersicht des Nutzungsschlüssels abgebildet. Abbildung 3.1 zeigt die Nutzungsstrukturen im Untersuchungsgebiet.

Klasse	Flächentyp	Beschreibung
1	Zentrum, Stadtteilzentrum	Kerngebietsnutzung, welche durch einen sehr hohen Bebauungs- und Versiegelungsgrad gekennzeichnet ist.
2	Block- und Blockrandbebauung	Vergleichsweise dicht bebaute und häufig auch stark versiegelte Siedlungsfläche. Baustrukturell ist sie meist durch geschlossene Blockinnenhöfe geprägt. Sie umfasst sowohl Vorkriegs- als auch Nachkriegsbauten.
3	Industrie- und Gewerbefläche	Sie weist einen ähnlich hohen Versiegelungsgrad wie die Zentrumsbebauung auf, gleichzeitig ist der versiegelte Flächenanteil oft größer als der mit Gebäuden bestandene.
4	Zeilen- und Hochhausbebauung	Zu diesem Flächentyp zählen sowohl freistehende Punkthochhäuser als auch halboffene Blockrand-bebauung und Zeilenbebauung. Gemeinsames Merkmal ist ein relativ hoher Grünflächenanteil, welcher sich durch die zwischen den Gebäudekörpern befindlichen Abstandsflächen ergibt.
5	Einzel- und Reihenhausbebauung	Dieser Typ weist unter den Siedlungsräumen den geringsten Überbauungsgrad auf. Der Übergang zwischen dicht ausgeprägter Reihenhausbebauung und einer Zeilenbebauung ist fließend.
6	Straßenraum	Ebenerdig versiegelte Fläche des Straßenraums.
7	Gleisfläche	Schienenverkehrsfläche mit geringer Strukturhöhe.
8	Baulich geprägte Grünfläche	Unter diesem Flächentyp sind vegetationsgeprägte Flächen zusammengefasst, welche zugleich auch einen gewissen Anteil an versiegelter Fläche (Zuwegungen) und/oder Bebauung aufweisen. Dazu zählen z.B. Kleingartenanlagen und Gartenbauflächen, sowie Spiel- und Sportplätze. Es überwiegt aber letztlich die Eigenschaft als Grünfläche.
9	Offene landwirtschaftliche Flächen	Beinhaltet vor allem landwirtschaftlich genutzte Wiesen und Weiden sowie ackerbaulich genutzte Flächen. Innerstädtisch handelt es sich meist um Rasenflächen mit geringem Gehölzanteil.
10	Gehölz	Diese Nutzungskategorie umfasst sowohl innerstädtische Parkareale und Gehölzflächen als auch Obstbauflächen, Baumschulen und Straßenbegleitgrün.
11	Laubwald	Waldflächen sowie waldartige Bestände im Siedlungsbereich.
12	Mischwald	
13	Nadelwald	
14	Gewässer	Still- und Fließgewässer.

Tab. 3.2: Nutzungskategorien als Grundlage für die Einordnung der Klimatope sowie für die geplante Klimamodellierung

Um die nun erstellte Klassifizierung auf die Klimatope zu prägen sind noch einige weitere Anpassungen nötig. Weil keine explizite Unterscheidung zwischen innerstädtischen und Freiland-Merkmalen existiert, müssen im Bereich „Vegetation“ beispielsweise vor allem lagebezogene Anpassungen vorgenommen werden. Die mehrdeutigen Objektarten wie beispielsweise „Gehölz“, müssen im folgenden Verfahren über die Ermittlung von Nachbarschaftsbeziehungen differenziert werden.

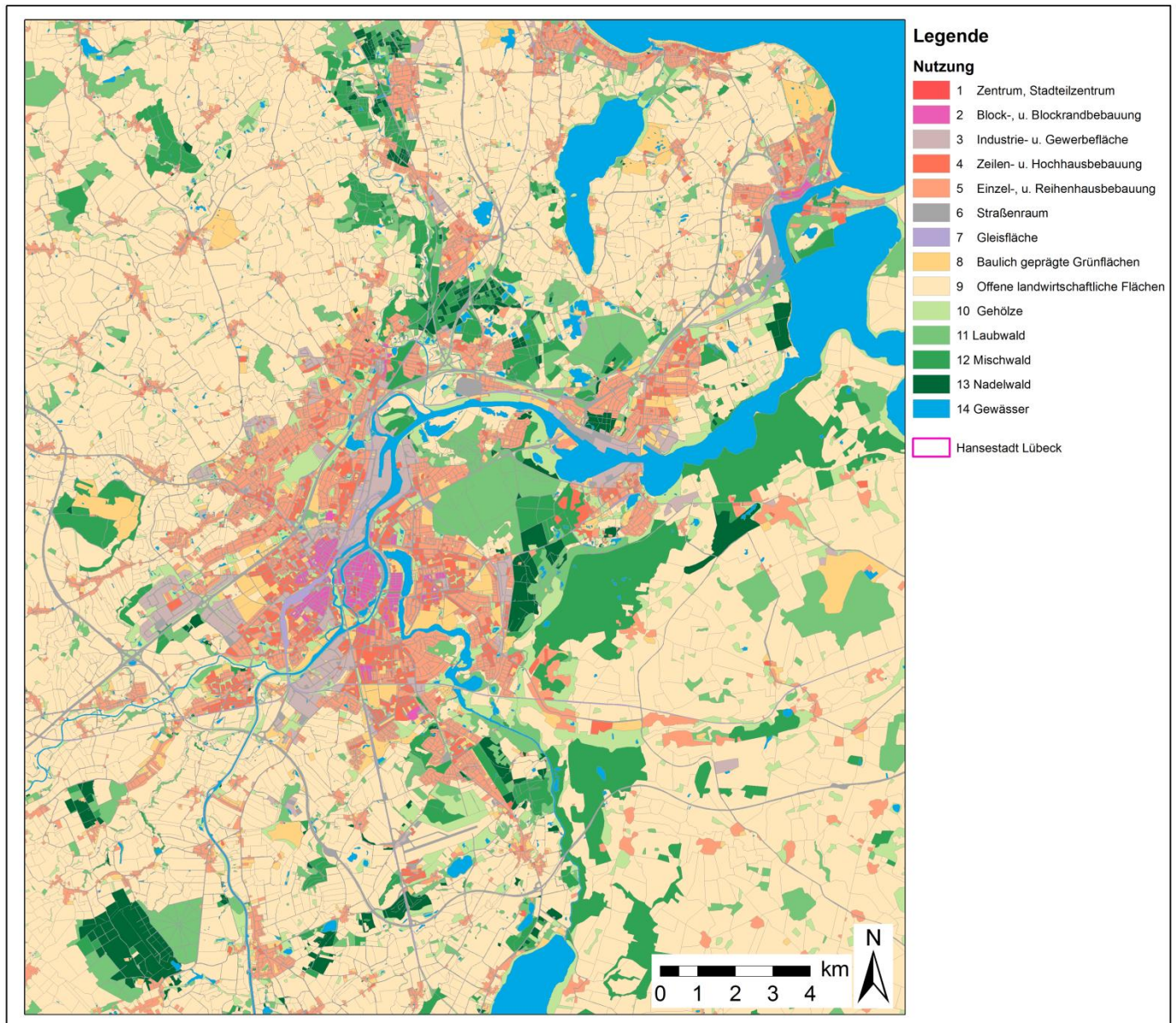


Abb. 3.1: Nutzungsstruktur im Untersuchungsgebiet

Folgende Vorgehensweise wird gewählt:

1. Primäre Zuordnung der Nutzungsklassen über den vorgestellten Schlüssel an die Eingangsdaten aus ATKIS-, ALKIS- und CORINE-Daten. Überprüfung und Anpassung der Daten anhand von Luftbildern.
2. Zuweisung der auf Grundlage des Nutzungsschlüssels eindeutigen Klimatope:
 - „Gewässerklima“ → Klasse 14
 - „Waldklima“ → Klassen 11, 12, 13
 - Straßen und Gleise → Klassen 6, 7
3. Abgrenzung der Siedlungsbereiche mit einem Puffer von 150, um an Siedlungsbereiche angrenzende Gartenflächen mit einzuschließen, und Ausweisung der Siedlungsflächen > 60 ha als „Dichter Siedlungsbereich“.
4. Lagebezogene Ausweisung von Flächen:
 - Ausweisung der Flächen der Klassen 8, 9, 10 innerhalb „Dichter Siedlungsbereiche“ als „Klima innerstädtischer Grünflächen“.
 - Ausweisung der Flächen der Klassen 8, 9, 10 außerhalb „Dichter Siedlungsbereiche“ als „Freilandklima“.
 - Zuweisung der Flächen 4, 5 außerhalb „Dichter Siedlungsbereiche“ als „Vorstadtklima“. (Die Klassen 2 und 1 wurden hier nicht vergeben.)
5. Berechnung des überbauten Flächenanteils (VS_{Bau}) sowie des gesamtversiegelten Flächenanteils (VS_{Ges}) der einzelnen Flächen aus der Nutzungsklassifizierung und Kennzeichnung folgender Eigenschaften innerhalb „Dichter Siedlungsbereiche“:

• Nutzungsklasse 5	+	$VS_{\text{Bau}} < 0,2$	=	„Vorstadtklima“
• Nutzungsklasse 5	+	$VS_{\text{Bau}} \geq 0,2$	=	„Stadtrandklima“
• Nutzungsklasse 4	+	$VS_{\text{Bau}} < 0,4$	=	„Stadtrandklima“
• Nutzungsklasse 4	+	$VS_{\text{Bau}} \geq 0,4$	=	„Stadtklima“
• Nutzungsklasse 2	+	$VS_{\text{Bau}} < 0,6$	=	„Stadtklima“
• Nutzungsklasse 2	+	$VS_{\text{Bau}} \geq 0,6$	=	„Innenstadtklima“
• Nutzungsklasse 1			=	„Innenstadtklima“
• Nutzungsklasse 3	+	$VS_{\text{Ges}} < 0,7$	=	„Industrieklima – offenes Gebiet“
• Nutzungsklasse 3	+	$VS_{\text{Ges}} \geq 0,7$	=	„Industrieklima – dichtes Gebiet“

Die Abbildungen 3.1 und 3.2 zeigen schematisch das Vorgehen zur Bestimmung der Klimatope.

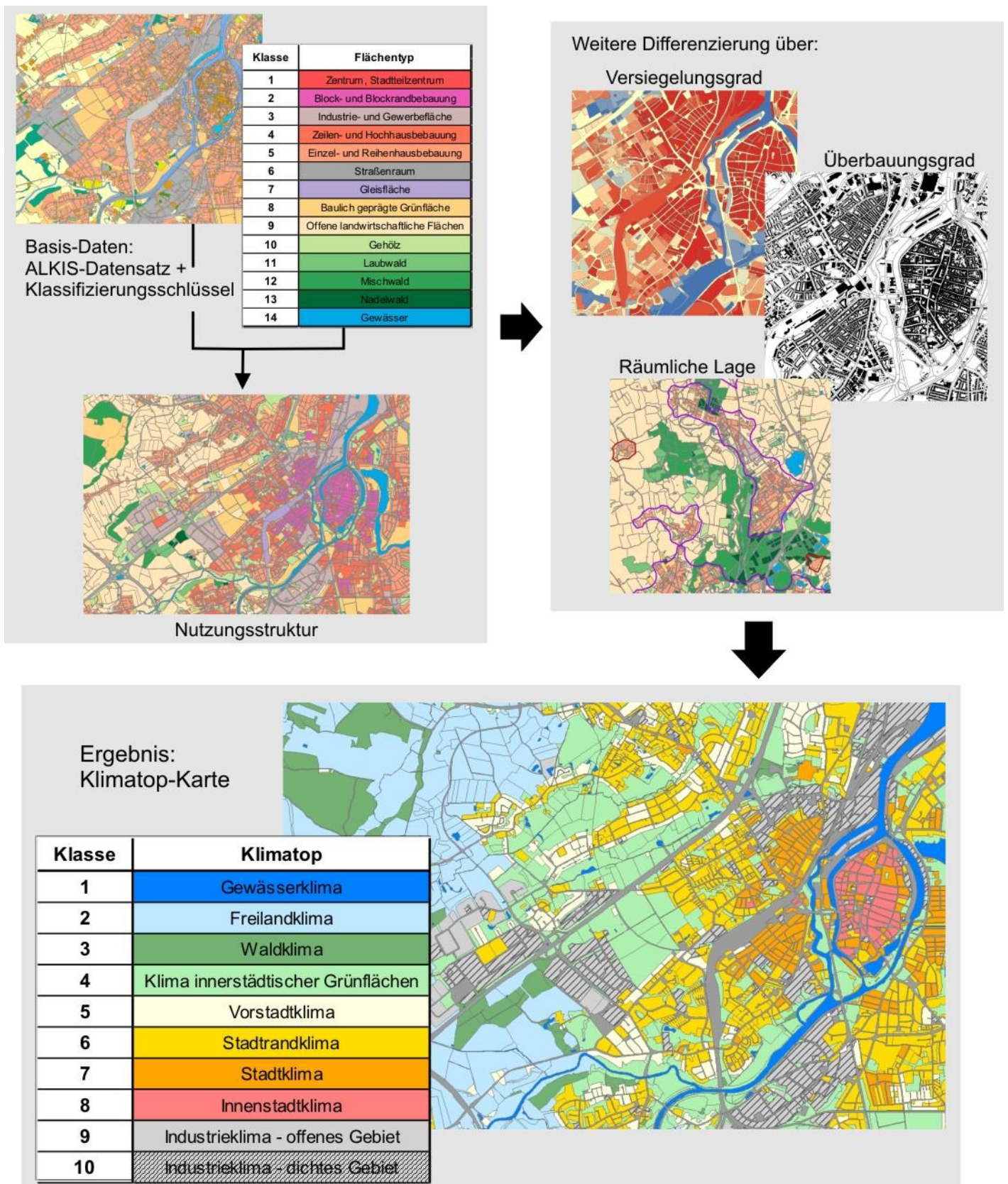


Abb. 3.2: Skizze des Verfahrensablaufs zur Ableitung der Klimatope

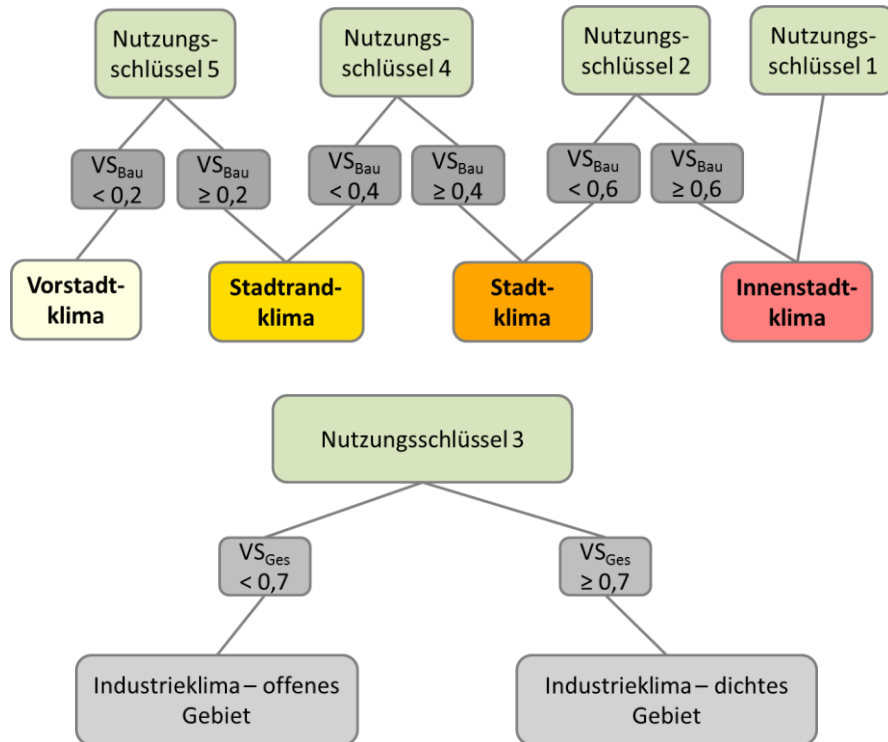


Abb. 3.3: Schema zur Bestimmung der Klimatope in Lübeck

4. Ergebnis

Das Ergebnis der Klimatopausweisung ist in Abbildung 4.1 zu sehen.

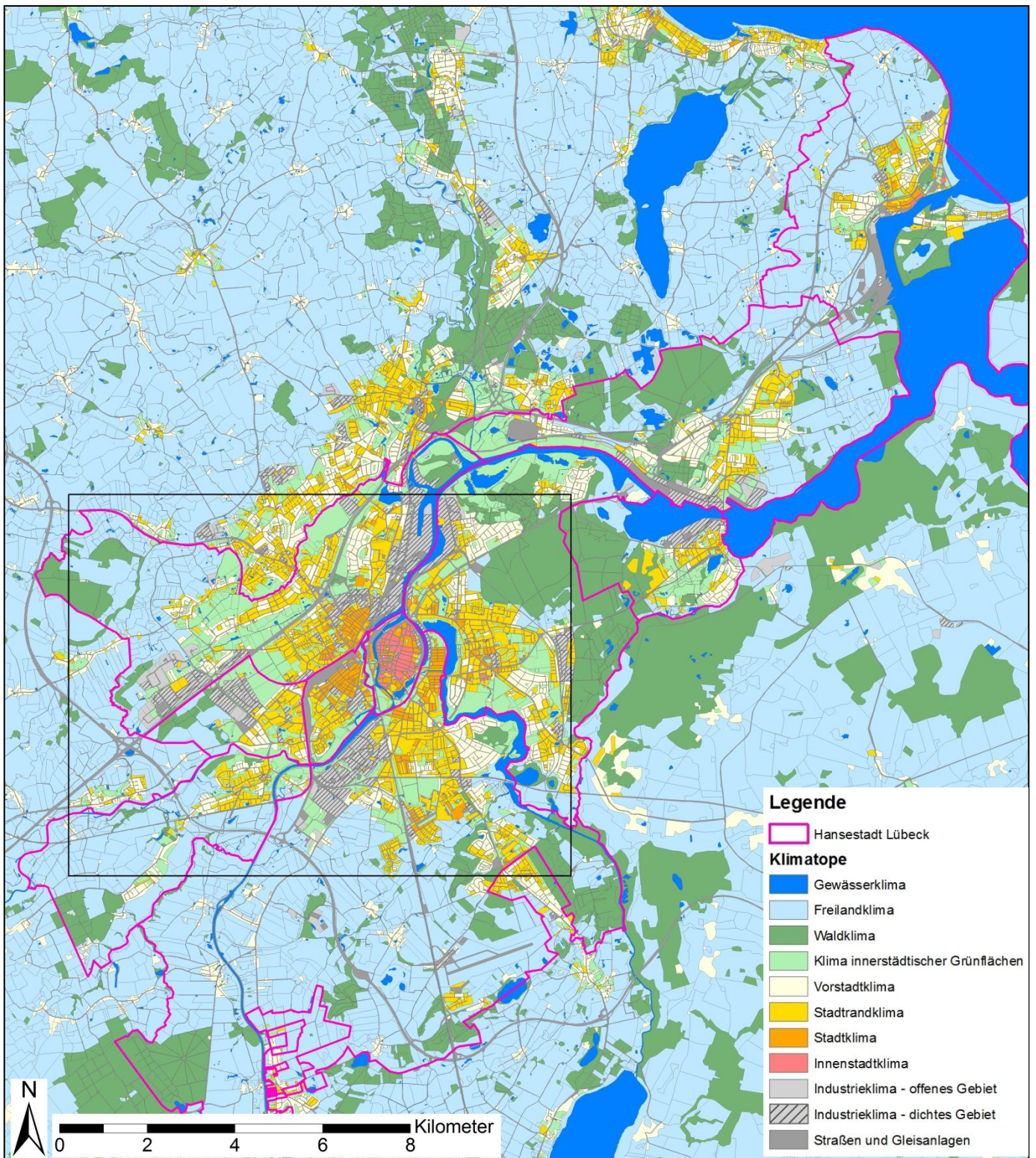


Abb. 4.1: Klimatopkarte Lübeck

Im weiteren Umland der Stadt Lübeck dominiert auf Grund des hohen Anteils von Ackerflächen das Klimatop „Freilandklima“. Vereinzelt sind Gewässer und Wälder mit den entsprechenden Klimatopen zu finden. Die Dorfstrukturen im Umland von Lübeck weisen das Klimatop

„Vorstadtklima“ auf. Es sind zumeist nur kleine Ansiedlungen mit wenigen Häusern und sehr dörflichen Strukturen. Ein weitaus differenzierteres Bild der Klimatope ergibt sich bei der Betrachtung des Stadtbereichs von Lübeck, wie in dem Ausschnitt in Abbildung 4.2 dargestellt.

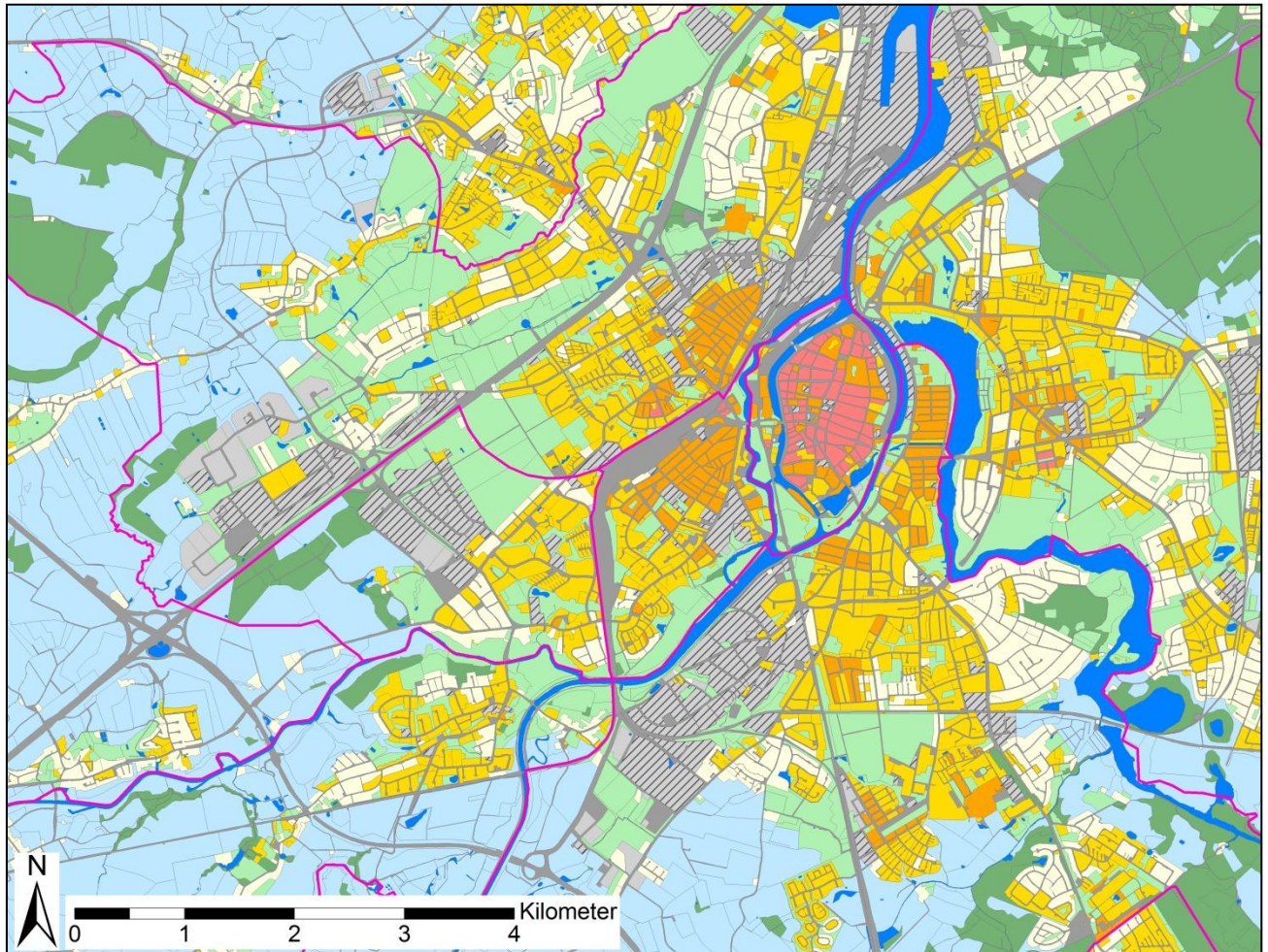


Abb. 4.2: Detailausschnitt Klimatopkarte Lübeck
(Legende siehe Abb. 4.1)

Der zentrale Bereich der Stadt Lübeck weist das Klimatop „Innenstadtklima“ auf. Hier liegt eine besonders große Baudichte vor, die Straßen sind eng und der Grünanteil gering. Im nahegelegenen Umfeld der Innenstadt in St. Lorenz Nord und Süd sowie in St. Jürgen sind einige Bereiche mit hauptsächlich Blockbebauung, aber mit zum Teil grünen Innenhöfen, zu finden. Diese Areale sind mit dem Klimatop „Stadtklima“ belegt. „Vorstadtklima“ und „Stadtrandklima“ ist in Bereichen mit Einzel- und Reihenhausbauung sowie Zeilen- und Hochhausbebauung zu finden. Diese Klimatoptypen dominieren das Stadtgebiet von Lübeck. Größere Areale mit dem Klimatop „Industrieklima“ sind vor allem im Umfeld des Hafens zu finden. Ebenso gibt es Industriegebiete in der Peripherie des Stadtzentrums. Es überwiegen Industriegebiete von dichter Struktur.

Das Stadtgebiet der Hansestadt Lübeck weist einen recht hohen Anteil an Grünflächen auf. Hier sei zum Beispiel der Vorwerker Friedhof genannt, aber auch die Kleingartenflächen (z.B. der Kleingartenverein Buntekuh e.V) und Parks sind ein wichtiger Teil des innerstädtischen Grüns.

5. Reliefeinfluss

Das Relief eines Gebietes kann eine wichtige Rolle für das klimatische Geschehen spielen. Hang- oder Talwinde können während austauschbarer Strahlungswetterlagen kühlere Luft in die Täler transportieren und dort zu einem Abkühlen der Temperaturen beitragen. Über Flächen mit einer geringen Reibung wie zum Beispiel Grün- und Ackerflächen, aber auch Straßen und Gleisen, sind Hangneigungen ab 1° ausreichend, um entsprechende Windsysteme auszubilden. Hindernisse wie zum Beispiel Wälder oder Siedlungen bremsen diese Winde allerdings schnell aus, so dass eine Durchströmung dieser Gebiete nur teilweise stattfindet. (vgl. VDI 2003)

Das Relief in Lübeck stellt sich recht kleinteilig dar, größere Talsysteme sind nicht vorhanden. Zur Ermittlung der Hangneigung wurde auf DTED-Höhendaten mit einer Auflösung von ca. 45 m zurückgegriffen (vgl. NATIONAL GEOSPATIAL INTELLIGENCE AGENCY, 2004). Um einen Eindruck über mögliche Hangwinde zu vermitteln, wurden die Bereiche der Klimatope „Freilandklima“, „Klima innerstädtischer Grünflächen“ und der Straßen und Gleise, die eine Hangneigung $>1^\circ$ aufweisen, ausgewiesen. In Abbildung 5.1 und Abbildung 5.2 ist das Ergebnis dargestellt.

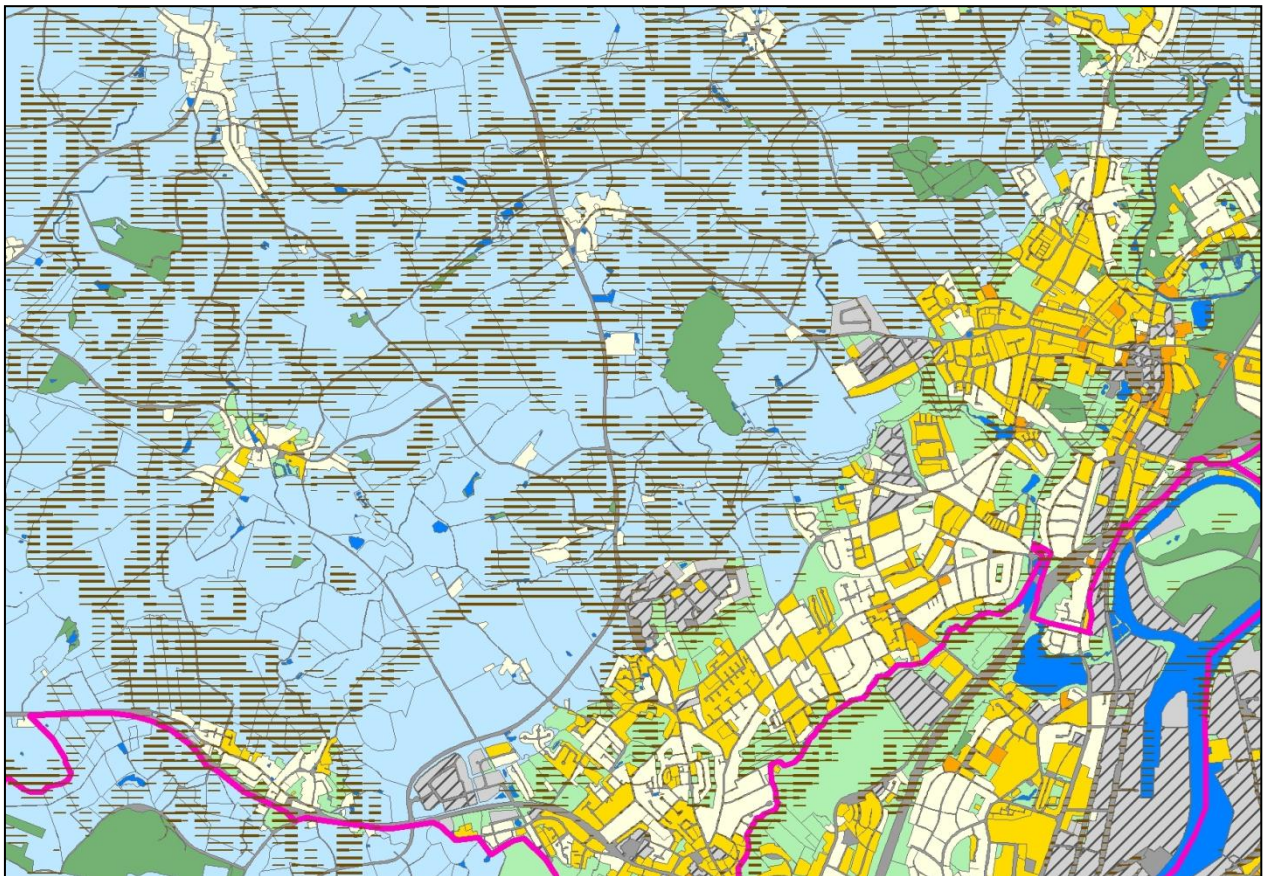


Abb. 5.1: Detailausschnitt Klimatopkarte Lübeck mit Reliefeinfluss
(Legende siehe Abb. 5.2)

Diese Darstellung kann allerdings nur annäherungsweise einen Überblick über die Reliefsituation im Untersuchungsraum geben. Die Neigungsrichtung der Flächen kann nicht dargestellt werden, so dass eine Aussage über die Fließrichtung möglicher Hangwinde nicht gemacht werden kann. Die Darstellung ermöglicht allerdings eine grundsätzliche Einschätzung welche Siedlungsgebiete

im Untersuchungsraum Lübeck möglicherweise von Hangwinden profitieren können, da sie angrenzenden an entsprechend geneigten Freiflächen liegen.

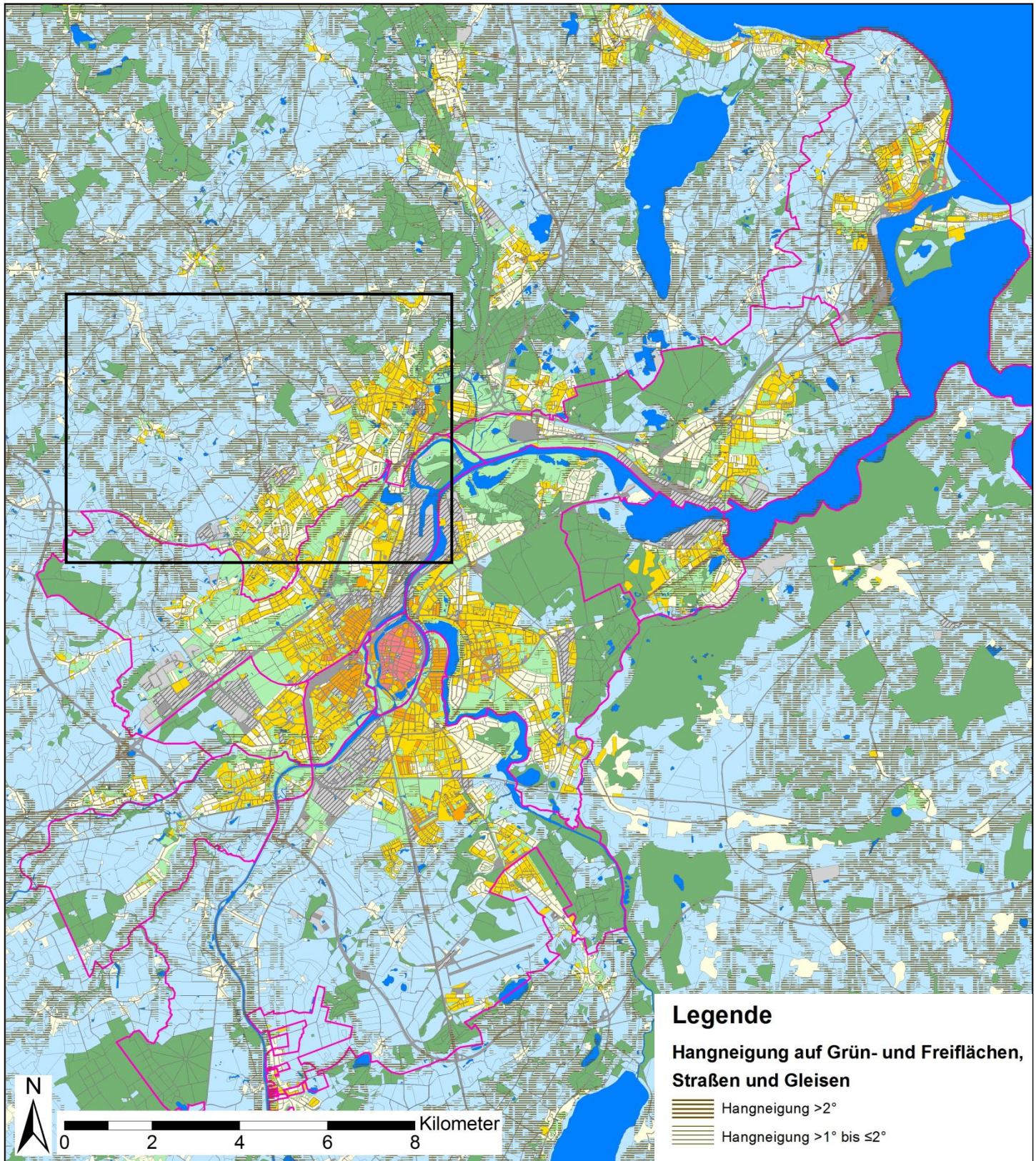


Abb. 5.2: Klimatopkarte Lübeck mit Reliefeinfluss

Es wird deutlich, dass vor allem im Nordwesten des Untersuchungsgebiets, aber auch im Süden größere Flächen mit einer Hangneigung von mehr als 1° vorhanden sind. Zudem sind die Niederungsbereiche zum Beispiel der Trave und des Elbe-Lübeck-Kanals mit größeren Hangneigungen zu erkennen. Im verdichteten Stadtgebiet Lübecks selbst sind der Höhenunterschied und damit auch die Hangneigung gering. Es ist anzunehmen, dass vor allem die in der Peripherie gelegeneren kleineren Ortschaften und die randlichen Gebiete der größeren Agglomerationen von Hangwinden profitieren können.

Im Rahmen der geplanten Klimaanalyse wird ein computergestütztes Strömungsmodell eingesetzt, das auch die thermisch induzierten Luftbewegungen mitberücksichtigt und so eine genauere Aussage zur Wirkung von Ausgleichsströmungen und Winden ermöglicht.

6. Zusammenfassung

Die Hansestadt Lübeck und das gesamte Untersuchungsgebiet lassen sich auf Grundlage der vorhandenen Informationen gut in Klimatope einordnen. Mit Hilfe der ALKIS-, ATKIS- und CORINE-Daten konnte eine belastbare Datengrundlage geschaffen werden, die sowohl die Basis für die Klimatopkarte bildet als auch als Eingangsparameter für die geplante Klimaanalyse dient. Unter Hinzunahme des Überbauungsgrads, des Versiegelungsgrads und der räumlichen Abgrenzung der Siedlungsbereiche konnten die Klimatope für das Untersuchungsgebiet ausgewiesen werden.

Das Ergebnis ist eine Klimatopkarte, mit deren Hilfe eine grundsätzliche räumliche Einordnung der Klimate in Lübeck und der Umgebung möglich ist. Lübecks Umland wird auf Grund großflächiger Ackerflächen vom Klimatop „Freilandklima“ dominiert. Die in diesem Gebiet eingebetteten Siedlungsgebiete weisen ein „Vorstadtklima“ auf. Im Verdichtungsraum Lübeck sind alle Klimatoptypen zu finden, wobei die Klimatope „Vorstadtklima“ und „Stadttrandklima“ dominieren. „Innenstadt“ und „Stadtklima“ konzentrieren sich auf den Altstadtbereich und die angrenzenden Gebiete. In hafennähe sind zudem großflächige Gebiete, die ein „Industrieklima“ aufweisen, vorhanden. Der Einfluss des Reliefs lässt sich mit Hilfe der vorhandenen Mittel nur grob abschätzen. Es ist allerdings anzunehmen, dass der Einfluss von Hang- oder Talwinden auf Grund des eher flachen Reliefs im Untersuchungsgebiet nur gering ist und keine entscheidende Rolle für das Stadtklima Lübecks spielt.

Literatur

DWD – Deutscher Wetterdienst (2012): Klimadaten- online, www.dwd.de.

EEA – European Environment Agency (2012): Fast Track Service Precursor (FTSP) on Land Monitoring. Degree of soil sealing.

EUROPEAN COMMISSION (1994): EUR 12585 - CORINE Landcover project - Technical guide. Office for official publications of the European Communities. Luxembourg.

FACHHOCHSCHULE LÜBECK: Wetterseite der FH-Lübeck, wetter.fh-luebeck.de

HANSESTADT LÜBECK (2013), (Hrsg.): Thematischer Landschaftsplan, Klimawandel in Lübeck, Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen für die Landnutzung (Entwurf), Hansestadt Lübeck.

NATIONAL GEOSPATIAL INTELLIGENCE AGENCY (2004): Digital Terrain Elevation Data.

VDI (2003): Richtlinie VDI 3787 Blatt 5 Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI (2004): Richtlinie VDI 3787 Blatt 9 Umweltmeteorologie – Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in der räumlichen Planung. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI (2008a): Richtlinie VDI 3787 Blatt 2. Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima. VDI Verein Deutscher Ingenieure Düsseldorf.

VDI (2008b): Richtlinie VDI 3785, Blatt 1, Umweltmeteorologie – Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI (2014): Richtlinie VDI 3787 Blatt 1. Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Entwurf Februar 2014. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.