

Abgrenzung und Intensität der urbanen Hitzeinsel und der Überwärmungsgebiete

**Zustand und Perspektive für Bielefeld
hergeleitet aus Infrarot-Satellitenaufnahmen
und numerischen Extrapolationen bis 2100**

**Dr. Rudolf Böttner
Dr. Ing. Reinhard Fischer
Diplom. Met. Detlef Kuhr**

Bielefeld 2000plus – Forschungsprojekte zur Region

Herausgegeben von: Prof. Dr. Joachim Frohn
(Universität Bielefeld, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften)
Karsten Gebhardt
(Vorstandsmitglied Bielefelder Konsens: Pro Bielefeld e.V.)
Prof. Dr. Reinhold Decker
(Universität Bielefeld, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften)

**Diskussionspapier Nr. 55
Oktober 2012**

Abgrenzung und Intensität der urbanen Hitzeinsel und der Überwärmungsgebiete

**Zustand und Perspektive für Bielefeld
hergeleitet aus Infrarot-Satellitenaufnahmen
und numerischen Extrapolationen bis 2100**

**Dr. Rudolf Böttner
Dr. Ing. Reinhard Fischer
Diplom. Met. Detlef Kuhr**

Bielefeld 2000plus – Forschungsprojekte zur Region

Herausgegeben von: Prof. Dr. Joachim Frohn
(Universität Bielefeld, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften)
Karsten Gebhardt
(Vorstandsmitglied Bielefelder Konsens: Pro Bielefeld e.V.)
Prof. Dr. Reinhold Decker
(Universität Bielefeld, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften)

Diskussionspapier Nr. 55 Oktober 2012

Kontakt: Bielefeld 2000plus
Geschäftsstelle
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
Universität Bielefeld
Universitätsstr. 25
33615 Bielefeld
Tel.: 106 - 48 74
Fax: 106 - 64 25
Email: bi2000plus@wiwi.uni-bielefeld.de
www.uni-bielefeld.de/bi2000plus

VORWORT

In dieser Reihe werden in zwangloser Folge Projektberichte publiziert, die entweder in einem engen regionalen Bezug zu Bielefeld stehen oder aber regionenübergreifende zukunftsweisende Themen ansprechen.

Diese Veröffentlichungen sind Teil der langfristig angelegten Initiative „Bielefeld 2000plus – Forschungsprojekte zur Region“, die sich mit den Zukunftsperspektiven der Region beschäftigt und gemeinsam von der Universität Bielefeld und von der Stadt Bielefeld getragen wird. Im Herbst 1997 sind hierfür mehrere Arbeitsgruppen für die Bereiche Wirtschaft, Stadtentwicklung, Umwelt, Kultur, Bildung, Wissenschaft und Gesundheit eingerichtet worden, in denen Wissenschaftler der Universität Bielefeld gemeinsam mit Vertretern verschiedener Institutionen und Organisationen der Stadt Bielefeld Fragestellungen bearbeiten, die die Zukunftsfähigkeit der Region betreffen.

Wir danken allen, die die Initiative unterstützt und die Herausgabe dieser Diskussionsarbeitsreihe finanziell gefördert haben.

Bielefeld, Oktober 2002

Prof. Dr. J. Frohn (Universität Bielefeld)

K. Gebhardt (Bielefelder Konsens: Pro Bielefeld e.V.)

Prof. Dr. R. Decker (Universität Bielefeld)



Abgrenzung und Intensität der urbanen Hitzeinsel und der Überwärmungsgebiete

Zustand und Perspektive für Bielefeld
hergeleitet aus Infrarot-Satellitenaufnahmen
und numerischen Extrapolationen bis 2100

Stadtklima Bielefeld

Gesellschaft zur Förderung des Forschungs-
und Technologietransfers in der
Universität Bielefeld

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Vorbemerkungen	1
2 Klimaprojektionen für Bielefeld Ansätze zum Downscaling aus regionalen Modellrechnungen für das Jahr 2100	5
3 Ableitung der Struktur der Bielefelder Hitzeinsel und der Überwärmungsgebiete aufgrund von Messungen der Lufttemperatur	12
4 Darstellung der innerstädtischen Hitzeinsel und der Überwärmungsgebiete aus Satellitenaufnahmen der Jahre 1991, 2001 und 2010	20
4.1 Aufbereitung der Ausgangsdaten	20
4.2 Klassifizierung der Erwärmung	21
4.3 Gegenüberstellung der Thermalkarten	22
5 Differenzierung der Erwärmungspotentiale auf der Grundlage ihrer Realnutzung	30
6 Die Temperaturentwicklung in Bielefeld, Berechnungen aus Analogieüberlegungen	35
7 Urbane Hitzeinsel sowie Überwärmungsgebiete: Ergebnisse und Entwicklung bis zum Jahr 2100	40
7.1 Numerische Perspektiven des Erwärmungstrends	40
7.2 Kartografische Abgrenzungen der Überwärmungsgebiete in der Tag- und Nachtsituation	43
8 Beispielhafte Vorschläge für Klimaanpassungsmaßnahmen	45
9 Literaturangaben	51
 <u>Anhang</u>	
A Methodik der Thermalkartierung Bielefelds aus der Bearbeitung von Satellitenbildern	53
A.1 Spezifitäten der benutzten Satellitendaten von Landsat 5, Landsat 7 und ASTER Missionen	55
A.2 Datenbasis der für Bielefeld verfügbaren Aufnahmen	57
A.3 Wetterverhältnisse an den Aufnahmezeitpunkten	59
A.4 Karte der urbanen Hitzeinsel und Überwärmungsgebiete, Tagsituation	65
A.5 Karte der urbanen Hitzeinsel und Überwärmungsgebiete, Nachtsituation	66

Bearbeitung

Rudolf Böttner, Dr.
Reinhard Fischer, Dr.Ing.
Detlef Kuhr, Dipl.Met

1. Vorbemerkungen

Die stadtklimatische Situation der Stadt Bielefeld zeichnet sich durch einen größeren Anteil hoch klimawirksamer Frei- und Grünflächen (Landschaftsbereiche, Teutoburger Wald, innerstädtisches Grünsystem) aus. Hieraus resultiert der ebenfalls deutliche Anteil stadtklimatisch begünstigter Wohngebiete in den Außenbereichen der Stadt, demgegenüber weisen die Kernstadtbereiche klar dokumentierbare stadtklimatische Nachteile auf.

Ein herausragendes Element ist die ‚urbane Hitzeinsel‘, die für Bielefeld in einer gesamtstädtischen Klimaanalyse schon 1995 aufwändig vermessen und beschrieben wurde. Grundsätzlich wird sie erzeugt indem eine starke Aufwärmung tagsüber einer nur eingeschränkten Abkühlung nachts gegenübersteht. Dadurch bleiben die innerstädtischen Stadtstrukturen im Vergleich zum Umland deutlich wärmer.

Im Einzelnen wird dies hervorgerufen durch die Geometrie der Bebauung, die zu einer Vergrößerung der Oberfläche führt, auf der Sonnenstrahlung absorbiert werden kann. Besonders bei austauscharmen Wetterlagen entsteht eine starke Aufheizung der Baukörper. Im Gegensatz zu unbebauten Flächen wirken bebaute Flächen wie ein Wärmespeicher. Der Boden unbebauter Flächen heizt sich wegen der Beschattung durch die Vegetation und deren Verdunstungsleistung weniger stark auf. Ein hoher Versiegelungsgrad und eine starke dreidimensionale Strukturierung, vor allem der Kernstadt, führen zu einer erhöhten Umwandlung von Strahlungsenergie in Wärme. Aufgrund der Baumaterialien mit hoher spezifischer Wärmekapazität wirkt der städtische Baukörper als großer Wärmespeicher, der bis zu 40 % mehr Wärme speichern kann als das Umland. Zusätzlich liegt hier der Schwerpunkt der anthropogenen Wärmeproduktion durch Industrieanlagen, Verkehr und Klimatisierungen (unterschiedliche Wärme- und Strahlungsbilanzen, Siehe Kap. 5). Zusätzlich wird die nächtliche Abstrahlung der Wärme durch die Einengung des Horizonts in Straßenschluchten vermindert. Es treten Mehrfachreflexionen an den Häuserwänden auf. Die Luftzirkulation und der Zustrom bzw. das Einsickern von kühlerer Luft aus dem Umland oder aus größeren Grünflächen wird außerdem durch die Bebauung eingeschränkt. Verhindert wird die Abkühlung ferner durch eine die Abstrahlung von Wärme dämpfende erhöhte Partikelkonzentration, sowie die eingeschränkte wärmeverbrauchende Verdunstung.

Die nicht mehr zu bestreitende Klimaänderung wird auch in Bielefeld zu einer Zunahme der durchschnittlichen, aber auch der extremen Temperaturen führen. Der sich hierdurch stärker ausprägende städtische Wärmeinseleffekt wird sich verstärken und der thermische Komfort deutlicher belastende Elemente aufweisen, so dass nun von urbanen Überwärmungsgebieten und Hitzeinseln ausgegangen wird. Die gesundheitlichen Aspekte erlangen auch vor dem Hintergrund einer mehr und mehr alternden Bevölkerung eine besondere Bedeutung. Ein solcher Klimawandel ist durch sogenannte Klimaschutzmaßnahmen bestenfalls stabilisierbar, so man sich nun der sich unvermeidbar verändernden Situation anpassen muss - auch durch stadtplanerische und städtebauliche Maßnahmen.

Die Stadtklimatologie erhält vor diesem Hintergrund weiter wachsende Bedeutung. Es bleibt offen, ob die Stadtklimatologie umsetzbare und hinreichende Lösungen für die im Zusammenhang mit dem Klimawandel und der Stadtplanung anfallenden Probleme anbieten kann, die allgemein als Klimaanpassungsmaßnahmen beschrieben werden. Positive Beispiele sind:

- klimaoptimierte Verdichtung im Rahmen von Innenstadtentwicklungen, Auswirkung auf das Mikroklima können hierbei in Einzelfällen in Modellrechnungen abgeschätzt werden. Diese Quantifizierungen helfen, einen Kompromiss im Zielkonflikt zwischen der flächen-, verkehrs- und energiesparenden Bebauung innerstädtischer Freiflächen und der Verstärkung des Wärmeinseleffektes zu finden.
- Sicherung der Klimafunktionsfähigkeit von Frischluftschneisen und innerstädtischer Grünzüge durch Festlegung von Bebauungsgrenzen.
- Aufrechterhaltung ausreichender Freiflächen für den Luftaustausch durch Verhinderung von Zersiedlung durch Bebauungsgrenzen.
- Begrünung von Straßenzügen und Offenlegung von Wasserflächen, die sich durch Beschattung und Erhöhung der Verdunstungsleistung positiv auf die Abkühlung auswirken können.
- Dach- und Fassadenbegrünungen können in bestimmten Situationen positive Isolierungseffekte auslösen und ein angenehmes Wohnklima begünstigen
- zunehmende Berücksichtigung des sich verstärkenden Hitzestresses im innerstädtischen Gebäudedesign durch Verwendung heller Baumaterialien, geeigneter Gebäudeausrichtung und Verschattungselementen, die eine angemessene

Reaktion auf die vorhandene Wärmebelastung darstellen und einen Beitrag zur Begrenzung des Wärmeinseleffekts leisten können.

In den konkreten Ergebnissen dokumentiert der Stadtklimabericht Bielefeld 1995 die Eigenschaften und Abgrenzungen der differenzierten Stadtklimate aufgrund umfangreicher stationärer und mobiler Messungen, die in der folgenden Zusammenfassung kurz dargestellt sind.

Gebiete mit der Zuordnung ‚Stadtkernklimatop‘

- Temperaturdifferenzen zu Freilandklimatopen bei Messfahrten [zwischen 2:00 und 4:00 Uhr] von 6°C bis 9°C
- durchschnittlich geringere Abkühlung gegenüber dem Stadtklimatop von 1,5°C und dem Umland von 3,5°C.

Gebiete mit der Zuordnung ‚Stadtklimatop‘

- Messfahrten bei autochtonen Wetterlagen ergeben Temperaturdifferenzen zum Umland zwischen 4°C bis 6°C
- durchschnittlich geringere nächtliche Abkühlung zum Umland von 1°C bis 2°C

Diese Eigenschaften wurden noch nicht im Zusammenhang mit dem globalen Klimawandel diskutiert, der zu diesem Zeitpunkt noch nicht mit hoher Zuverlässigkeit prognostiziert werden konnte. Die Entwicklung der Temperaturen in der Region Bielefeld zeigt die Abb.1-1. Die Zeitreihe von 1995 bis 2009 weist einen deutlich ansteigenden Trend bei der positiven Abweichung von der Durchschnittstemperatur auf. Diese Entwicklung hat sich auch im gesamten Stadtklima bemerkbar gemacht und insbesondere die Differenzen in den klimatischen Eigenschaften verstärkt.

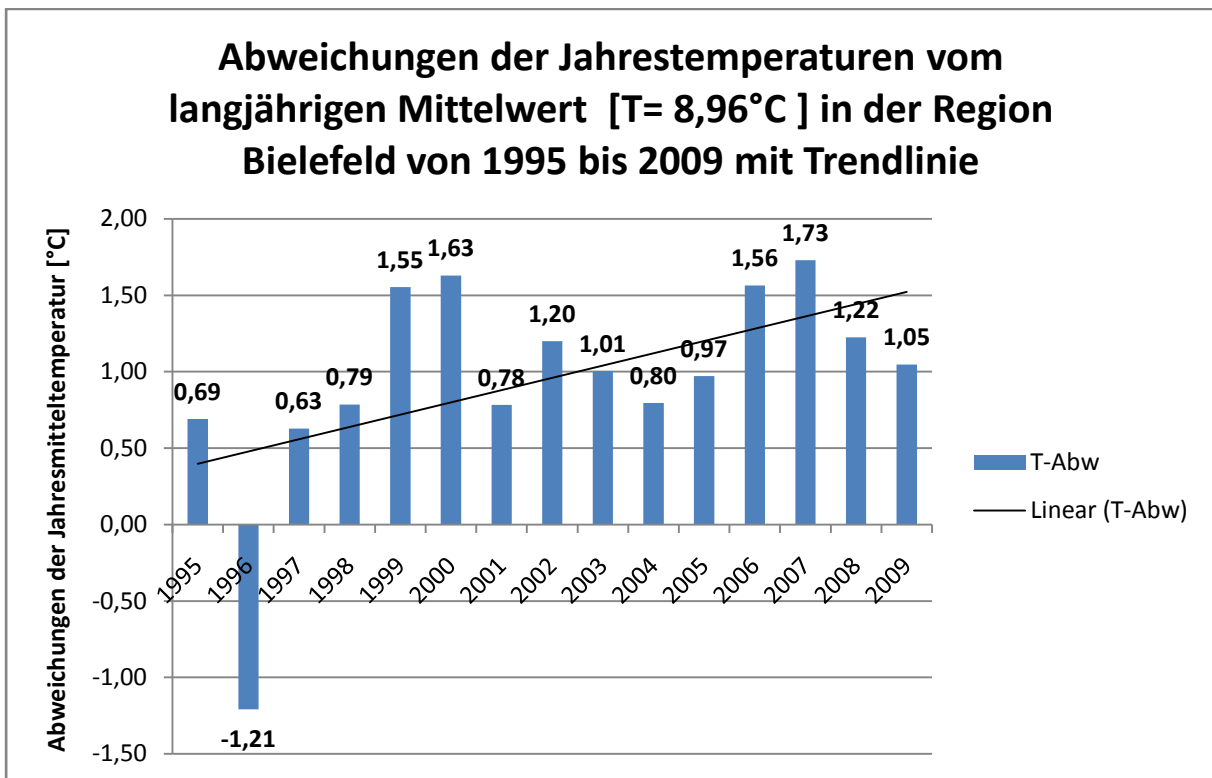


Abb. 1-1: Trend der Erwärmung in der Region Bielefeld

Nimmt man diese Entwicklung auf und versucht mit Hilfe von Rechenmodellen prognostische Aussagen zum Klima des Jahres 2100 herzuleiten, zeigen die Veränderungen bei den klimatologischen Kenntagen die zu erwartende Zunahme an belastenden Hitzeepisoden (Tab.1-1, Näheres in den jährlichen Witterungsberichten)

Klimatologische Kenntage	Eistage	Frosttage	Sommertage	Heiße Tage	Tropennächte
Messdaten 2004-2008 Bielefeld	10,6	68,6	39,4	9,8	0,8
Szenario 2091-2100 Bielefeld	6,3	29,2	59,9	17,5	1,4

Tab.1-1: Ergebnisse einer Klimasimulation als Veränderungen klimatologischer Kenntage
 [Definition der Kenntage: Eistage ($T_{max} < 0,0^{\circ}C$), Frosttage ($T_{min} < 0,0^{\circ}C$), Sommertage ($T_{max} > 25,0^{\circ}C$), Heiße Tage ($T_{max} > 30,0^{\circ}C$) Tropennächte ($T_{min} > 20,0^{\circ}C$)]

Die für die stadtplanerische Umsetzung von Klimaanpassungsstrategien erforderliche räumliche Abgrenzung von ‚urbaner Hitzeinsel‘ und ‚Überwärmungsgebieten‘ versucht der Bericht in neuartiger Weise – als eine Art Grobscreening – die künftige Entwicklung der Struktur und der Intensität von überwärmten innerstädtischen Bereichen mit Hilfe von Daten aus Profilmessfahrten, Messnetzauswertungen und

der Interpretation von Infrarot-Satellitenbildern zu erfassen. Da es dazu keine standardisierten und normierten Verfahren der Einordnung solcher Elemente des Stadtklimas gibt, sind vergleichende Bewertungen zur Abgrenzung von Wärmeinseln vorzunehmen. (VDI 3785, Blatt1).

Als weitere Perspektive könnte sich für die durch Planungen beeinflussbaren besonders wärmebelasteten Gebiete eine mikroskalige Analyse verschiedener Bebauungsplanvarianten mit ihren thermischen Konsequenzen aufgrund von Modellrechnungen anschließen.

Fazit:

Sowohl die konkreten Messdaten für Bielefeld und die Region als auch die Klimasimulationen aufgrund überregionaler Entwicklungen weisen auf einen zunehmenden, lokal stärker differenzierenden Klimawandel hin. Als Planungsgrundlage für den vorsorgenden Umweltschutz werden im Bericht Abgrenzungen für besonders belastete Gebiete erzeugt.

- *Eingrenzung und Entwicklung der Wärmeinselstrukturen, dargestellt aufgrund der multitemporalen, dekadischen Analyse von Landsat-Satellitenspektraldaten*
- *Ableitung potentieller, realnutzungsabhängiger Erwärmungsfaktoren aus Analogieuntersuchungen von Klimaszenarien*
- *Projektionen für die Ausprägungen der urbanen Hitzeinsel Bielefelds bis zum Jahr 2100*

2 Klimaprojektionen für Bielefeld

Ansätze zum Downscaling aus regionalen Modellrechnungen für das Jahr 2100

Um künftige Klimate beschreiben zu können werden zunächst umfassende, globale Zirkulationsmodelle eingesetzt. In diese Modelle gehen ein die Daten der wichtigsten klimarelevanten physikalischen Vorgänge in der Erdatmosphäre, den Ozeanen und auf der Erdoberfläche. Um eine größtmögliche Genauigkeit zu erzielen, werden die globalen Zirkulationsmodelle häufig noch mit einem Ozeanmodell, einem Schnee- und Eismodell und einem Vegetationsmodell gekoppelt um die zahlreiche Wechselwirkungen im Klimasystem besser abbilden zu können. Allerdings sind diese Modelle

so komplex, dass sie derzeit nur mit einer typischen horizontalen Auflösung von 150 x 150 km gerechnet werden können. Zur Verifikation der Modelle wird damit das Klima der vergangenen Jahrzehnte berechnet und mit den vorhandenen Messwerten verglichen. Zentrales Anliegen ist natürlich dabei, Aussagen über das sich verändernde Klima im 21. Jahrhundert zu gewinnen.

Um das Klima des 21. Jahrhunderts zu simulieren, werden u.a. Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Weltbevölkerung und der Treibhausgasemissionen gemacht. Diese hängen von ökonomischen, demographischen, technologischen und politischen Parametern ab, die per se nicht exakt vorhersagbar sind. Daher wurden vom Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 40 mögliche Zukunftsszenarien entwickelt, die den Hauptgruppen B1, B2, A1 und A2 zugeordnet werden. Einen ungefähren Überblick gibt die Abbildung 2-1.

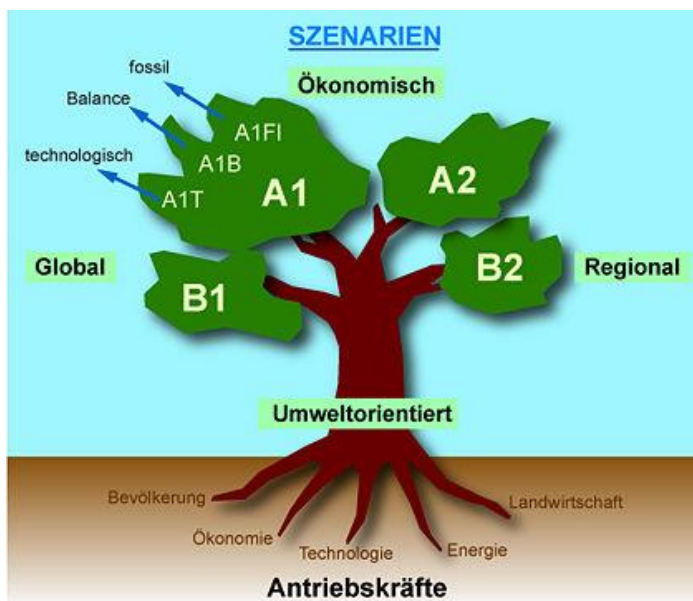


Abb.2-1:
Die Emissions-Szenarien des
IPCC-Sonderberichtes

Die Klimaszenarien sind jedoch keine Prognosen, sondern beschreiben lediglich eine mögliche Entwicklung des zukünftigen Klimas. Das in dieser Arbeit genutzte A1B-Szenario beschreibt einen Anstieg der Weltbevölkerung bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts mit sehr raschem Wirtschaftswachstum. Gleichzeitig kommt es aber auch zu einer schnellen Einführung sauberer und effizienter Technologien. Die auf diesen Annahmen basierenden zukünftigen anthropogenen Treibhausgasemissionen gehen als Randbedingungen in das globale Klimamodell mit ein. Je nach verwendetem Szenario ändert sich ebenfalls die Spannweite zukünftiger Klimaänderungen basierend auf der Annahme der weltweiten Treibhausgasemission.

Treibhausgase, wie z.B. CO₂ und Methan beeinflussen unterschiedlich stark die Energiebilanz der Erde, d.h. den Strahlungsantrieb. Die unterschiedliche Verweildauer verschiedener Treibhausgase in der Atmosphäre und somit ihr Beitrag zum Treibhauseffekt, wird in Form von CO₂-Äquivalenten dargestellt. Da z.B. 1 kg Methan jedoch 25 Mal stärker zum Treibhauseffekt beiträgt als 1 kg CO₂ wird der Beitrag des Methans mit dem Faktor 25 multipliziert. Üblicherweise wird diese Maßzahl über einen Zeitraum von 100 Jahren angegeben.

Im Szenario A1B wird bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts nahezu eine Verdopplung der weltweiten Treibhausgasemission von 40 GTCO₂-Äquivalent auf 75 GTCO₂-Äquivalent projiziert. Diese ist danach leicht rückläufig und liegt zum Ende des 21. Jahrhunderts bei 60 GTCO₂-Äquivalent.

Die Temperatur steigt im A1B-Szenario jedoch bis zum Ende des 21. Jahrhunderts kontinuierlich an. Im globalen Mittel wird eine Zunahme um 2.8°C projiziert mit einer Schwankungsbreite zwischen 1.8°C und 4.4°C. Da das Szenario A1B aber nur eine mögliche Entwicklung darstellt, gehen somit die Bevölkerungsentwicklung, die Entwicklung der globalen und der regionalen Wirtschaft und die daraus hervorgehende Treibhausgasemission als Unsicherheitsfaktoren in die globalen Klimasimulationsergebnisse mit ein. Allen Szenarien gemein ist jedoch der kontinuierliche Anstieg der Temperatur im 21. Jahrhundert, auch wenn die Treibhausgasemissionen je nach Szenario mehr oder weniger stark zurückgehen.

Weitere Unsicherheitsfaktoren, die den globalen Strahlungsantrieb beeinflussen sind z.B. die Veränderung der Solarkonstante, Rückkopplungen durch Wolken, die Langzeitwirkung von Aerosolen sowie die Veränderung der Oberflächenalbedo durch Landnutzungsänderungen. In den Klimasimulationen wird die Änderung der Landnutzung und die sich daraus ergebenden regionalen Klimaänderungen nicht mit einbezogen.

Die Auflösung der globalen Klimamodelle ist jedoch für regionale Fragestellungen viel zu groß, so dass in einem zweiten Schritt ein regionales Klimamodell verwendet wird um die Klimafolgen besser abschätzen zu können. Die Randbedingungen für das regionale Modell liefert das globale Klimamodell. Gleichzeitig werden aber auch die bereits erwähnten Unsicherheiten der globalen Klimamodelle an das Regionalmodell weitergegeben. In Deutschland werden die 4 großen regionalen Klimamodelle CLM, REMO, WETTREG und STAR mit dem Globalmodell ECHAM5 angetrieben. Grundsätzlich stehen zwei Regionalisierungsansätze zur Verfügung. Die dynami-

schen Modelle repräsentieren die Dynamik der physikalischen und chemischen Prozesse in der Atmosphäre. Die Randbedingungen liefert das globale Zirkulationsmodell. Statistische Regionalisierungsverfahren stellen eine Beziehung zwischen großskaligen und regionalen Klimaparametern her. Diese werden aus langjährigen Messreihen der Klimastationen abgeleitet.

Der Modellvergleich zwischen den dynamischen regionalen Klimamodellen CLM und REMO und den statistischen Regionalmodellen WETTREG und STAR (Abb.2) zeigt die Projektionen der 4 regionalen Klimamodelle für die Jahresmitteltemperatur. Als Referenzzeitraum dient die Periode 1971-2000. In der oberen Zeile ist das Temperaturänderungssignal 2021-2050 im Vergleich zum Referenzzeitraum aufgetragen. CLM und REMO zeigen einen ähnlichen Temperaturanstieg um 0.5 bis 1 °C. Auch WETTREG zeigt die gleiche Tendenz, wenngleich die Änderung nicht ganz so stark ausfällt. Bei STAR wird der größte Temperaturanstieg von 1.5-2 °C berechnet. Für den Zeitraum 2071-2100 im Vergleich zu 1971-2000 werden von den statistisch-dynamischen Modellen CLM und REMO Temperaturerhöhungen um 3-3.5 °C projiziert, wobei beim statistischen Verfahren WETTREG der Anstieg mit 2-2.5 °C geringer ausfällt.

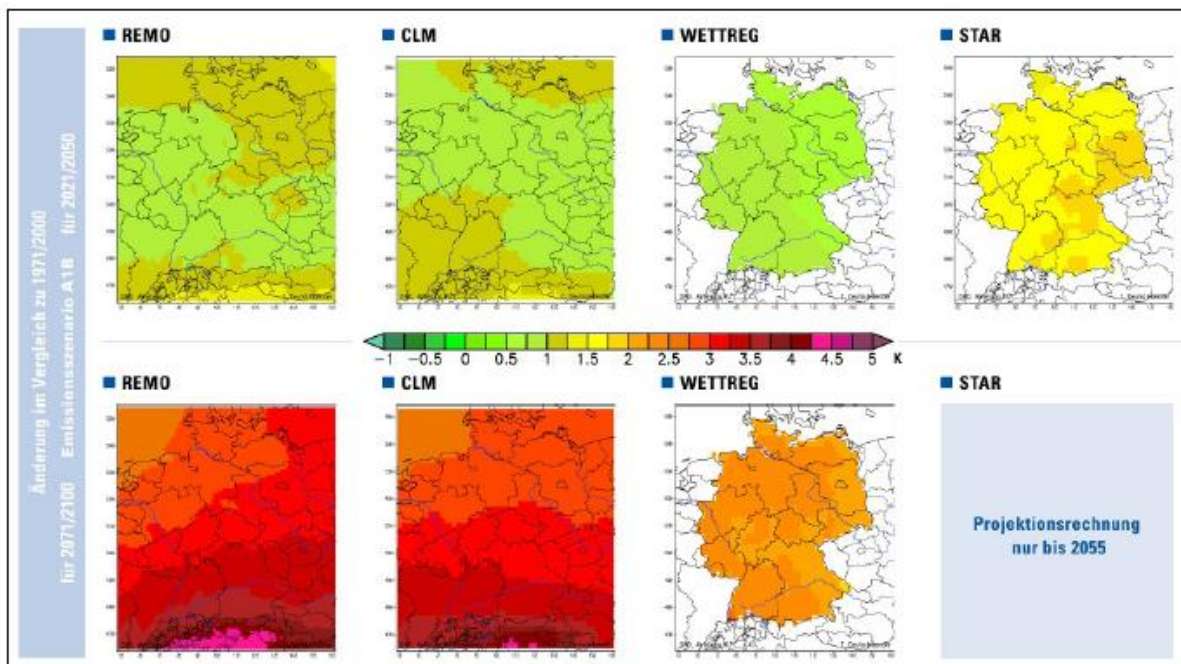


Abb. 2-2: Modellvergleich für die Jahresmitteltemperatur (SGA, 2007). Die obere Reihe zeigt die Änderung der Jahresmitteltemperatur für den Zeitraum 2021-2050 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971-2000. Die untere Reihe zeigt die Simulationsergebnisse für den Zeitraum 2071-2100 im Vergleich zu 1971-2000. (nach M.Saurer)

Die Betrachtung aller Realisierungen eines Szenarios ermöglicht es jedoch, den möglichen Schwankungsbereich der Klimasimulationsergebnisse zu quantifizieren und in planungsrelevante Prozesse zu integrieren. Durch das Downscaling mit den regionalen Modellen wird eine Auflösung von ca. 10 X 10 km erreicht, so dass sich hinreichend genaue Ergebnisse für das Jahresmittel der Temperatur in der Metropolregion Hannover-Braunschweig-Göttingen darstellen lassen (Abb.2-3).

Die Daten der Jahre von 1960 bis 2000 sind keine Messwerte, sondern Rückwärts-trajektorien durch die eine Verifikation der Modelle ermöglicht werden soll. Dies gilt ebenso für die Tab.2-1 mit den Szenarien C20_1, C20_2 und C20_3.

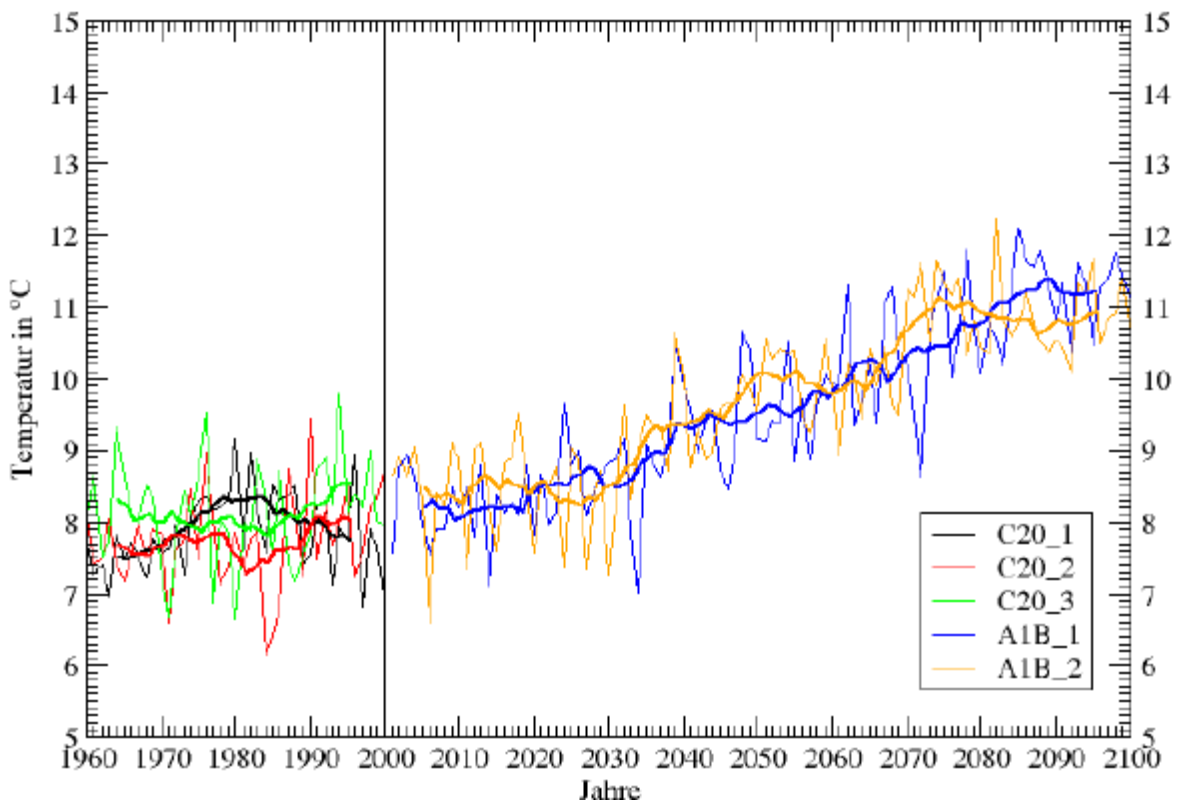


Abb. 2-3: Das Jahresmittel der Temperatur in der Metropolregion Hannover-Braunschweig-Göttingen, simuliert mit CLM. Die dickeren Linien zeigen das 10-jährige gleitende Mittel.

Die Abbildung verdeutlicht, dass sich bereits bei minimalem Verschieben der Anfangsbedingungen ein anderer zeitlicher Temperaturverlauf ergibt. Für die Temperatur ergeben sich beispielsweise für die 30-jährigen Mittelungszeiträume 1961-1990, 2021-2050 und 2071-2100 folgende Werte, wie sie in Tabelle 2-1 aufgeführt sind.

Zeitraum / Szenario	C20_1	C20_2	C20_3	A1B_1	A1B_2
1961-1990	7.9°C	7.64°C	8°C	---	---
2021-2050	---	---	---	8.96°C	8.98°C
2071-2100	---	---	---	10.95°C	10.91°C

Tab.2-1: Die mittlere Jahrestemperatur in der Metropolregion Hannover- Braunschweig-Göttingen für die verschiedenen Realisierungen des C20-Laufs für 1961-1990 und die 2 Realisierungen des A1B-Szenarios für die Zeiträume 2021-2050 und 2071-2100.

Häufigkeit einzelner Kenntage in Hannover

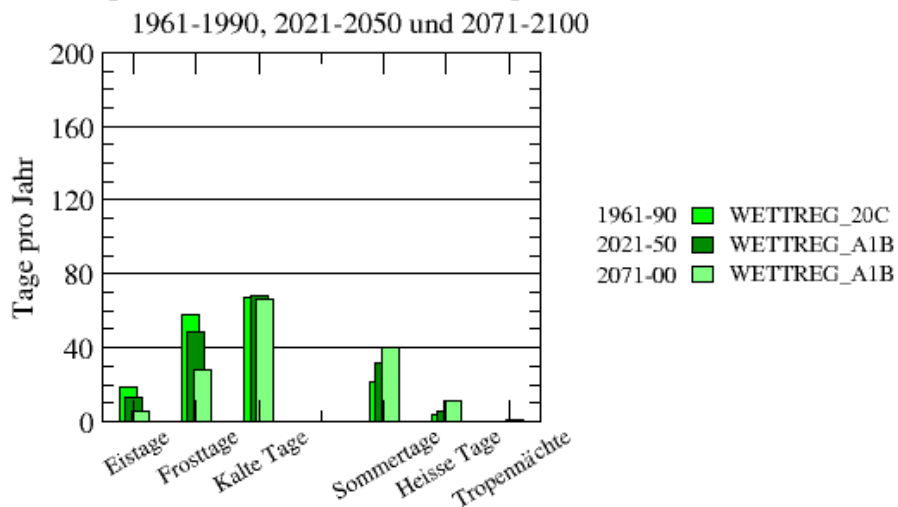


Abb.2-4: Die Änderung der Häufigkeit klimatologischer Kenntage bei verschiedenen WETTREG Szenarien (nach M.Sauer)

Eine gute Möglichkeit, um zu einem schnellen Überblick über die Klimaentwicklung zu kommen, besteht in einem Vergleich temperaturbezogener Kenntage. Das sind Tage, an denen bestimmte Temperaturen über- oder unterschritten werden. Diese Tage werden für feste Zeiträume, meistens Jahre oder Monate, gezählt. Eine Zu- oder Abnahme der Anzahl von Zeitraum zu Zeitraum gibt dann übersichtlich Auskunft über Änderungen des Temperaturverhaltens. [Definitionen siehe Tab 1-1]

In Abb.2-4 sind für Hannover die Zahlen diverser Kenntage pro Jahr dargestellt. Dem 30-jährigen Referenzzeitraum von 1961-1990 sind ebenfalls 30-jährige zukünftige Zeiträume gegenübergestellt, einmal 2021-2050 und ein weiterer Zeitraum von 2071-2100. Die Zu- bzw. Abnahme dieser temperaturbezogenen Kenntage pro Jahr ist gut erkennbar.

Station	Eistage	Frosttage	Sommertage	Heiße Tage
Hannover				
Messdaten 1981-1990	15,0	78,3	26,1	4,0
2091-2100 Szenarium A1B	-11,6	-47,5	+25,9	+6,6
Gütersloh				
Messdaten 1981-1990	11,4	63,8	29,8	6,0
2091-2100 Szenarium A1B	-8,1	-39,2	+25,9	+9,3
Dortmund				
Messdaten 1981-1990	10,0	56,3	28,5	3,6
2091-2100 Szenarium A1B	-7,6	-36,5	+25,6	+8,5

Tab.2-2: Änderungen der Häufigkeit meteorologischer Kenntage
Gegenüberstellung von Messdaten mit Simulationsergebnissen

Ebenfalls mit dem Modell WETTREG wurden für mehrere Orte in Deutschland die Änderungen dieser Kenntage für den Zeitraum 2091-2100 im jährlichen Durchschnitt hochgerechnet. In Tab. 2-2 sind die Ergebnisse für die zu Bielefeld nächstliegenden Orte aufgeführt worden. Da für Bielefeld keine explizite Modellrechnung durchgeführt wurde, könnte man versucht sein, diese Daten durch einfache Mittelwertbildung zu erhalten. Aber vergleichende Untersuchungen von gemessenen Datenreihen führten zu der Erkenntnis, dass eine Übertragung dieser Zahlen auf Bielefeld durch ein solches Verfahren (Hannover: kontinentaleres Klima – Dortmund: maritimeres Klima) nicht sinnvoll ist, da hierbei die besondere klimatologische Situation Bielefelds nicht berücksichtigt wird. Die offenkundigen Unterschiede in den naturräumlichen Gegebenheiten mit ihren relevanten Einflüssen auf das Temperaturverhalten führen zu einer deutlichen Abweichung der Kennzahltag gegenüber den Resultaten aus einer reinen numerischen Mittelung (näheres hierzu in Kap.5).

Fazit:

Bei aller Unsicherheit künftiger Entwicklungen und der Vielzahl zu berücksichtigender Parameter gehen alle oben genannten Modelle von einer mittleren Temperaturerhöhung von 2°C bis 4°C bis zur Jahrhundertwende aus, die sich auch in regional differierenden Änderungen von klimatologischen Kenntagen äußert.

3 Ableitung der Struktur der urbanen Hitzeinsel und der Überwärmungsgebiete aufgrund von Messungen der Lufttemperaturen

Das bekannteste Teilphänomen des Stadtklimas, die städtische Hitzeinsel, zeichnet sich durch lokale Temperaturabweichungen gegenüber dem Umland um mehrere Grad Celsius aus. Dieser Effekt ist als „Urban Heat Island“ (UHI) bekannt und wurde in der Literatur eingehend beschrieben und diskutiert. Gründe für die UHI sind die verringerte effektive Ausstrahlung, erhöhte Wärmespeicherfähigkeit der Baumaterialien und die verhältnismäßig geringe Evapotranspiration. Die UHI kann die thermische Belastung für Stadtbewohner in den Sommermonaten erheblich verstärken. Es zeigt sich, dass die allgemeine Lufttemperatur ein nur wenig zu beeinflussendes thermisches Niveau vorgibt. Lokal wird die thermische Belastung jedoch wesentlich durch die Strahlungsflüsse und die daraus resultierende mittlere Strahlungstemperatur bestimmt, welche sich gut durch städtebauliche Maßnahmen beeinflussen lässt. Eine ungefähre Abschätzungsmethode ermöglicht das Ausmaß der Erwärmung einer Hitzeinsel gegenüber dem Umland aus wenigen Parametern zu berechnen. Eine Grundlage sind spezielle Klimadatensätze, die als Testreferenzjahre TRY bezeichnet und von Mess- und Beobachtungsreihen von DWD-Stationen abgeleitet werden. Die empirische Beziehung für die Hitzeinselintensität UHI beinhaltet verfügbare Parameter wie Stadtgröße (Einwohnerzahl – **E_w**) und Witterungsbedingungen (Wolkenbedeckung **N** und Windgeschwindigkeit **v**). Vergleiche mit gemessenen Temperaturwerten haben gezeigt, dass mit dieser Methode realistische Werte erhalten werden.

$$UHI = f(v) f(N) UHI_{max}(E_w)$$

Wendet man diese Formel auf eine Stadt mit 300.000 Einwohnern an, ergibt sich eine maximale Hitzeinselintensität (in Temperatur-Grad) von ca. 8 K bei Wolkenlosigkeit und Windstille. Dieser Wert ist in Bielefeld auch häufig gemessen worden (Tab.3-1). Bei Wetterlagen mit einer Wolkenbedeckung und Windgeschwindigkeit von ca. 5m/s beträgt die UHI ca.2°C. (Wienert et al)

Die Wärmeinselstrukturen für Bielefeld wurden messtechnisch mit zwei verschiedenen Verfahren nachgewiesen.

A. kontinuierliche Temperaturmessungen während nächtlicher Messfahrten bei autochtonen Wetterlagen, wie z.B. Messfahrt 4 (Abb.3-2, Stieghorst) und Messfahrt 14 (Abb.3-1, City). Es ergaben sich dabei maximale Temperaturdifferenzen von 7,4°C (Abb.3-2, Stieghorst) und 3,8°C (Abb.3-1, City). In der Tabelle 3-1 werden die Daten im Einzelnen dokumentiert, (Weitere Details siehe Stadtklima Bielefeld, 1995)

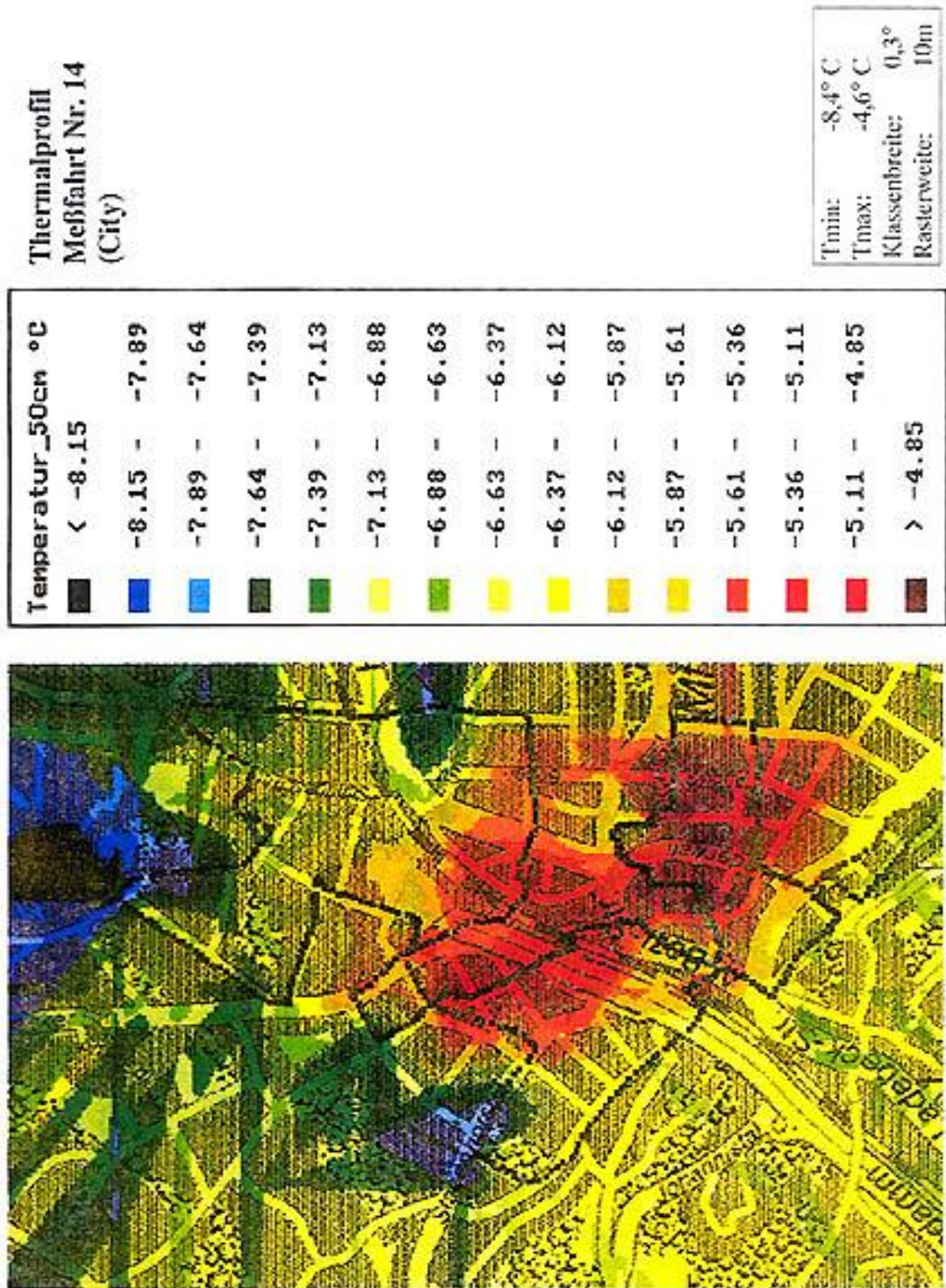
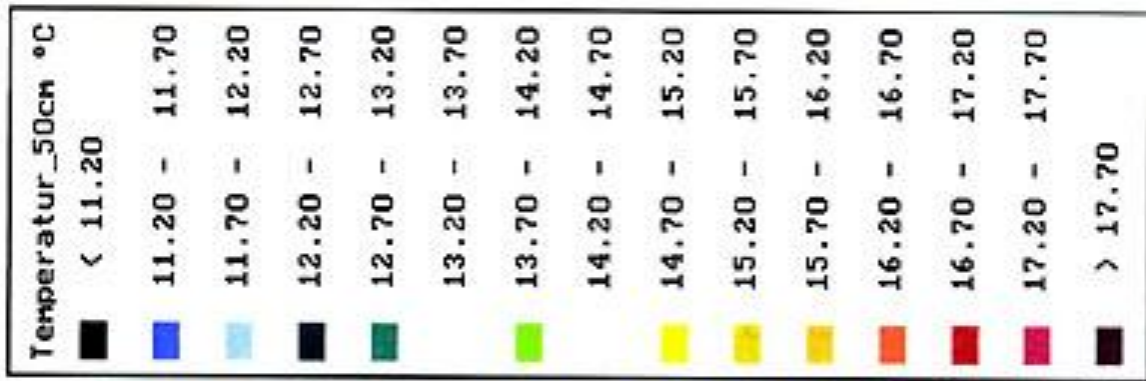


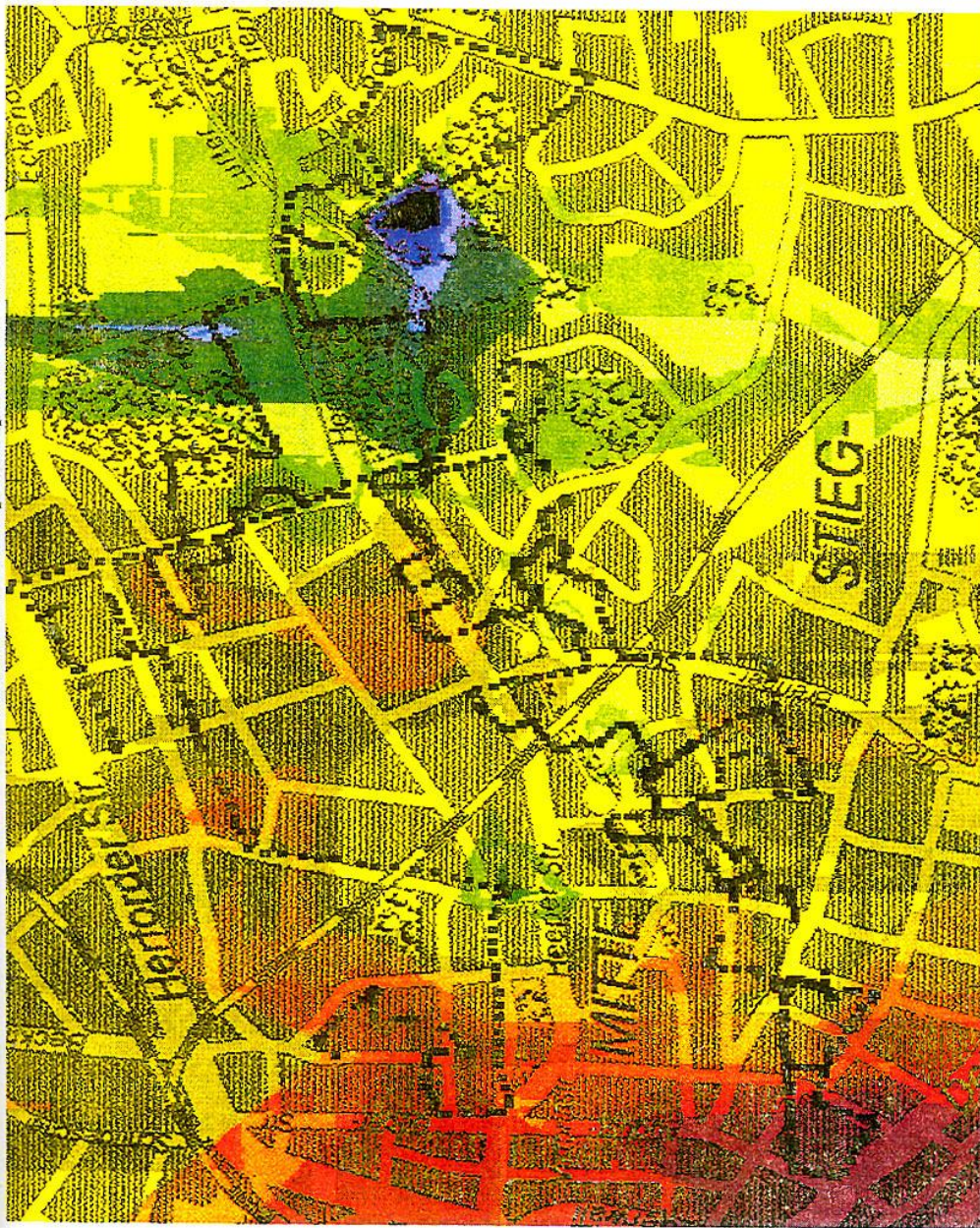
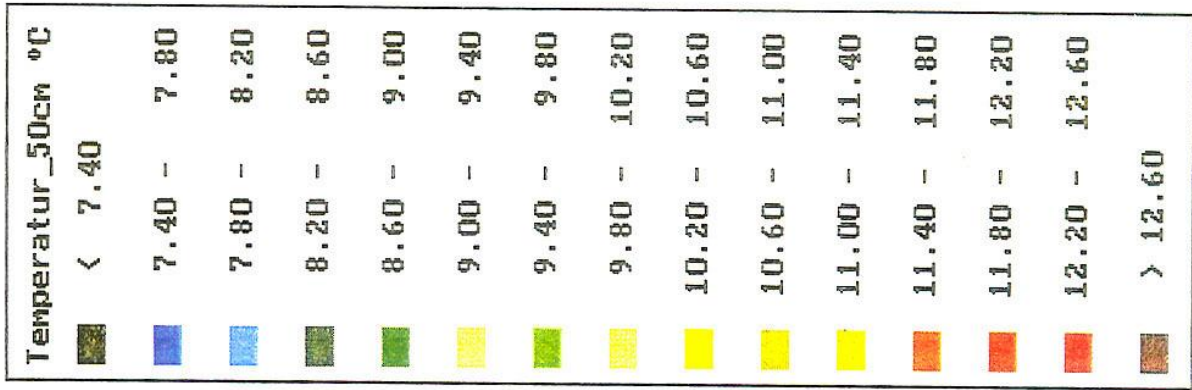
Abb. 3-1 Thermalprofil Messfahrt City (Stadtklima Bielefeld, 1995)



Tmin: 10,7° C
 Tmax: 18,1° C
 Klassenbreite: 0,5°
 Rasterweite: 20m

Thermalprofil
 Stieghorst-
 Siebrassenhof

Abb. 3-2: Thermalprofil Messfahrt City-Stieghorst (Stadtklima Bielefeld, 1995)



Tmin: 7,0° C
 Tmax: 13,2° C
 Klassenbreite: 0,4° C
 Rasterweite: 10m

Thermalprofil
Messfahrt Nr. 6
(Grünzug Heepen)

Abb. 3-3: Thermalprofil Messfahrt City-Heepen (Stadtklima Bielefeld, 1995)

Fahrt	Monat	Zeit	Messwert	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Differenz [°C]	Rasterweite [m]	Klassenbreite [°C]
Fahrt1	12	4:20 - 5:42	Temperatur in 50 cm	-10,6	-5,2	5,1	25	0,3
Fahrt1	12	4:20 - 5:42	Temperatur in 2 m	-9,4	-5,5	3,9	25	0,3
Fahrt2	12	4:31 - 5:28	Temperatur in 50 cm	-9,2	-5,2	4,0	20	0,3
Fahrt2	12	4:31 - 5:28	Temperatur in 2 m	-8,8	-5,2	3,6	20	0,3
Fahrt3	03	2:07 - 3:23	Temperatur in 50 cm	-2,6	0,4	3,0	25	0,2
Fahrt3	03	2:07 - 3:23	Temperatur in 2 m	-2,3	0,0	2,3	25	0,2
Fahrt4	06	0:12 - 2:39	Temperatur in 50 cm	10,7	18,1	7,4	20	0,5
Fahrt4	06	0:12 - 2:39	Temperatur in 2 m	10,7	17,8	7,1	20	0,5
Fahrt5	06	2:53 - 4:16	Temperatur in 50 cm	10,7	18,9	8,2	20	0,5
Fahrt5	06	2:53 - 4:16	Temperatur in 2 m	10,7	17,1	6,4	20	0,5
Fahrt6/Grün1	08	2:06 - 3:27	Temperatur in 50 cm	7,0	13,2	6,2	10	0,4
Fahrt6/Grün1	08	2:06 - 3:27	Temperatur in 2 m	8,3	13,1	4,8	20	0,3
Fahrt7/Grün2	08	23:30 - 0:58	Temperatur in 50 cm	9,6	16,3	6,7	20	0,4
Fahrt7/Grün2	08	23:30 - 0:58	Temperatur in 2 m	10,5	16,1	5,6	20	0,4
Fahrt8/Ost	08	1:11 - 2:26	Temperatur in 50 cm	12,3	16,0	3,7	20	0,3
Fahrt8/Ost	08	1:11 - 2:26	Temperatur in 2 m	12,4	15,9	3,5	20	0,3
Fahrt9/Nord	08	2:32 - 4:00	Temperatur in 50 cm	10,4	17,3	6,9	20	0,5
Fahrt9/Nord	08	2:32 - 4:00	Temperatur in 2 m	10,4	18,0	7,6	20	0,5
Fahrt10/Brackw.	09	2:48 - 3:51	Temperatur in 50 cm	7,8	10,3	2,5	20	0,2
Fahrt10/Brackw.	09	2:48 - 3:51	Temperatur in 2 m	7,8	10,3	2,5	20	0,2
Fahrt11/Grün3	09	03:27 - 4:50	Temperatur in 50 cm	12,5	18,6	6,1	20	0,4
Fahrt11/Grün3	09	03:27 - 4:50	Temperatur in 2 m	13,2	18,7	5,5	20	0,3
Fahrt12/Zentrum	09	1:19 - 3:12	Temperatur in 50 cm	12,5	18,8	6,3	20	0,4
Fahrt12/Zentrum	09	1:19 - 3:12	Temperatur in 2 m	13,5	18,9	5,4	20	0,4
Fahrt13/Quelle	02	2:25 - 2:50	Temperatur in 50 cm	-6,9	-3,5	3,4	20	0,3
Fahrt13/Quelle	02	2:25 - 2:50	Temperatur in 2 m	-6,3	-3,4	2,9	20	0,2
Fahrt14/City	02	2:19 - 3:30	Temperatur in 50 cm	-8,4	-4,6	3,8	20	0,3
Fahrt14/City	02	2:19 - 3:30	Temperatur in 2 m	-8,2	-4,6	3,6	20	0,3

Tab. 3-1: Zusammenfassung der Daten der Messfahrten (Stadtklima Bielefeld, 1995)

B. Zeitgleicher Temperaturvergleich an ausgewählten temporären Messstationen im Stadtgebiet (diskontinuierliche Temperaturmessung, Details im Zwischenbericht Stadtklima 1993)



Abb. 3-4: nächtliche Tiefsttemperaturen an den 14 temporären Messstationen im Sommer ($dT_{max} \sim 5,9^{\circ}C$) und Winter ($dT_{max} \sim 4,3^{\circ}C$) (Stadtklima Bielefeld, 1993)

Die während der ca. 3 jährigen Kampagne betriebenen 14 temporären Messstationen weisen ein sehr differenziertes thermisches Verhalten der jeweiligen Stadtstruktur nach. Einen starken Einfluss der jeweiligen Realnutzungen auf das thermische Verhalten zeigen die Temperaturverläufe zweier Innenstadtstationen von Bielefeld (Abb.3-5). Sie liegen nur wenige 100m auseinander und sind doch sehr verschieden.

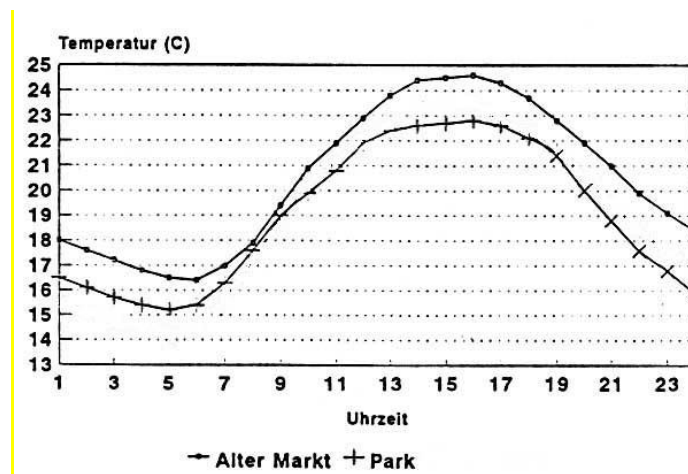


Abb. 3-5 mittlerer Tagesgang der Temperaturen in einem Sommermonat an den Innenstadtstationen „Alter Markt“ und „Park der Kunsthalle“ (Stadtklima Bielefeld, 1995)

So ist es im monatlichen Mittel an der Station im Kunsthallenpark tagsüber anhaltend fast 2 °C kälter als am dicht bebauten „Alten Markt.“ Nachts erreichen die Abweichungen maximal 2,5°C, es gibt also eine deutliche Wärmeabgabe der tagsüber erfolgten Aufheizung der Bausubstanz.

Noch prägnanter fällt der Unterschied bei der Häufigkeit der thermischen Kenntage auf, Tage an denen definierte Schwellenwerte der Temperatur überschritten (Sommer) oder unterschritten (Winter) werden (vgl. Tab.3-2). So hat sich während der Untersuchung zum Stadtklima von Bielefeld eine mehr als doppelt so große Anzahl an Sommertagen ($T_{max} \geq +25,0^{\circ}\text{C}$) an der Station „Alter Markt“ ergeben als an der Station im Kunsthallenpark. Auch die Unterschiede bei den Frosttagen waren deutlich ($T_{min} > 0,0^{\circ}\text{C}$).

	Innenstadtbereich	
	Alter Markt	Park der Kunsthalle
Sommertage	69	32
Frosttage	33	46
Eistage	4	6

Tab. 3-2: Anzahl der klimatologischen Kenntage im Innenstadtbereich bei unterschiedlicher Realnutzung

Die räumlich zusammenfassende Übersicht ergibt sich aus einer Thermalstrukturkarte (Abb.3-6), bei der deutlich abgegrenzte Gebiete mit erhöhtem und abgesenktem Temperaturniveau erkennbar sind.

Fazit:

Es wurden etwa zeitgleich durch Messfahrten und mehrjährig durch Messungen an ortskonstanten Punkten thermische Strukturen des Stadtgebietes erfasst und kartografisch dargestellt. Sie sind im Einzelnen durch die Orografie und die Realnutzungen interpretierbar. Das Beispiel in Tab.3-2 zeigt sehr deutlich, dass stadtplanerische Maßnahmen, wie eine Erhöhung des Grünanteils, einen erheblichen Einfluss auf den thermischen Komfort ausüben können.

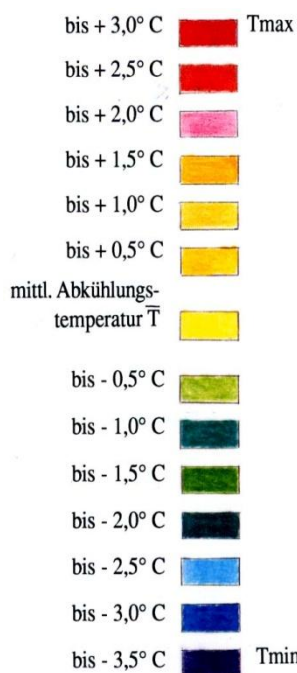


Abb. 3-6: Ausschnitt aus der Thermalkarte (Stadtklima Bielefeld, 1995)

Hier wurden die Ergebnisse der Messfahrten und der mehrjährigen temporären Messungen in Abgleich mit den Realnutzungen in räumlichen Abgrenzungen dokumentiert. Diese räumlichen Abgrenzungen haben sich auch in den Folgejahren nicht signifikant verändert (siehe u.a. Fortschreibung der Klimatopkarte 2007).

4 Darstellung der innerstädtischen Hitzeinsel und der Überwärmungsgebiete aus Satellitenaufnahmen der Jahre 1991, 2001 und 2010

4.1 Aufbereitung der Ausgangsdaten

In der Roh-Version sind LANDSAT-Satellitenbilder des Infrarot-Spektrums zunächst in Graustufen in der Intensität von 0 bis 255 dargestellt, die dann nachträglich in Farbstufen übersetzt werden und in die entsprechende Einheit umgerechnet werden müssen. Die drei Bilder wurden mit Hilfe des Programms IDIRISI TAIGA bearbeitet und in eine 256-stufigen Klasseneinteilung in die Einheit *Blackbody temperatur* [°C] umgerechnet.

Diese wird aus untenstehenden Formeln, anhand derer die Umrechnung in die Einheit Temperatur für die LANDSAT 7- und LANDSAT 5 Bilder erfolgte, ersichtlich:

$$\text{Lambda} = (\text{L}_{\text{max}} - \text{L}_{\text{min}}) / 255 * \text{DN} + \text{L}_{\text{min}}$$

Lambda:	spectral radiance [mW*cm ⁻² *sr ⁻¹ *µm ⁻¹]	
L _{min} :	spectral radiance für Graustufe [mW*cm ⁻² *sr ⁻¹ *µm ⁻¹]	0
L _{max} :	spectral radiance für Graustufe [mW*cm ⁻² *sr ⁻¹ *µm ⁻¹]	255

Die Werte für L_{min} und L_{min} für LANDSAT 7 ETM+ sind:

Low Gain:	
L _{min} –	0.0 W/(m ² *ster*µm)
L _{max} –	17.04 W/(m ² *ster*µm)

Mit der so ermittelten *spectral radiance Lambda* lässt sich mit Hilfe der folgenden Formel die effektive *at-satellite* Temperatur ermitteln:

$$T = K2 / \ln (K1 / \text{Lambda} + 1) \text{ [K]}$$

wobei K1 und K2 folgende Kalibrierungskonstanten sind:

$$K1 = 666,09 \text{ w*m}^{-2} \text{*sr}^{-1} \text{*µm}^{-1}$$

$$K2 = 1282.71 \text{ K}$$

Die Legenden der Satellitenaufnahmen sind in der Einheit ‚Schwarzkörper-Temperatur‘ in °C [K + 273,15] dimensioniert.

Unter Anwendung des Programms SICAD erfolgte durch Verknüpfung der Thermalbilder mit dem monochromen Stadtplan die Georeferenzierung unter Zuhilfenahme von ausgesuchten Passpunkten.

4.2 Klassifizierung der Erwärmung

Da aufgrund der gemeinsam gewählten Einheit ‚Schwarzkörper-Temperatur‘ ein Vergleich der Thermalbilder mit Lufttemperaturen nicht direkt möglich ist, wurden zur Einstufung des Erwärmungsgrades innerhalb der jeweiligen Bilder bestimmte Wärmebereiche zusammengefasst.

Allerdings zeigen die Legenden der Thermalbilder trotz der gleichen Klassenanzahl und des gleichmäßigen Farbverlaufes eine unterschiedliche Skalierung [1991: 16,00°C bis 27,00°C; 2001: 17,00°C bis 32°C; 2010:17,00°C bis 35,00°C]. Dies ist sowohl auf einen Temperaturanstieg bei stark strahlenden Flächen zurückzuführen als auch zu einem Anteil auf die leicht unterschiedlichen Witterungsbedingungen (siehe A.3).

Zu berücksichtigen sind bei Abb. 4-7 die hellen Streifen, die als Kamerafehler nicht zu vermeiden sind sowie die durch Wolken erzeugten hellen Felder. Gleichwohl sind auch hier die Stadtstrukturen noch gut zu erkennen.

Zur Abgrenzung der Strukturen wurden die Temperaturbereiche in eine Klassifizierung überführt. Zur Vereinfachung wurden die folgenden 5 Temperaturbereiche (TK) deklariert:

BLAUTÖNE	:	TK 1: kühl
GRÜNTÖNE	:	TK 2: kühl gemäßigt
GELBTÖNE	:	TK 3: gemäßigt
ORANGETÖNE	:	TK 4: warm gemäßigt
ROTTÖNE	:	TK 5: heiß

Weil die Aufnahmen an Hochsommertagen erfolgten, ist die Klasse TK 1: kühl nicht vertreten. Gleichwohl können Aussagen darüber getroffen werden, welche Regionen zu den tendenziell kühleren und welche zu den tendenziell wärmeren Gebieten zählen und wo es zu Veränderungen von kühleren zu wärmeren Bereichen gekommen ist.

4.3 Gegenüberstellung der Thermalkarten

Die drei Übersichtskarten (s. Abb. 4-1, 4-4 und 4-6) zeigen eine Aufheizung der Oberflächen in den Stadtbereichen Bielefelds, wobei diese insbesondere im Zentrum sowie in Brackwede deutlich wird. So sind hier jeweils die wärmsten (TK 5) Zonen zu finden. Auf die Stadtteile Brake, Jöllenbeck, Theesen und Blackenfeld trifft dies im Jahr 1991 ebenfalls zu, während die Orangetöne in der Karte des Jahres 2001 eher auf warm gemäßigte (TK 4) Verhältnisse hindeuten.

Der Teutoburger Wald dagegen erscheint in Grüntönen, dementsprechend gehört er zu den kühl gemäßigten (TK 2) Bereichen, und hebt sich dadurch deutlich vom übrigen Stadtgebiet ab. Dasselbe gilt im Bielefelder Osten für die Waldflächen Heeper Fichten und Heeper Holz, als auch für den Bereich in Sieker südlich der Oldentruper Straße Richtung Detmolder Straße. Ein größeres kühles Gebiet erstreckt sich zudem zwischen den Stadtteilen Schildesche und Baumheide zwischen Bahngleisen und Herforder Straße, außerdem stellen im Westen Bielefelds die Parkflächen zwischen Universität und Schlosshofstrasse, Gellershagener Park sowie der Grüngürtel parallel zur Apfelstraße in Richtung Schildesche größere kühlere Areale dar. Als kleinere kühle Zonen innerhalb des Stadtgebietes zeigt sich darüber hinaus der Teich westlich des Sportplatzes Rußheide sowie der Verkehrserziehungsplatz in Nähe der Apfelstraße, als auch der Sportplatz Am Wiehagen nördlich der Oldentruper Straße.

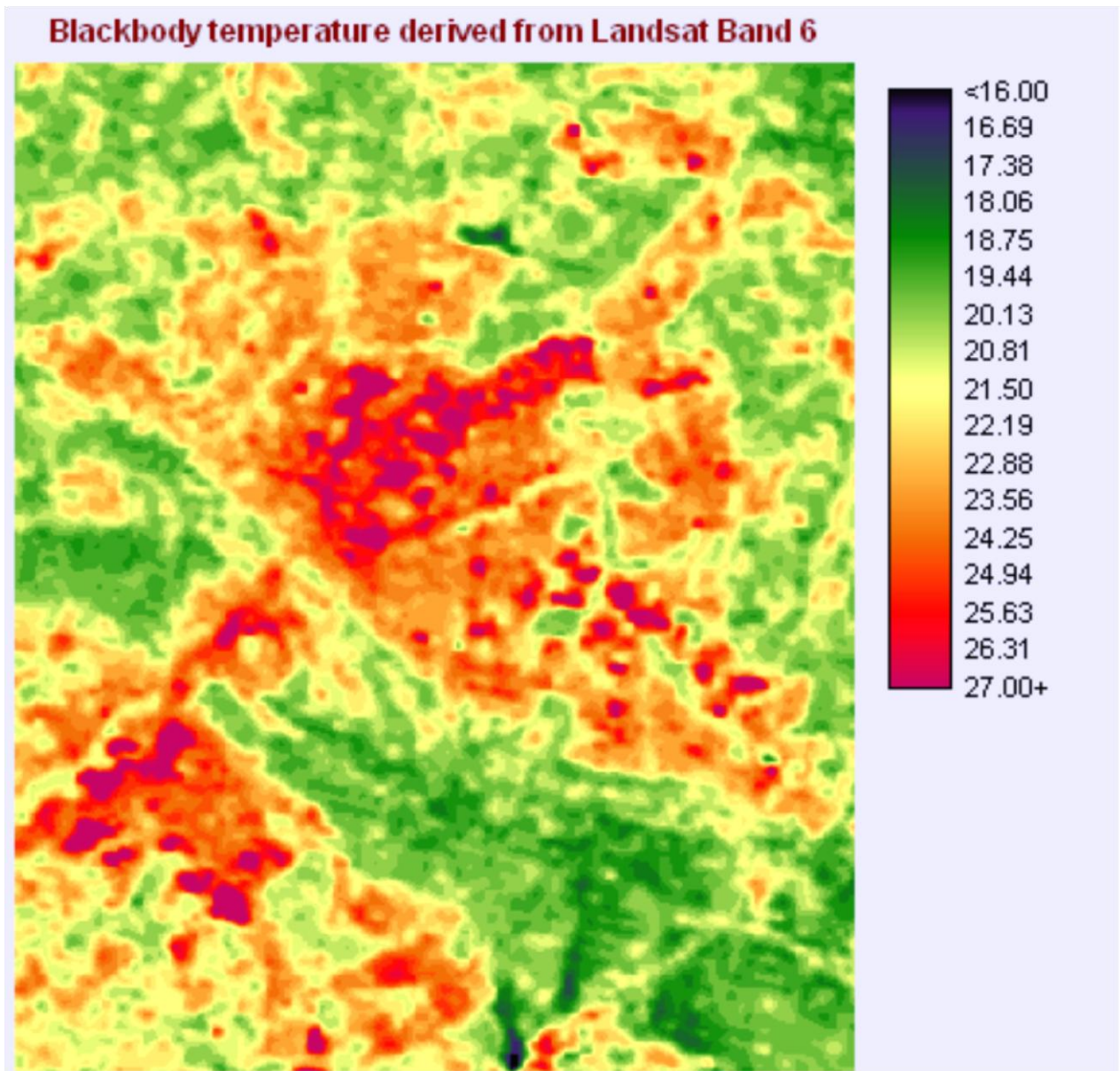


Abb. 4-1: Übersicht über die thermische Struktur der Gesamtstadt 1991 [Skalierung in °C]
(Landsat 5 Aufnahme vom 2.7.1991)

Die Randbereiche des Stadtgebietes Bielefeld sind vorwiegend in Gelbtönen wiedergegeben und somit als gemäßigt (TK 3) einzustufen. Im Stadtinnern betrifft dies ebenso den Nordpark, den Bereich rund um das Wiesenbad, den Sieker Friedhof als auch den Schildescher Friedhof.

Ähnliches gilt für das Wohngebiet südlich des Heeper Holzes, in dem sich die Bedingungen von gemäßigt (gelb, TK 3) im Jahr 1991 auf warm gemäßigt (orange, TK 4) in den Jahren 2001 und 2010 gewandelt haben.

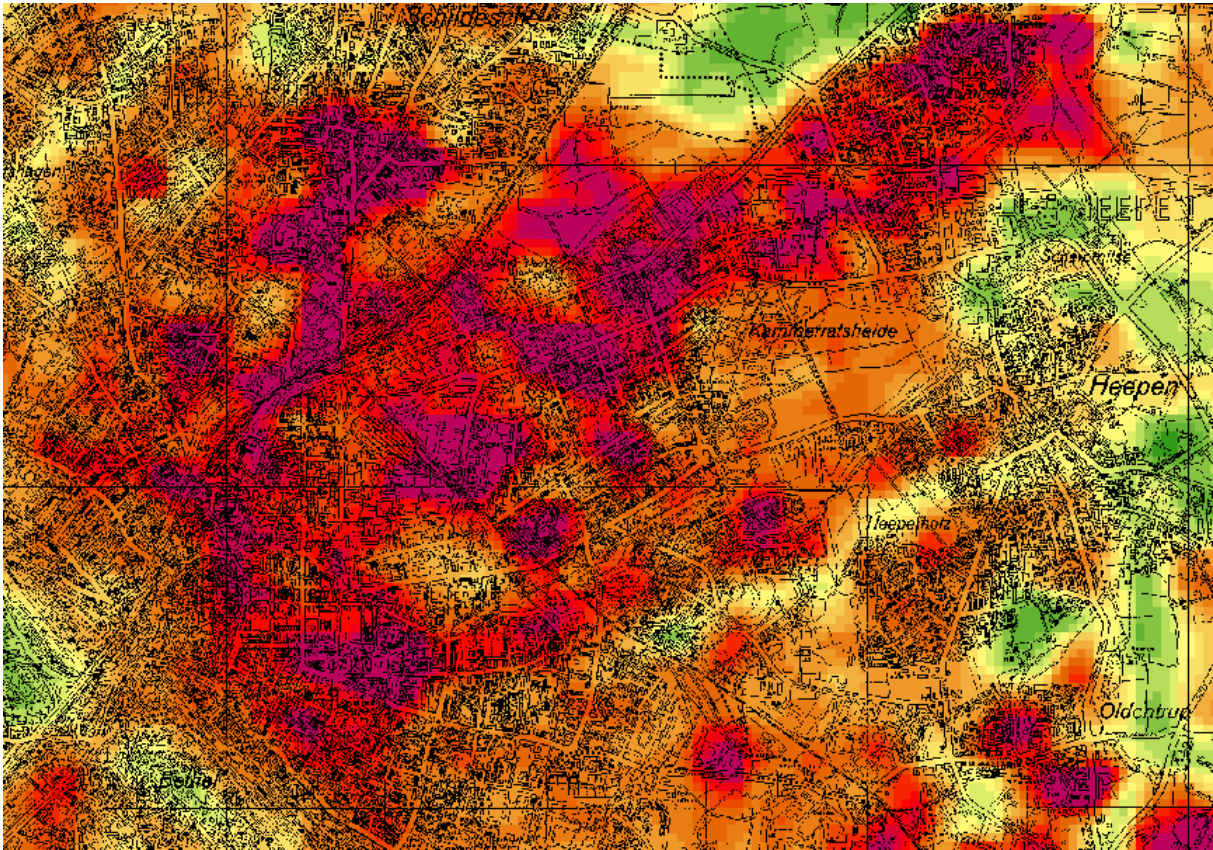


Abb. 4-2: Innensstadtausschnitt aus Abb. 4-1

Ein Vergleich der prozentualen Verteilung der Temperaturklassen (vgl Tab 4-1) zwischen den drei Bildern (Abb. 4-1, 4-4 und 4-6) zeigt zum einen, dass diese zum Teil nahe beieinander liegen und zum anderen ein Trend erkennbar zu sein scheint. Eine genauere Auswertung der Anteile erfolgt durch Interpretationen der jeweiligen Histogramme (siehe Beispiel Abb. 4-3).

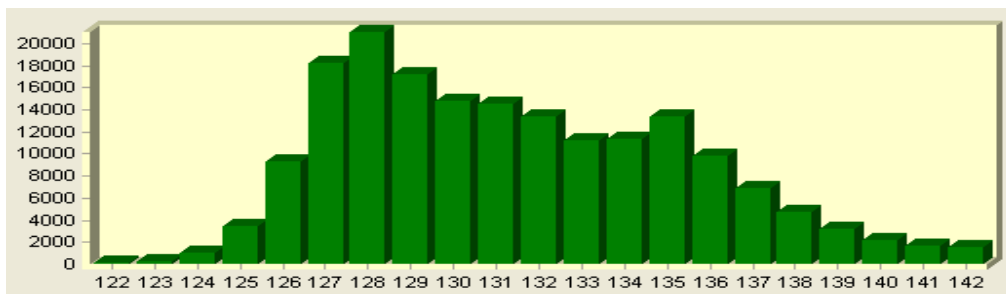


Abb. 4-3: Häufigkeitsverteilung der Strahlungsintensität (Landsat 5 Aufnahme vom 2.7.1991)

In der folgenden Tabelle (Tab.4-1) sind diese hochaufgelöste Klassifizierung in die festgelegten Gruppen TK 2 bis TK 5 zusammengefasst. Daraus ergeben sich folgende prozentuale Anteile für die drei Aufnahmen:

Aufnahmedatum	Temperaturbereiche	Anteil (%)
1991	TK 2 Kühl gemäßigt	13,3
	TK 3 gemäßigt	46,2
	TK 4 warm gemäßigt	31,4
	TK 5 heiß	9,1
2001	TK 2 Kühl gemäßigt	12,9
	TK 3 gemäßigt	42,6
	TK 4 warm gemäßigt	36,1
	TK 5 heiß	8,4
2010	TK 2 Kühl gemäßigt	9,3
	TK 3 gemäßigt	42,5
	TK 4 warm gemäßigt	37,8
	TK 5 heiß	10,4

Tab. 4-1 Prozentuale Verteilung der Temperaturbereiche der drei Satellitenbilder

Während der kühl gemäßigte Bereich (TK 2) im Jahr 1991 13,3% ausmacht, sind es im Jahr 2001 12,9%, im Jahr 2010 nur noch 9,3%. Der Anteil der gemäßigten Bereiche (TK 3) bleibt in den drei Jahren relativ konstant mit im Jahr 1991 zu 46,2%, im Jahr 2001 zu 42,6%, im Jahr 2010 zu 42,5%. Im warm gemäßigten Bereich (TK 4) kann ein Anstieg der Flächenanteile festgestellt werden von 1991 mit 31,4% zu 36,1% und 37,8%. Der Anteil der heißen Gebiete verringert sich von 1991 mit 9,1% zu 2001 mit 8,4, steigt jedoch 2010 auf 10,4% an.

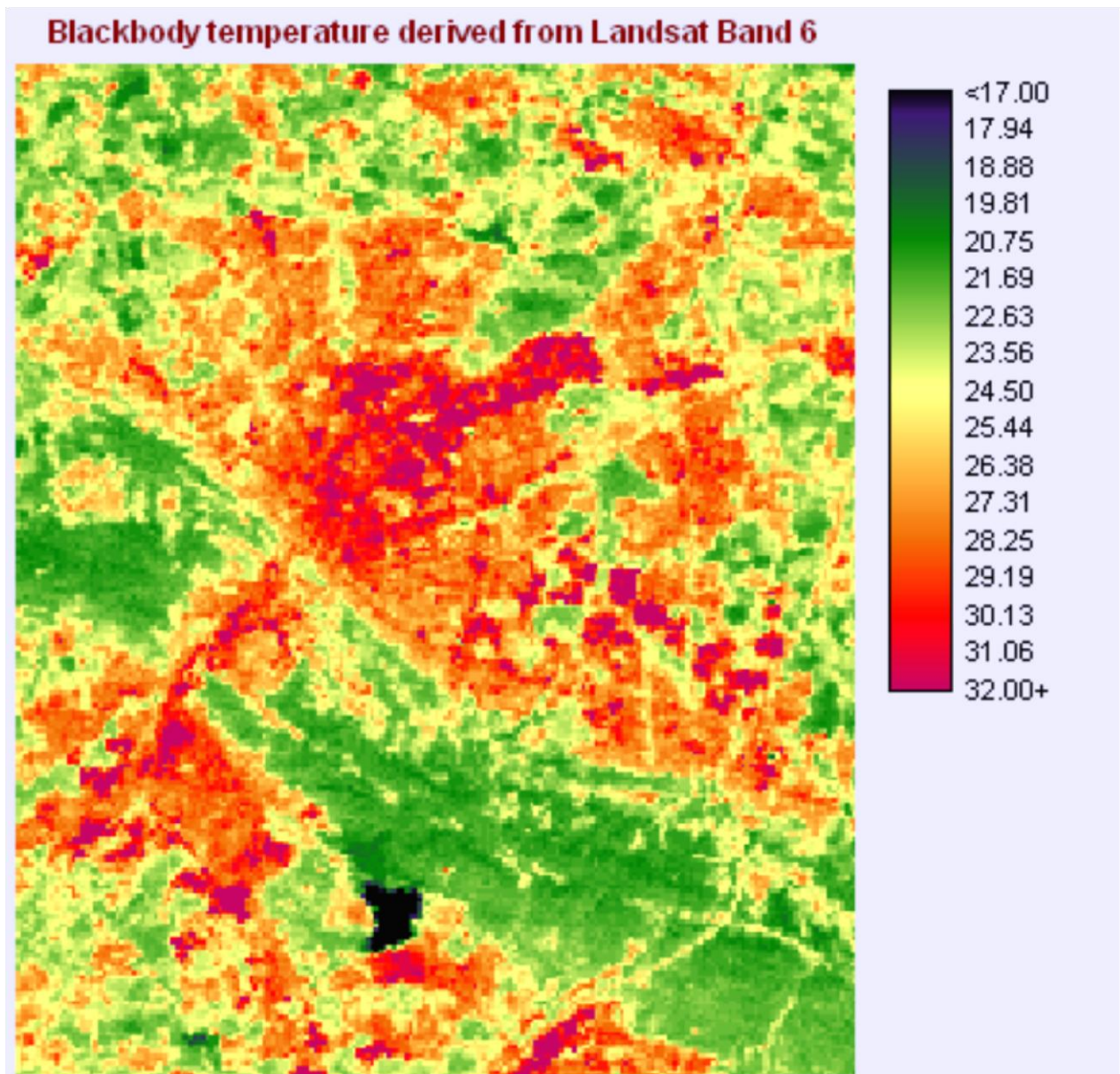


Abb. 4-4: Übersicht über die thermische Struktur der Gesamtstadt, 2001
[Skalierung in °C] (Landsat 7 Aufnahme vom 5.7.2001)

Die höher aufgelöste Darstellung des Innenstadtbereiches mit hinterlegtem Stadtplan verdeutlicht das räumlich genauere bestimmte thermische Verhalten der Oberflächen. Die Zuordnung der Temperaturen zu den Flächen erfolgt auf ca. 50 m genau. Dies kann jedoch nicht mit der Randschärfe eines terrestrischen Verfahrens verglichen werden, so dass diese Darstellung mit den örtlichen Abgrenzungen der realen Nutzungen verglichen werden muss.

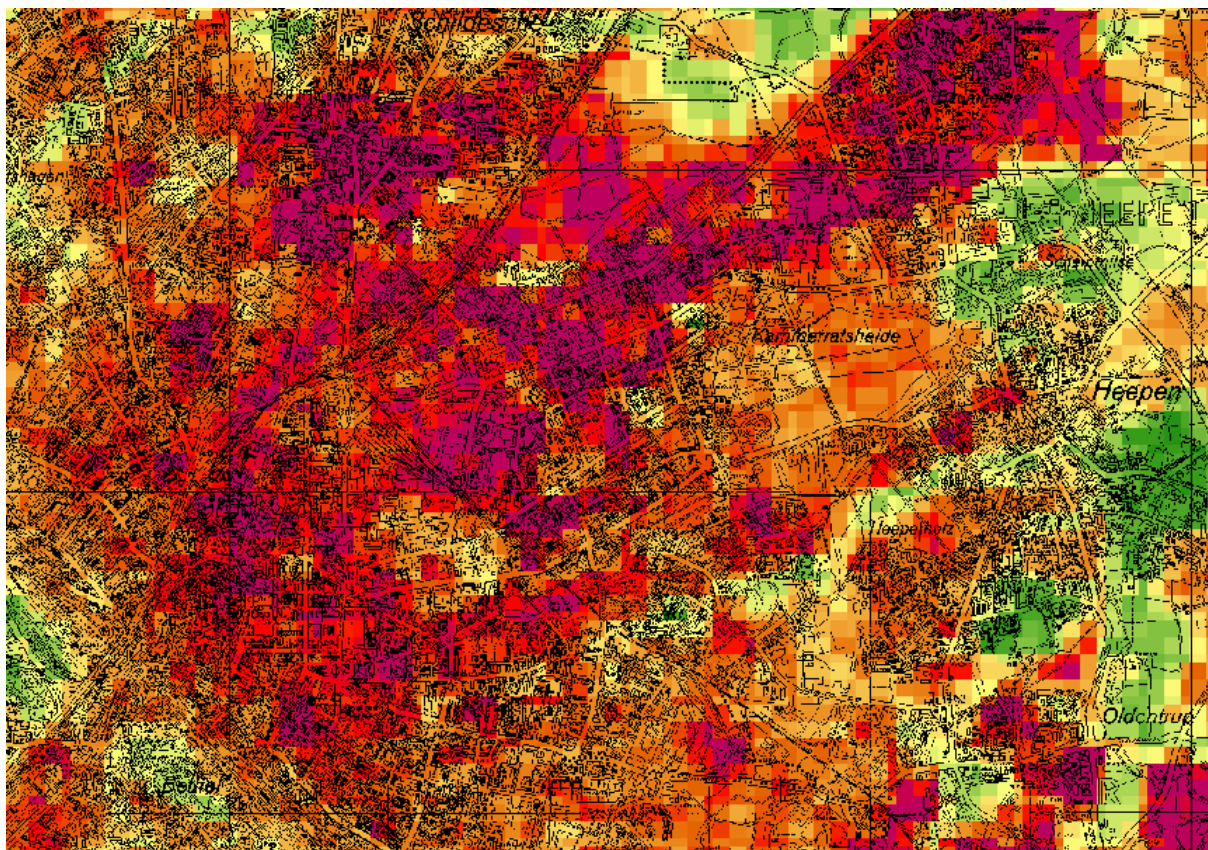


Abb. 4-5: Innenstadt Ausschnitt aus Abb. 4-4 (Legende siehe Abb. 4-4)
[Skalierung in °C] (Landsat 7 Aufnahme vom 5.7.2001)

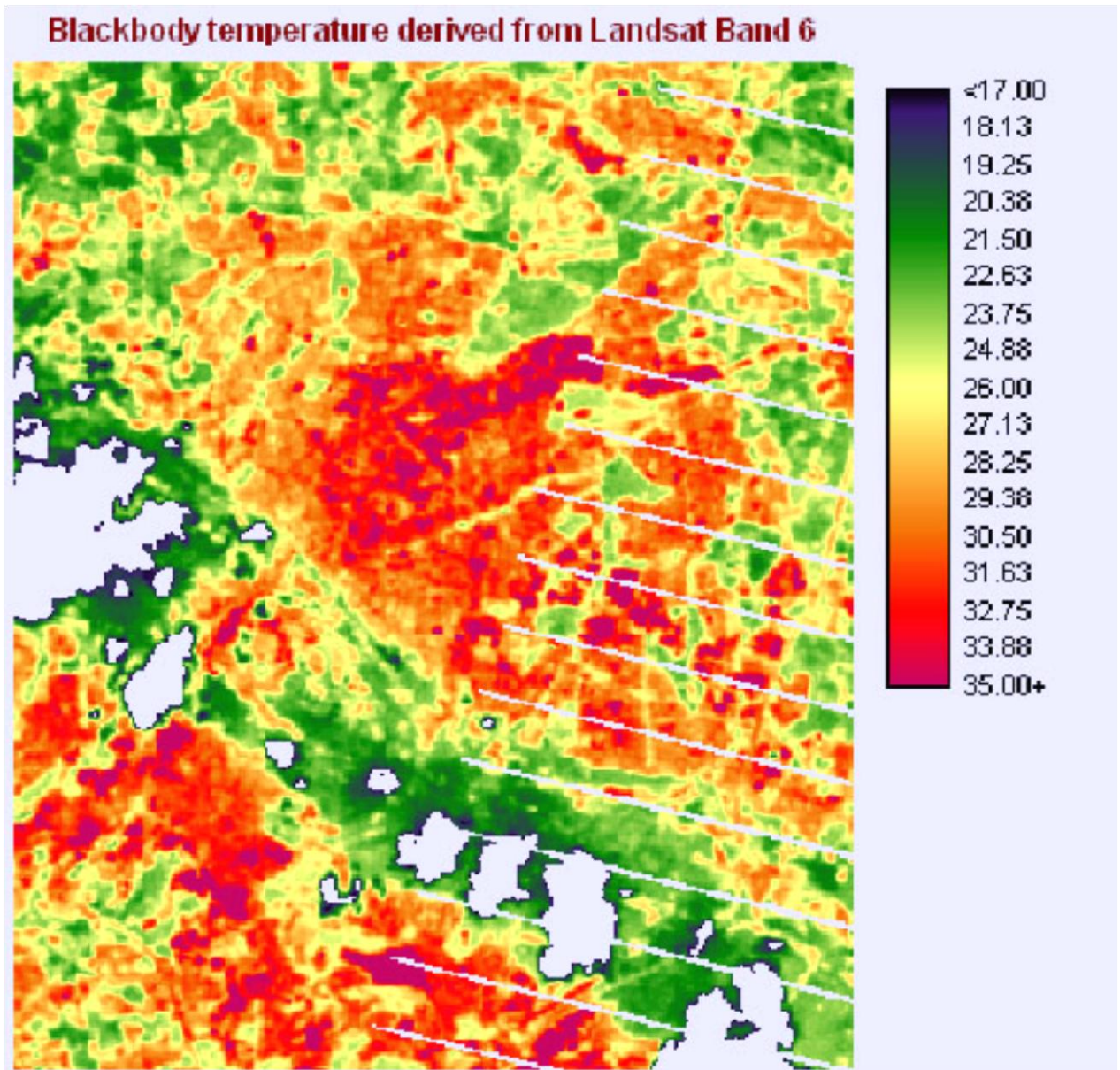


Abb. 4-6: Übersicht über die thermische Struktur der Gesamtstadt, 2010 [Skalierung in °C]
Landsat 7 Aufnahme vom 28.6.2010 (weiße Streifen sind Kamerafehler, helle
Flecken sind Wolken)

Aufgrund der unterschiedlichen Analysewerkzeuge lässt sich ein Vergleich der Farbdarstellungen der drei Bilder nur mit Erschwernis durchführen, gleichwohl werden auch hier die Strukturen der Überwärmung deutlich erkennbar.

Beim Vergleich der drei Satellitenbilder muss berücksichtigt werden, dass im zeitlichen Verlauf der 20 Jahre, 1991 bis 2010, auch deutliche Änderungen im Bereich der Realnutzungen vorgenommen wurden.

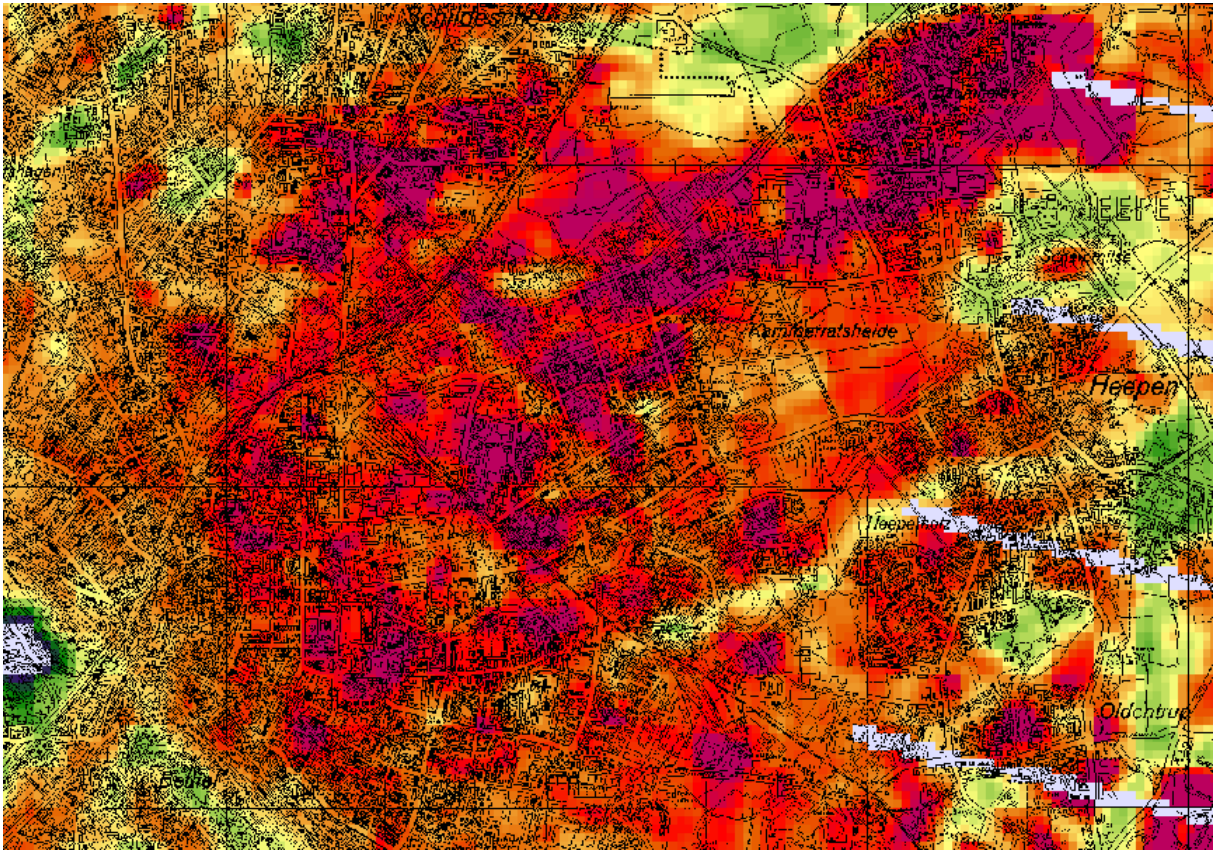


Abb. 4-7: Innentadtausschnitt aus Abb. 4-7
 [Skalierung in °C; Landsat 7 Aufnahme vom 28.6.2010; weiße Streifen sind Kamera
 fehler, helle Flecken sind Wolken]

Dies ist in den Detailuntersuchungen für Bielefeld dokumentiert (Willner, Bielefeld 2004). Auch in Abb. 4-7 lassen sich bei Berücksichtigung der etwas unterschiedlichen Skalierungen nur geringe Abweichungen zwischen den Aufnahmen 2001 und 2010 erkennen.

Als eine Grundlage für die weitere digitale Plandarstellungen (Anlage A.4) wird das neueste Satellitenbild von 2010 verwendet. Dabei sind in Übereinstimmung der drei bei hochsommerlichen Temperaturbedingungen aufgezeichneten Bilder die Abgrenzungen der relevanten Innenstadtgebiete den Farbmarkierungen TK 4(warm-gemäßigt) - rot-orange - dem Temperaturbereich von 31°C bis 33°C, die urbanen Überwärmungsgebiete und TK 5 (heiß) - dunkelrot - dem Temperaturbereich von 33°C bis 36°C, die Hitzeinsel zuzuordnen.

Das hohe mögliche Erwärmungspotential ist an diesem heißen Tag (28.Juni 2010, 31,4°C, siehe Anhang) gut erkennbar. Die Umweltbedingungen in den kühleren Bereichen des Bildes weisen auf die Wirksamkeit geeigneter Instrumente und Maßnahmen zur Reduzierung des zu erwartenden Hitzestresses.

Fazit

Insgesamt lässt sich aus der Bildanalyse aufgrund der Vermischung von Realnutzungsänderungen und allgemeiner Erwärmung kaum ein auf konkrete Flächen bezogener Trend ermitteln. Gleichwohl können aus der Bilddarstellung Abgrenzungen der unterschiedlich erwärmten Areale abgeleitet werden. Dazu werden die folgenden Strahlungstemperaturen festgelegt:

Urbane Überwärmungsgebiete	30 bis 32 °C
Hitzeinsel	33 bis 35+ °C

5 Differenzierung der Erwärmungspotentiale auf der Grundlage ihrer Realnutzung

Der städtische Energiehaushalt besteht aus den Anteilen der Strahlungsbilanz und der Wärmebilanz. Dieser weist erhebliche Veränderungen gegenüber dem nicht bebauten Umland auf.

Auf die **Strahlungsbilanz** wirken die kurz- und langwelligen Strahlungsströme unterschiedlich stark ein. Sie besteht aus den in Abb.5-1 beschriebenen Komponenten.

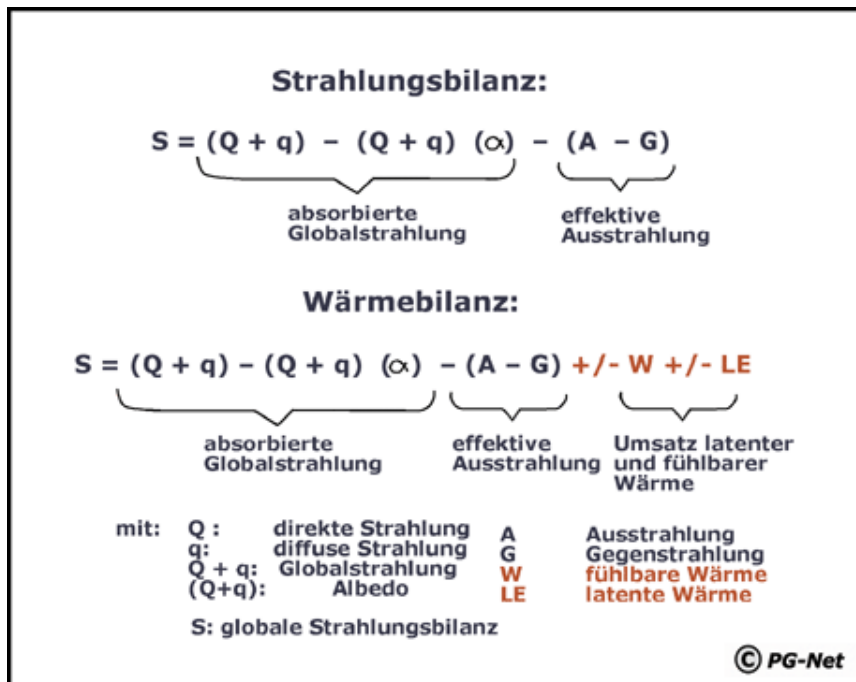


Abb.5-1 : Elemente der globalen Strahlungsbilanz (PG-NET)

Die Modifikationen der Stadtatmosphäre im Vergleich zum Umland z.B. durch Luftinhaltsstoffe führen zu einer absoluten Strahlungsschwächung, wobei der Anteil der diffusen Strahlung gegenüber der direkten Strahlung erhöht wird. Die Strahlung hängt insgesamt noch von der Zenitdistanz der Sonne ab. Ein wesentlicher Faktor ist der Reflexionsgrad. Der kurzwellige Reflexionsgrad, der von der Beschaffenheit und Exposition der Oberflächen abhängt, beläuft sich für Großstädte in mittleren Breiten auf bis zu 30%. Demgegenüber spielt der langwellige Reflexionsgrad mit etwa 5% für die städtische Strahlungsbilanz eine untergeordnete Rolle. Die Strahlungsflussdichte hängt von der Oberflächentemperatur und von den IR-aktiven Atmosphäregasen (Wasserdampf, Kohlendioxyd) ab.

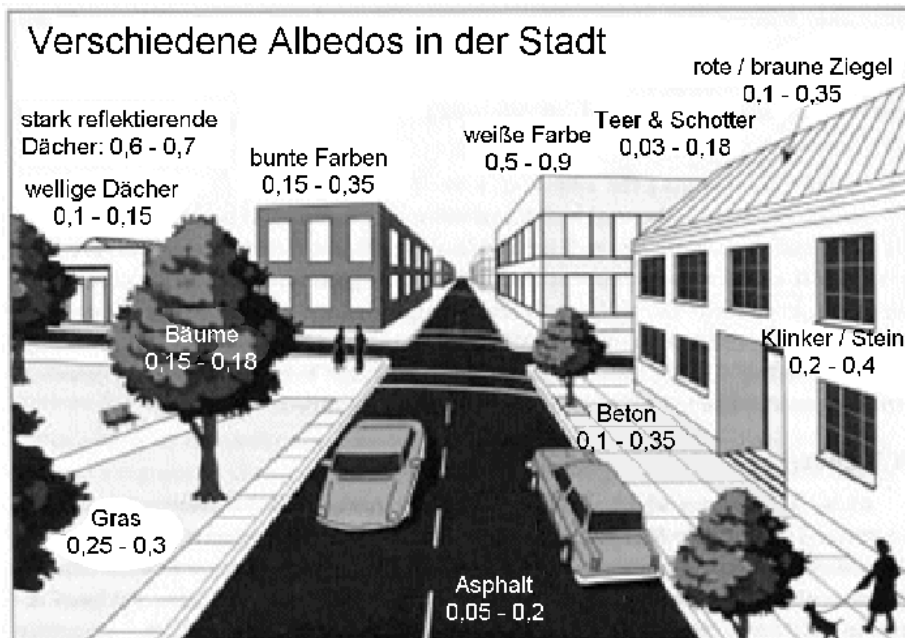


Abb.5-2 : Kurzwellige Albedo (MPG, Atmosphäre)

Die **Wärmebilanz** - Advektions- und Niederschlagsarmut vorausgesetzt - wird dominiert u.a. durch die künstliche Wärmeproduktion, die sich aus Abwärme von Kraftfahrzeugen, Industrieanlagen und durch den öffentlichen und privaten Energieverbrauch zusammensetzt. Werte bis zu 100 W/qm und im Einzelfall mehr werden erreicht. Ein weiterer Faktor ist die Versiegelung von Flächen (Tab. 5-1), weil dort kein Wärmeabbau durch die Verdunstung vom Wasser erreicht werden kann.

Nutzungsstruktur		Mittlerer Versiegelungsgrad in %	Mittlere Strukturhöhe in m
1	Zentrum, Stadtteilzentrum	95	20,0
2	Block- u. Blockrandbebauung	78	15,0
3	Industrie- u. Gewerbefläche	80	12,5
4	Zeilen- u. Hochhausbebauung	55	15
5	Einzel- u. Reihenhausbauung	40	5,0
6	Straße, Parkplatz u.ä.	95	0,0
7	Schienenverkehrsfläche	25	1,0
8	Kleingarten, Friedhof, Spiel- u. Sportplatz	25	5,0
9	Offene Landwirtschaftsfläche, Brachland, Parkwiese	5	1,0
10	Gehölz, Garten- u. Obstbau	5	2,5

Tab.5-1: - Mittlere Versiegelungsgrade und Strukturhöhen in Städten vergleichbar mit Bielefeld (Gross, Stadtklima Hilden)

Zusätzlich wird die städtische Wärmebilanz durch die Bodenwärmeflussdichte dominiert, die an Strahlungstagen durch die hohen Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität der Baustoffe als thermische Speicher bestimmt wird. Für die Erwärmung des Bodens ist das Reflexionsvermögen des Untergrundes neben der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmekapazität wesentlich. In Großstädten der mittleren Breiten können diese Werte bei trockenem Wetter bis zu 40% der städtischen Wärmebilanz bestimmen. Diese Energie wird dann für die Lufterwärmung umgesetzt.

OBERFLÄCHE	ALBEDO	EMISSIONS-GRAD (= 4 - 100 μm)	OBERFLÄCHE	ALBEDO	EMISSIONS-GRAD (= 4 - 100 μm)
Straßen			Anstriche		
Asphalt	0,05-0,20	0,95	weiß	0,50-0,90	0,85-0,95
Mittelwert	0,18	-	rot, braun, grün	0,20-0,35	0,85-0,95
Wände			Schwarz	0,02-0,15	0,90-0,98
Beton	0,10-0,35	0,71-0,90	Stadtgebiet		
Beton, weiß	0,71		Wertebereich	0,10-0,30	0,85-0,95
Ziegel	0,20-0,40	0,90-0,92	Mittelwert	0,15	-
Naturstein	0,20-0,35	0,85-0,95	Natürliche Oberflächen		
Holz	-	0,9	trockener, heller Sandboden	0,25-0,45	0,91
Kalkmörtel	0,27	0,91	Getreidefeld	0,10-0,25	
Mittelwert	0,3	-			

Dächer		
Teer und Splitt	0,08-0,18	0,92
Dachziegel	0,10-0,35	0,9
Schiefer	0,1	0,9
Wellblech	0,10-0,16	0,13-0,28
Fenster		
Glas:		
Sonnenhöhe > 60°	0,08	0,87-0,94
Sonnenhöhe 10 – 60°	0,09-0,52	0,87-0,92

Wiese	0,15-0,25	
Laubwald	0,15-0,20	0,9
Nadelwald	0,10-0,15	0,9
Wasserflächen	0,03-0,10	0,97
dunkler Ackerboden	0,07-0,10	0,90-0,98
Neuschneedecke	0,75-0,90	0,90-0,98

Tab.5-2: Strahlungseigenschaften von typischen Baumaterialien und natürlichen Oberflächen (HELBIG, 1987)

Die Differenzierung der Erwärmungspotentiale im Bezug zur Nutzung lässt sich somit aus den Werten des Reflexionsvermögens ermitteln. Die Realnutzung als Mittelung über verschiedene Oberflächenmaterialien und Oberflächenstrukturen ergeben präzisere Satellitenaufnahmen, allerdings wieder als Mittelung innerhalb einer Nutzungsklasse. Messungen ergeben gegenüber dem nicht bebauten Umland Temperaturunterschiede von +2 K im Jahresmittel, bis +10 K im Winterminimum und bis + 15 K in Einzelfällen.

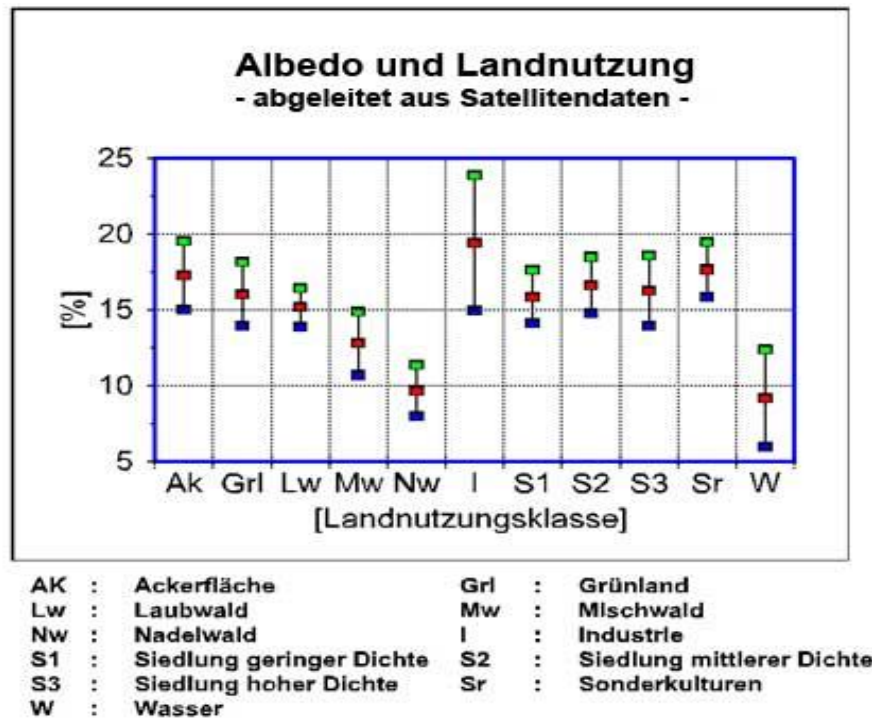


Abb. 5-3: Albedo-Daten aus Satellitenmessungen

Die in Abb.5-3 dokumentierten, von Satelliten gemessenen Albedodaten sind nach Landnutzungsklassen dargestellt. Sie sind über alle Wetterlagen und mehrere in sich differenzierende Landnutzungen gemittelt. Daher sind sie in ihrer geringen Differenzierung nur eingeschränkt für höher aufgelöste Interpretationen verwendbar. Als Grundaussage errechnen die statistisch-dynamischen Klimamodelle nun bis 2100 im globalen Scale Temperaturerhöhungen von knapp $+4,5^{\circ}\text{C}$ und im regionalen Maßstab solche bis $+3,5^{\circ}\text{C}$ im jeweiligen Gebietsmittel. Werden jetzt diese Angaben in Bezug zu der im Jahresmittel in Innenstadtbereichen registrierten mittleren Erhöhung von $+2^{\circ}\text{C}$ gesetzt, so kommt es in jedem Fall auch in den Innenstädten zu dieser regionalen Temperaturerhöhung von $+3,5^{\circ}\text{C}$, so dass insgesamt das thermische Niveau erhöht wird. Dazu muss aber in den städtischen Bereichen noch ein Anteil hinzuaddiert werden, der sich durch die zu erwartende Ausdehnung der Bebauung ergibt. Der Stadtklimaeffekt wird somit auch in Zukunft für eine gegenüber dem Umland überproportionale Erwärmung in den Innenstädten und Gewerbe- bzw. Industriegebieten sorgen.

Untersuchungen dieses Erwärmungseffektes haben gezeigt, dass es seit 1850, also in den letzten 150 Jahren, zu einer maximal doppelt so starken Erwärmung in den Städten gegenüber dem Umland gekommen ist.

So lag in der Stadt Basel, in etwa vergleichbar mit der Größe von Bielefeld, der Erwärmungsbetrag von 1851-2000 bei $+1,58^{\circ}\text{C}$. Dagegen weist die Temperaturerhöhung an der Freilandstation Hohenpeißenberg in diesem Zeitraum eine Erwärmung von lediglich $+0,76^{\circ}\text{C}$ auf (MALBERG, H., 2010).

Ausgehend von den in Kap 2. näher beschriebenen Modellansätzen wurden durch Einbeziehung der in regionalem und lokalem Maßstab beobachteten stadtklimatischen Ausprägungen die auf konservativen Abschätzungen beruhenden Erwärmungsfaktoren festgelegt.

Fazit:

Fasst man diese Ansätze zusammen, können auf Bielefeld übertragen folgende mittlere Erwärmungsfaktoren bis 2100 erwartet werden:

<i>Erwärmung von städtischen Freiflächen</i>	<i>+3,0 bis 3,5 °C</i>
<i>Erwärmung von Überwärmungsgebieten</i>	<i>+4,5 bis 5,0 °C</i>
<i>Erwärmung der Hitzeinsel</i>	<i>+5,5 bis 6,0 °C</i>

6 Die Temperaturentwicklung in Bielefeld, Berechnungen aus Analogieüberlegungen

Die bisher messtechnisch erfasste Erwärmung in Bielefeld (siehe Abb.1-1) beträgt in dem relativ kurzen Zeitraum von 1995 bis 2009 ca. 1°C. Unter der Annahme, dass sich diese Entwicklung fortsetzen wird, sollen Modellrechnungen Aufschluss über das Ausmaß der künftigen Erwärmungen geben.

Daher wurden unter anderem mit dem Modell WETTREG für mehrere Orte in Deutschland die Änderung der temperaturbezogenen Kenntage für das Dezennium 2091-2100 hochgerechnet und mit dem Dezennium von 1981-1990 verglichen. Da für Bielefeld keine explizite Hochrechnung durchgeführt wurde, wäre es bei der Betrachtung der Ergebnisse naheliegend, die Angaben gemäß der Entfernung der Orte zu interpolieren. Untersuchungen von Datenreihen haben aber gezeigt, dass solch eine Vorgehensweise keinen Sinn macht. Eine reine Mittelwertbildung der in Tabelle 2-2 (Kap. 2) angeführten Kennzahltag und deren Abweichungen in der Zukunft würde wegen der Unterschiede in den naturräumlichen Gegebenheiten zu deutlich falschen Ergebnissen für Bielefeld führen.

Aus diesem Grunde wurde eine detailliertere Vorgehensweise gewählt, wobei für den aktuellen Zeitraum von 2004 bis 2010 die vorliegenden Temperaturwerte der am nächsten bei Bielefeld liegenden Stadt Gütersloh auf die Anzahl der Kenntage ausgewertet wurde. Gleiches ist mit den Bielefelder Temperaturdaten geschehen. In Tabelle 6-1 sind noch einmal die in Tabelle 2-2 aufgeführten Werte allein für Gütersloh separat genannt mit einer zusätzlichen Ergebniszeile, in der die resultierende Anzahl der Kenntage im Dezennium 2091-2100 angeführt ist.

Station	Eistage	Frosttage	Sommertage	Heiße Tage
Gütersloh				
Aus Messungen 1981-1990	11,4	63,8	29,8	6,0
Abweichung aus Szenarium A1B 2091-2100	-8,1	-39,2	+25,9	+9,3
Zu erwarten	3,3	24,6	55,7	15,3

Tab.6-1: Veränderungen der Häufigkeit meteorologischer Kenntage von Gütersloh Gegenüberstellung von Basisdaten aus 1981-1990 mit Simulationsergebnissen

In Tab. 6-2 werden nun die für Gütersloh und Bielefeld aus den verfügbaren Messwerten ermittelten Kenntage verglichen:

Messdaten 2004- 2010	Eistage	Frosttage	Sommertage	Heiße Tage
Bielefeld	17,9	64,0	41,4	10,9
Gütersloh	15,4	61,7	36,0	8,1
Differenz Bielefeld- Gütersloh	+2,5	+2,3	+5,4	+2,8

Tab.6-2: Vergleich der jährlichen Mittelwerte der Kenntagszahlen aus Messwerten der Periode 2004-2010 – Bielefeld und Gütersloh

Auf den ersten Blick sind die in Tabelle 6-2 angegebenen Resultate verblüffend. Sämtliche Kenntagszahlen liegen in Bielefeld höher als in Gütersloh. Hier kommt nun der in Untersuchungen festgestellte Einfluss der unterschiedlichen naturräumlichen Gegebenheiten beider Messstandorte sehr deutlich zum Ausdruck. Diese verschiedenen Umfelder der Stationen prägen relevant die Lokalklimate.

Die Grenze dieser differierenden Naturräume bildet markant der Teutoburger Wald. Und da die Koppelung der Naturräume an das Lokal- bzw. Regionalklima eine wissenschaftliche Tatsache ist, fungiert der Teutoburger Wald zwangsläufig auch als Klimascheide mit unterschiedlichen Mittelwerten und diversen statistischen Auswahlwerten vieler meteorologischer Parameter.

So liegt Bielefeld am Westrand des Weserberglandes, dem auch das für den Raum Bielefeld zugeordnete Ravensberger Hügelland angehört. Der Teutoburger Wald bildet naturräumlich die Grenze zur Westfälischen Tieflandbucht, in der die Gütersloher Station liegt. Das Klima der Westfälischen Bucht ist bekanntlich gekennzeichnet durch seinen verstärkt maritimen Charakter mit milderem Wintern und gemäßigeren Sommern. Der hügelige Bereich östlich hiervon ist deutlich kontinentaler geprägt mit größeren Temperaturunterschieden einerseits zwischen Winter und Sommer und andererseits zwischen Tag und Nacht.

Für Bielefeld hinzu kommt nun noch eine weitere Besonderheit. Vor der Gebietsreform in den 1970iger Jahren beschränkte sich der Umfang der Stadt Bielefeld auf

den Bereich nordöstlich des Teutoburger Waldes. D.h. zu dieser Zeit lag sie im Ravensberger Hügelland und der entsprechenden Regionalklimazone. Aber mit der kommunalen Gebietsreform dehnte sich das Bielefelder Stadtgebiet auch auf Bereiche südlich des Teutoburger Waldes aus. Der neue Stadtteil Ummeln z.B. ist der südwestlichste von Bielefeld. Wird also von einem regionalen Bielefelder Klima geredet, müssen beide unterschiedlichen Klimate berücksichtigt werden. Die Auswertungen in der Stadtklimaanalyse Bielefeld haben dies deutlich belegt. Im Rahmen dieser Untersuchung zum Bielefelder Stadtklima ist weiter festgestellt worden, dass der Teutoburger Wald keine scharfe Klimascheide bildet, sondern eine etwa 10 km breite Übergangszone darstellt. Hierbei tendiert der unreliefierte südwestliche Bereich zu einer breiteren Zwischenzone als der nordöstliche Bereich.

Bei den klimatologischen Mittelwerten zeigt sich der Teutoburger Wald als offenkundige Klimascheide. Zeitweise tritt er dabei auch als Wetterscheide hervor, wobei z.B. eine scharfe Trennung der Bewölkungsverhältnisse zu beiden Seiten zu beobachten ist. Auch vermehrte Niederschlagsmengen durch Staueffekte sind bis zu rund 5 km vom Gebirgskamm entfernt nachgewiesen.

Aufgrund der nach Osten zunehmenden Kontinentalität und der im Geländemittel höher gelegenen hügeligen Struktur ist an der Bielefelder Station schon eine größere Anzahl an Frosttagen und Eistagen als in Gütersloh zu erwarten gewesen. Dass aber auch die Anzahl der warmen Kenntage größer ist, zeigt doch sehr deutlich den naturräumlichen Effekt mit dem Teutoburger Wald als Bremse gegenüber maritimer, thermisch ausgleichender Wirkungen von Westen.

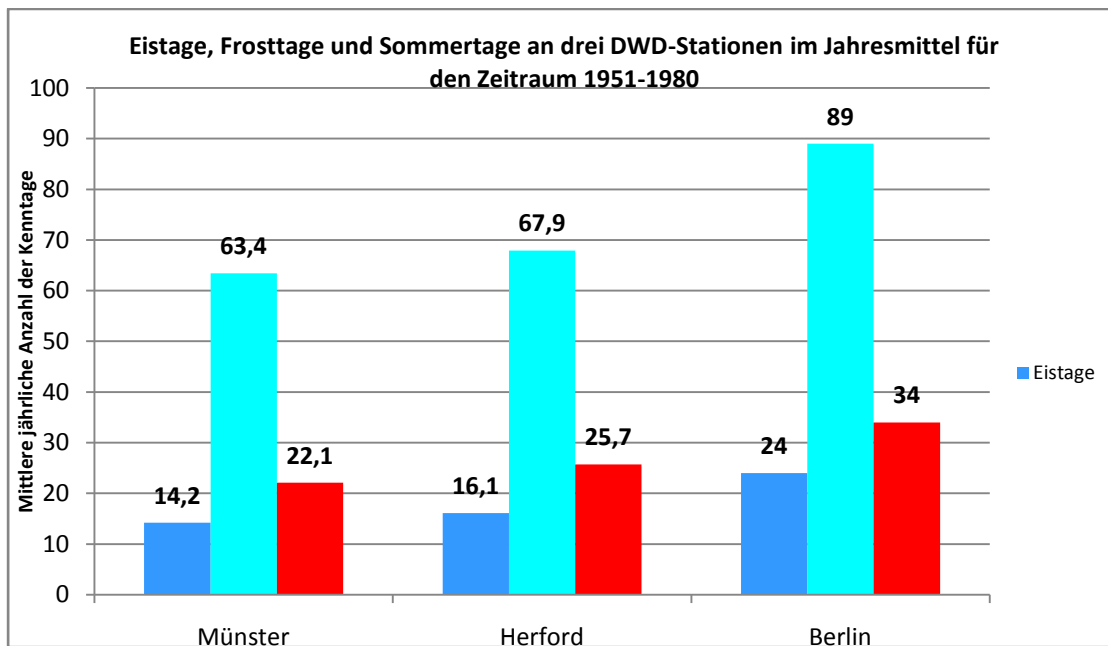


Abb.6-1 : – Eis- Frost und Sommertage an drei DWD-Station – jährliche Mittelwerte vom 30-jährigen Zeitraum 1951-1980

Abbildung 6-1 verdeutlicht noch einmal die zunehmende Kontinentalität von West nach Ost. Die Anzahlen der kalten winterlichen Kenntage, d.h. Eis- und Frosttage nehmen von West nach Ost zu, ebenso auch die Anzahl der warmen sommerlichen Kenntage. Näherungsweise dürften die münsterschen Werte den Gütersloher Aufzeichnungen ähneln. Entsprechend dürften die Angaben für Herford in der Größenordnung der Bielefelder Registrierungen entsprechen. Deutlich zeigt sich die nach Osten zunehmende Kontinentalität bei den Berliner Werten. Sowohl die kalten Kenntage im Winter wie auch die warmen Kenntage im Sommer liegt hier noch einmal augenscheinlich höher.

Nach dieser Einrechnung der naturräumlichen und thermischen Differenzen zwischen Gütersloh und Bielefeld lässt sich bereinigt eine Übertragung der Gütersloher Szenario-Ergebnisse auf Bielefeld vornehmen, indem die in Tabelle 6-3 ausgewerteten Differenzen bei den Szenario-Werten berücksichtigt werden.

Station	Eistage	Frosttage	Sommertage	Heiße Tage
Bielefeld				
Aus Messungen 2004-2010	17,9	64,0	41,4	10,9
Abweichung, Abschätzung Szenarium A1B 2091-2100	-12,1	-37,1	+19,7	+7,2
Zu erwarten	5,8	26,9	61,1	18,1

Tab.6-3: Veränderungen der Häufigkeit meteorologischer Kenntage von Bielefeld
Gegenüberstellung von Basisdaten aus 2004 bis 2010 mit Simulationsergebnissen

So ist an der Bielefelder Station eine größere Anzahl an Frosttagen und Eistagen als in Gütersloh zu erwarten gewesen. Dass auch die Anzahl der warmen Kenntage größer ist, zeigt doch sehr deutlich den naturräumlichen Effekt, obwohl die Bielefelder Station etwas höher liegt als die in Gütersloh.

Nach dieser Einrechnung der naturräumlichen und thermischen Differenzen zwischen Gütersloh und Bielefeld (Tab.6-2) lässt sich bereinigt eine Übertragung der Gütersloher Szenario-Ergebnisse auf Bielefeld übertagen, indem die in Tabelle 6-3 ausgewerteten Differenzen auf die Szenario-Werte addiert werden.

Entsprechend den Änderungen bei den Kenntagen werden auch die Hitzeperioden [$T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$] sich auf 10 bis 12 Tage ausdehnen, die trocken-heißen Perioden [$T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$, unter 0,1mm Niederschlag] 3 bis 6 mal so häufig auftreten.

Fazit:

Aus den Ergebnissen der Modellrechnungen für Hannover und Gütersloh werden unter Berücksichtigung der naturräumlichen Besonderheiten und auf der Basis eines Vergleichs der Messdaten Werte für die für Bielefeld zu erwartende Erwärmung anhand der klimatologischen Kenntage berechnet.

7 Urbane Hitzeinsel sowie Überwärmungsgebiete: Ergebnisse und Entwicklung bis zum Jahr 2100

7.1 Numerische Perspektive des Erwärmungstrends

Da sich einerseits die Nutzungsverhältnisse insbesondere in weiten Teilen der Innenstadt in den letzten 20 Jahren wenig verändert haben und andererseits auch künftig nicht über Dekaden prognostizierbar sind, ist die perspektivische Intensivierung der Erwärmung überwiegend durch globale / regionale Effekte dominiert. Diese Effekte werden in den Klimasimulationen erfasst und führen in der Konkretion für Bielefeld zu den entwickelten Werten.

Die ursprüngliche Annahme einer eindeutigen Ableitung einer Tendenz bei der Veränderung von Struktur und Intensität der innerstädtischen Hitzeinsel allein durch Analyse der multitemporalen spektralen Satellitendaten war nicht stringent. Diese Informationen werden jedoch unter Einbeziehung der Ergebnisse aus Kap. 5 und 6 weitergeführt und aus diesen Annahmen sowohl Erwärmungsfaktoren festgelegt als auch räumliche Abgrenzungskriterien zur Identifizierung der innerstädtischen Hitzeinsel und der Überwärmungsgebiete gewonnen.

Die farbliche Identifizierung aus den Satellitenaufnahmen (siehe auch Kap.4.2) erfolgt für die Überwärmungsgebiete durch die Zuordnung zu Orangetönen (TK 4 warm gemäßigt), die der Hitzeinsel in der Zuordnung zu Rottönen (TK 5 heiß).

Aufnahmedatum	Temperaturbereiche	Anteil (%)
2010	TK 2 Kühl gemäßigt	9,3
	TK 3 gemäßigt	42,5
	TK 4 warm gemäßigt	37,8
	TK 5 heiß	10,4

Tab.7-1: Prozentuale Verteilung der Temperaturbereiche des Satellitenbildes von 2010

Die in der beiliegenden Karte verwendeten Grenzziehungen orientieren sich sowohl an den farblichen Abgrenzungen der Satellitenbilder als auch an der korrigierenden Interpretation durch die Klimatopstruktur.

Die anzunehmenden nutzungsspezifischen Erwärmungen lassen sich nicht nur flächenhaft, sondern auch in etwa absolut beziffern. Damit wird nun eine Basis

geschaffen, die zum Ende des Jahrhunderts zu erwartenden und flächenhaft unterschiedlichen Erwärmungen auch in ihrer Ausprägung abzuschätzen.

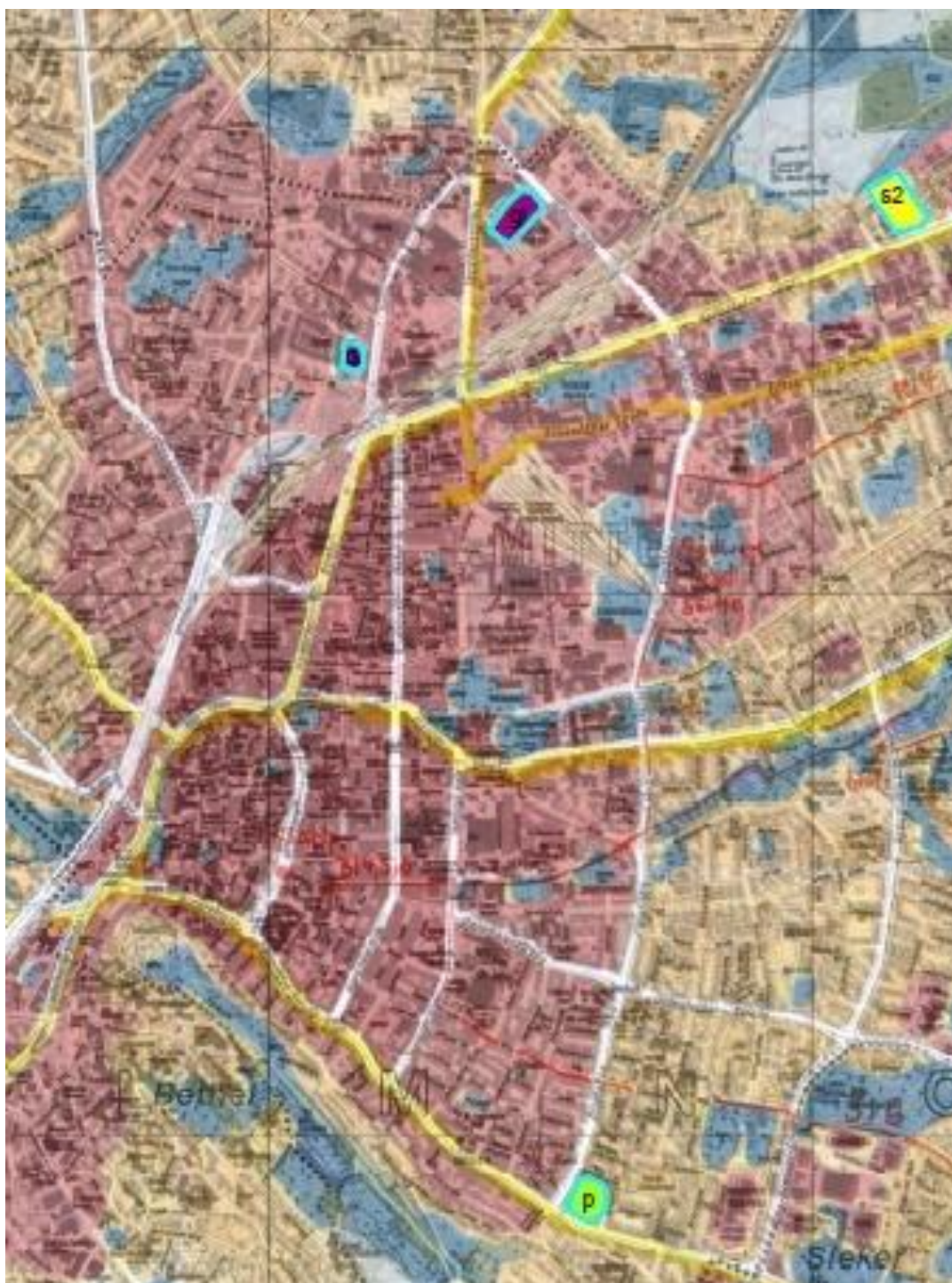
Erwärmung von Freiflächen	+3,0 bis 3,5 °C
Erwärmung der Überwärmungsgebiete (durch Anpassungsmaßnahmen beeinflussbar)	+4,5 bis 5,0 °C
Erwärmung der innerstädtischen Hitzeinsel (durch Anpassungsmaßnahmen beeinflussbar)	+5,5 bis 6,0 °C

Diese überregional verursachten – und daher nur eingeschränkt durch regionale Maßnahmen beeinflussbaren – grundsätzlichen Faktoren sind auf die genannten Klimatope zu beziehen und ergeben damit ein ungefähres Bild der zunehmenden thermischen Belastungen – vor allem des Stadtzentrums.

Um konkreter als relative Faktoren auch Aussagen über real zu erwartende Temperaturen treffen zu können, bietet sich der folgende Ansatz an:

Die höchste Temperatur in den letzten Jahren wurde an der Station UniBi/OSK am 3.7.2010 mit 37,6°C gemessen. Setzt man diese Temperatur als Basis für das Klimatop Stadtgebiet, sollten im Jahr 2100 Erwärmungen bis zu folgenden Werten möglich sein:

Erwärmung von Freiflächen	bis auf ca. 39°C
Erwärmung der Überwärmungsgebiete	bis auf ca. 41°C
Erwärmung der Hitzeinsel	bis auf ca. 44°C



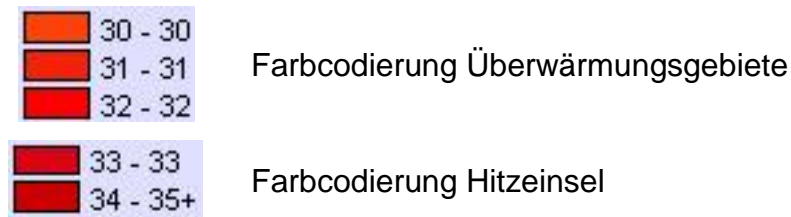
- Legende**
- Freiflächen-Klimatop
 - Stadt-Klimatop
 - Stadtkern-Klimatop

Abb.7-1: Ausschnitt der Klimatopkarte

7.2 Kartografische Abgrenzungen der Überwärmungen in der Tag- und Nachtausprägung

In neuartiger Weise werden die urbanen Wärmestrukturen sowohl in der Tagsituation zum Zeitpunkt von ca. 11:00 Uhr aus den Ergebnissen der Satellitenbilder (Abb.4-1,4-4,4-6) dargestellt als auch in einer Nachtsituation um ca. 3:30 Uhr.

Die Grenzziehungen der Tag-Karte (A.4) erfolgten durch die folgende Einteilung der Farbcodierungen:



Tab. 7-2: Zuordnung der Farbkodierungen der Satellitenbilder

Die Ausdehnung und Intensität der nächtlichen Überwärmung wurde zum Zeitpunkt von ca. 3:30 Uhr in einer weiteren Karte (A.5) dargestellt. Die Datengrundlage hierfür bildeten sowohl die Thermalkarte (Abb.3-6) als auch weitere Interpretationen der nächtlichen Temperaturmessfahrten, die zwischen ca 1:00 und 4:00 Uhr stattfanden (Tab.3-1). Ergänzungen lieferten die Ergebnisse der Simulationsrechnungen für die nächtlichen Kaltluftströmungen (Abb.7-2)

Der in den Karten A.4 und A.5 unterlegte Stadtplan wurde bezogen vom Geodatenzentrum NRW, Köln, mit der aktuellen Georeferenzierung in UTM/WGS84 Koordinaten.

Die Ausdehnung der Hitzeinsel am Tag umfasst nicht nur die Stadtmitte, sondern auch Bielefeld-West, Teile von Schildesche, Sieker sowie erstreckt sich auch entlang der Eckendorfer und Herforder Straße. Die Ausdehnung der nächtlichen Hitzeinsel beschränkt sich – wie zu erwarten – auf Teilbereiche der Tageshitzeinsel.

Bei der Gegenüberstellung beider Karten wird das unterschiedliche Abkühlungsverhalten der jeweiligen Klimatope erkennbar. Vereinfachend lässt sich sagen, dass mit den Klimatopen vorwiegend die Aussagen zu Gunst- bzw. Ungunstfaktoren bioklimatischer Art verknüpft sind, wohingegen die klimatopübergreifenden räumlichen Festlegungen spezifischer Austauschcharakteristika, wie z.B. besondere Modifikationen von Windfeldern u.a.m., eng mit der Fähigkeit des Abtransportes von Luftschadstoff-

fen verbunden sind. Es ist also aus humanbiometeorologischer Sicht besonders bedeutsam, die Problembereiche schärfer einzugrenzen, indem sie die unzureichende Abkühlungsleistung aufgrund mangelnder Durchlüftung verdeutlicht.

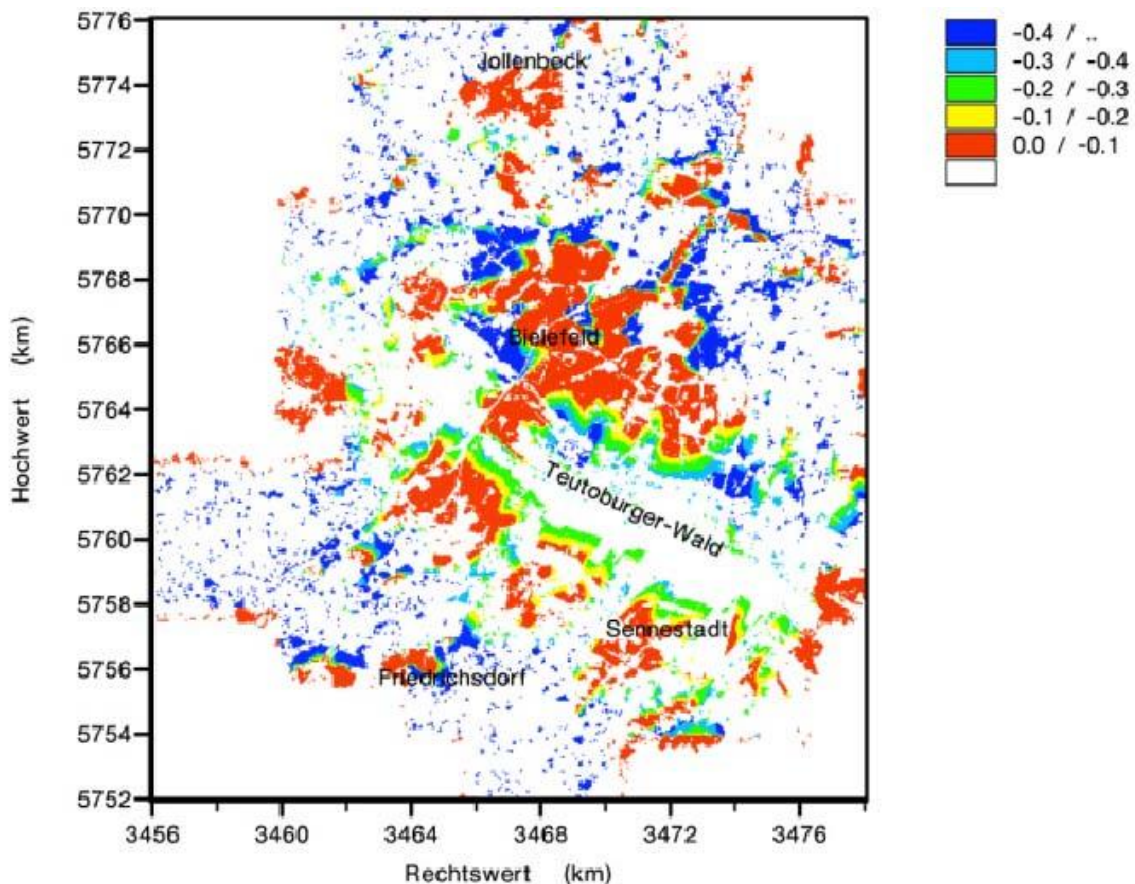


Abb.7-2: Räumliche Verteilung der Temperaturveränderung in Siedlungsgebieten durch nächtliche Kaltluftströme [°C] (Groß,2002)

Diese Differenzen erklären sich auch in den Zuschreibungen der Klimatope, die noch einmal skizzenhaft erläutert werden:

Stadt-Klimatop

Mehrgeschossige geschlossene Bebauung mit wenig Grünflächenanteilen und freistehenden Hochhäusern prägt das Stadt-Klimatop. Bei deutlicher Aufheizung am Tage verbleibt die nächtliche Abkühlung auf höherem Niveau gegenüber den Umlandklimatopen. Dadurch entsteht gegenüber der Umgebung ein Wärmeineffekt mit relativ niedriger Luftfeuchtigkeit. Die dichte und hohe Bebauung beeinflusst die regionalen und überregionalen Windsysteme in erheblichem Umfang, so dass der Luftaustausch eingeschränkt ist und eine insgesamt erhöhte Schadstoffbelastung besteht.

Stadtkern-Klimatop

Dichte und hohe innerstädtische Bebauung mit sehr geringen Grünanteilen führt tagsüber zu starker Aufheizung und nachts zur Ausbildung einer deutlichen Wärmeinsel bei durchschnittlich geringer Luftfeuchtigkeit. Die massive Bebauung führt zusammen mit der ausgeprägten Wärmeinsel auch zu einer starken Abschwächung der

regionalen und überregionalen Winde. Insgesamt besteht eine relativ hohe Schadstoffbelastung.

Gewerbe-Klimatop

Das Gewerbe-Klimatop entspricht im Wesentlichen dem Klimatop der verdichteten Bebauung, d.h. Wärmeinseleffekt, geringe Luftfeuchtigkeit, erhebliche Windfeldstörung. Im nächtlichen Wärmebild fällt teilweise die intensive Auskühlung z.B. im Dachniveau großer Hallen auf (insbesondere mit Blechdächern), während die von Gebäuden gesäumten Straßen und Stellplätze weiterhin stark erwärmt bleiben.

Bahnanlagen-Klimatop

Das Bahnanlagen-Klimatop ist durch eine intensive Erwärmung am Tag und eine rasche nächtliche Abkühlung gekennzeichnet; allerdings liegen die Oberflächentemperaturen nachts dort höher als im Freiland. Die Gleiskörper sind aufgrund ihrer geringfügigen Überbauung windoffen und dienen in bebauten Gebieten oftmals als Luftleitbahnen bzw. Luftaustauschflächen. Ihre Berücksichtigung als Klimatop erfolgt ab Breite von ca. 50 m, d.h. nur im Falle mehrgleisiger Bahnstrecken. Neben Luftleitwirkungen durch Regionalwinde gibt es in schwächerer Form auch Austauschprozesse durch autochthone Vorgänge wie die Ausbildung starker Temperaturgegensätze auf engem Raum infolge nächtlicher Kaltluftproduktion über Freiflächen und aufgeheizter angrenzender Bebauung. Die daraus folgenden stadtklimatisch relevanten Effekte wie Eindringtiefe der Kaltluft in die Bebauungszone oder Erstreckung von Kaltluftzugsgebieten, Größe von Kaltluftstaugebieten und Kaltluftstaubereiche sind eher überlagernder Natur.

8 Planungsbeispiele für Klimaanpassungsmaßnahmen

Für die besonders ausgeprägten Überhitzungsbereiche lassen sich viele vorbeugende Maßnahmen zur Reduktion und zur Vorsorge entwickeln. Diese betreffen recht unterschiedliche Kategorien, wie sie in dieser allgemeinen Übersicht des Umweltbundesamtes (UBA, Dessau, 2010) verdeutlicht werden.

Gesundheitliche Belastung durch Hitze

Hitze-Gesundheits-Warnsystem

Verbessertes Notfallsystem

Energieeffiziente Klimaanlage in Seniorenheimen und Krankenhäusern

Zusätzlich zu Warnsystem: schon im Vorfeld Identifizierung und Beratung von Risikopersonen

Klimagerechtes Gebäudedesign

Dach- und Fassadenbegrünung

Erhaltung und Förderung von Kaltluftentstehungsgebieten

Reduzierung der Versiegelung

Förderung der Verdunstung durch offene Wasserflächen

Frischluftschneisen für städtische Belüftung Gebäude und Bauwesen,

Freihaltung von Wasser-, Wald-, Grün- und Parkflächen von Bebauung (Bauleitplanung)

Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit durch Verschlechterung der Luftqualität

Frischluftschneisen für städtische Belüftung
Freihaltung von Wasser-, Wald-, Grün- und Parkflächen von Bebauung (Bauleitplanung)
Gebäude und Bauwesen,

Aufheizen der Innenräume von Gebäuden

Reduktion der Sonneneinstrahlung (Art, Größe, Verschattung von Fenstern) Anlagen,
Fassaden- und Dachdämmung
Nachtlüftung, innovative natürliche Klimatisierung

Diese allgemeinen Hinweise lassen sich in Bezug auf Bielefeld in den folgenden, insbesondere auf das Stadtkern-Klimatop (siehe Abb.7-1) bezogenen Fallbeispielen konkretisieren, bei denen sowohl in ‚Gunst-‘ als auch in ‚Ungunstgebieten‘ (Näheres siehe Witterungsbericht 2009) durch planerische Maßnahmen der Überwärmung entgegengewirkt werden kann. Die Umsetzung und Priorisierung wird sich nach den Eingriffsmöglichkeiten bei der Stadtentwicklung richten müssen und jeweils mit einer Einzelfalluntersuchung qualitativ und quantitativ zu bewerten sein. In der Regel wird dies durch humanbiometeorologische Modellrechnungen mit mehreren Planungsvarianten erfolgen.

A. Stadtkern-Klimatop

1. RAVENSBERGER PARK UND UMFELD

- Der Grünflächenverbund ist planerisch langfristig zu sichern.
- Absicht muss sein, Erweiterungen Richtung Kernstadt nach Westen zu erreichen (vgl. Ungunstgebiet Kesselbrink)
- ferner bietet sich eine stärkere Kontaktierung über die „Hermann-Delius-Straße“ nach Osten hinaus mit dem Grünzug der „Weser-Lutter“ an.
- Zur Sicherung der positiven Funktionen sollte einer Erhöhung bodennaher Emissionen im Bereich von den umgebenden Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen (u.a. „Heeper Straße“) stringent entgegengewirkt werden.
- Erweiterung der Grünflächen durch Rückbau des aufgegebenen Fachhochschulgeländes

2. KESSELBRINK

- Der Kesselbrink sollte durchgehend durch Bäume strukturiert werden. Die Zunahme von abgeschatteten Bereichen durch breitkronige Bäume sorgt dafür,

dass die Fläche sich tagsüber nicht so stark aufheizt. Eine hinreichende Durchlüftung darf dabei nicht verhindert werden. Die Aufenthaltsqualität lässt sich dadurch steigern.

- Parkplatzflächen mit Rasengittersteinen versehen. Dadurch wird der Anteil verdunstungsaktiver Flächen erhöht.
 - Gestaltung von offenen Wasserflächen
 - Begrünung der Flachdächer am Südrand.
 - durch die Erhöhung der Grünanteile ergibt sich verstärkt eine gestalterische Zuordnung zu den Parkanlagen (Ravensberger Park) um das „Wiesenbad“
 - Es ist zu überlegen, inwieweit der „Alte Friedhof“ gestalterisch stärker angebunden werden kann
 - Das individuelle Verkehrsaufkommen auf den umgebenden Straßen ist zu reduzieren
3. HERFORDER STRASSE (VON KREUZUNG „AM STADTHOLZ“ /“STADTHEIDER STRASSE“ BIS ZUM WELLBACH)
- Gliederung der hoch verdichteten Gewerbeflächen durch Pflanzstreifen
 - Teilentsiegelungsmaßnahmen
 - Dachbegrünung der Flachdächer
 - Versiegelungsgrad darf nicht über 60 % liegen, d.h. langfristig sollte eine Reduktion auf 60 % angestrebt werden
 - Bestehende Baulücken nicht versiegeln
 - Freilandschneise zwischen Hellingskampschule und Hellingstrasse erhalten
 - Übergangsbereiche von Wohnflächen zu den Grünflächen sind offen zu gestalten
 - Aufwertung des Straßenraums der „Herforder Straße“ durch großkronige schatten spendende Bäume. Um die Belüftungsfunktion der Straße aber nicht einzuschränken, sind die Bäume in ausreichendem Abstand zueinander zu pflanzen, d.h. keine dichte Alleebepflanzung
4. BRACKWEDE - GEWERBE- UND INDUSTRIEGEBIETE (BEREICH GÜTERSLOHER/HAUPTSTR.)
- Gliederung der hoch verdichteten Bauflächen und betrieblichen Funktionsbereiche durch breite Pflanzstreifen und Grünzüge
 - Entsiegelungsmaßnahmen nicht mehr benötigter Flächen
 - Dachbegrünung der Flachdächer und Fassadenbegrünung

- Erhöhung des Anteils großkroniger Bäume als natürliche Schattenspende zur Erhöhung der Aufenthaltsqualität
- Anlage von Lärm- und Immissionsschutzbepflanzungen im Übergangsbereich zu benachbarter sensibler (Wohn-)nutzung zur Gewerbeumfeldverbesserung
- Reduktion der Emissionen aus Produktion und Verkehr
- Versiegelungsgrad in den Gemengelagebereichen zwischen „Südstraße“ und „Südring“ darf nicht über 60 % liegen, d.h. langfristig sollte eine Reduktion auf 60 % angestrebt werden

Weitere bedeutende, innerstädtische Einflussbereiche:

5. ALTER FRIEDHOF
6. GRÜNSTREIFEN ZWISCHEN KUNSTHALLE UND „KLOSTERSTRASSE“
7. UMFELD „HANNS-BISEGGER-STRAßE“ / „OSTMANN-VIERTEL“

B. Stadtklimatop

1. NORDPARK
 - Der Nordpark muss als bedeutender Ausgleichsraum und wohnumfeldnaher Erholungsraum planerisch dauerhaft gesichert bleiben.
 - Es sollte eine Anbindung des Nordparks als bislang isolierte Parkanlage an das Parkgelände „Klarhorst“ im Nordosten angestrebt werden. Generell wird als Anpassungsmaßnahme die Vernetzung vorhandener isolierter Parkanlagen als Klimaoasen angestrebt. Konkret sind hierbei die Parkplatzflächen zwischen „Sudbrackstraße“ und Schwartzkopffstraße“ auf ihren Versiegelungsgrad zu überprüfen (Rasengittersteine, wasserdurchlässige Fugen etc.) Betriebliche Bereiche sind gegebenenfalls stärker durch Pflanzstreifen zu untergliedern
 - Die den Nordpark umgebende Bebauung ist auf den Luftaustausch behindernde Bereiche zu überprüfen, insbesondere im Norden zur „Bünder Straße“
 - Bestehende Baulücken an den anderen Umgrenzungen sollten nicht geschlossen werden - Gegebenenfalls sind im Rahmen der Grünpflege die Gehölzarten auf ihre Klimaresilienz zu überprüfen
 - In Zukunft sollten Parkanlagen mehr darauf ausgestaltet werden, dem Nutzer unterschiedliche Aktivitäten zu ermöglichen. Nicht nur ruhen und wandern sollten im Vordergrund stehen, sondern auch aktive körperliche Betätigung

sollte ermöglicht werden, um die nötige Abwechslung zum städtischen Leben zu gewährleisten.

2. GRÜNZUG DER „WESER-LUTTER“

- Die Grünschneise muss als wesentlicher Teil des städtischen Grünverbundsystems langfristig planerisch gesichert bleiben. Die stadtklimatischen Auswirkungen dieser Grünzonen haben klimastabilisierende Effekte bei zu erwartenden überregionalen ungünstigen Klimaveränderungen.
- Innerhalb des Bereiches, in dem sich dicht nördlich und südlich die Bebauung anschließt, ist zu prüfen, an welchen Stellen der Luftaustausch zwischen Grünschneise und Siedlung, also quer zum Grünzug verlaufend, durch Beseitigung verriegelnder Strukturen verbessert werden kann.
- So bedeutsam Baum- und Buschvegetation für die Filterwirkung von Luftschadstoffen ist, muss dennoch geprüft werden, mit welcher Anordnung der Bepflanzung der Luftaustausch in Längsrichtung des Grünzuges der Weser-Lutter weiter verbessert werden kann. Immerhin existiert eine Verbindung zum Kaltluftproduktionsgebiet Baderbach, dessen Zone ebenfalls nicht allzu dicht bepflanzt sein darf, damit die rauigkeitssensiblen, kaltluftabflussbedingten lokalen Windsysteme aufrechterhalten bleiben.
- Neue Erkenntnisse in Bezug auf die Klimaresilienz von Baum- und Buschvegetationen sollten bei der Grüngestaltung berücksichtigt werden

3. BRACKWEDE - BEREICH DES „STADTRING“ UND DER NÖRDLICHEN „BERLINER STRASSE“

- die versiegelte Verkehrsfläche ist zu verringern
- der Übergang zur angrenzenden Wohnbebauung ist zu durchgrünen, z.B. mit großkronigen schattenspendenden Bäumen. Um die Belüftungsfunktion der Straße aber nicht einzuschränken, sind die Bäume in ausreichendem Abstand zueinander zu pflanzen, d.h. keine dichte Alleebeplanzung

Weitere bedeutende, städtische Einflussbereiche:

4. OETKERPARK / BZW. BÜRGERPARK (IM WESTEN)
5. UMFELD KLINIKUM BIELEFELD (IM OSTEN)
6. NICOLAIFRIEDHOF (IM NORDOSTEN)
7. CONTAINERBAHNHOF BIELEFELD-OST
8. STAPENHORSTSTRAÙE
9. OSNABRÜCKER STRAÙE

C. Freiflächen-Klimatop

Zwar führen die globalen Temperaturerhöhungen zu einer mittleren Erhöhung auch der nächtlichen Temperaturen der Freiflächen, entscheidend aber ist für die Ausprägung des Wärmeinseleffektes die durch den Temperaturgegensatz zwischen Freiflächen und bebauten Flächen entstehende Dynamik des Kaltluftaustausches zwischen dem Ausgleichsraum Freifläche und dem Wirkraum der bebauten Fläche. Diese Dynamik unterliegt planerischem Einfluss. Aus der vergleichenden Flächenanalyse anhand der Karten der klimatischen Schutzzonen zeigt sich in den letzten 12 Jahren ein deutlicher Rückgang der Freiflächenklimatope. Der Erhalt einer größtmöglichen Kaltluftdynamik nimmt als Steuerungsinstrument gegenüber der allgemeinen Erwärmung daher an Bedeutung zu. Als Konsequenz sollte ein genauer bilanzierendes Instrument als die zeitliche Entwicklung der „Flächen mit hoher Empfindlichkeit“ (Kuhr, 2007) eingeführt werden. Dieses wurde im Rahmen der kommunalen Naturhaushaltswirtschaft als „Klimaindikator für die Quantifizierung der Wirksamkeit von Kaltluftentstehungs- und –einzugsgebieten“ vorgestellt (Thiessen et al). Zusätzlich zur Flächengröße gehen dabei die bewertenden Parameter Geländeneigungswinkel, Nutzungsarten, Bodenwärmefluss, etc mit ein. Auch neuere Forschungsansätze zur Kühlungsleistung von Böden weisen ähnliche Wege (Höke, ahu,2011).

Fazit:

Aus den Ergebnissen des Satellitethermalbildes von 2010, den Darstellungen der Klimatop- und der Thermalkarte, sowie Korrekturen durch Realnutzungsgrenzen wurden Kartengrundlagen für die Tag- und Nachtsituation entwickelt, die die flächige Ausdehnung der urbanen Überwärmungsgebiete und der Hitzeinsel dokumentieren. Aus der differenzierenden Ableitung der allgemeinen Klimaveränderung werden realnutzungsabhängige Erwärmungsfaktoren für Bielefeld entwickelt sowie Absolutwerte berechnet. In einzelnen konkreten Beispielen werden planungsrelevante Klimaanpassungsmaßnahmen vorgeschlagen.

8 Literaturangaben

- Bechtel, B. Multitemporal Landsat data for Urban Heat Island assessment and classification of Local Climate Zones, Hamburg, 2011
- Chen, J. et al A simple and effective method for filling gaps in Landsat ETM+ SLC-off images in: Remote Sensing of Environment 115 (2011)
- Fabig, Ilka Die Niederschlags- und Starkregenentwicklung der letzten 100 Jahre... als Indikatoren möglicher Klimaänderungen, Auswertung von Großwetterlagen Universität Halle, 2007
- Frey, C. M. & Parlow, E. Über den Einfluss der städtischen Geometrie auf die satellitengestützte Bestimmung des Rückstrahlvermögens, Institut für Meteorologie, Klimatologie und Fernerkundung, Basel, 2007
- Grawe, D. et al Coupling of the mesoscale model METRAS with an improved urban parameterisation, North Carolina, USA, 2010
- Griesebner, G. How can I solve the problem of gaps in Landsat 7 IDRISI-Software, Universität Salzburg, 2009
- Helbig, A: Beiträge zur Meteorologie der Stadtatmosphäre. Abhandl. Meteorol. Dienst Deutsche Demokr. Rep. 137(1987):
- Hoechstetter, S.; Krüger, T. et al Using geospatial data for assessing thermal stress in cities In: Car, A.; Griesebner, G.; Strobl, J. (Eds.) : Geospatial Crossroads @ GI_Forum -10. Proceedings of the Geoinformatics Forum Salzburg. Berlin; 2010
- Höke, S. Kühlungsleistung von Böden – Ein ungenutztes Potential für überhitzte Städte, Essen, 2011
- Krause, A. Der Klimawandel in Niedersachsen, Hannover, 2008
- Kropp, J. et al Klimawandel in Nordrhein-Westfalen, Regionale Abschätzung der Anfälligkeit ausgewählter Sektoren, Abschlussbericht, Potsdam, 2009
- Kuppe, Stefanie Auswirkungen von Straßenbegleitgrün auf den thermischen Komfort für Menschen Freiburg, 2008
- Kuttler, W. Barlag, A. Mehr als städtische Wärmeinseln, Essener Unikat 19/2002
- Kuttler, W. Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 1: Wirkungen; Teil 2: Maßnahmen, Environmental Science Europe, 2011
- LANUV-Fachbericht 27 Klima und Klimawandel in Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen, 2010
- Mudelsee, M., et al. Climate Modell BIAS Correction und die Deutsche Anpassungsstrategie in: Mitteilungen DMG, 3/2010

- MUNLV, 2009, Handlungsoptionen zur Verringerung der Hitzebelastung
- MUNLV, 2010, Handbuch Stadtklima, Maßnahmen und Handlungskonzepte zur Anpassung an den Klimawandel
- Padula, F.P. Historic Thermal Calibration of Landsat 5 TM through an Improved Physics Based Approach, New York, 2008
- Parlow, E, Analyse von Stadtklima mit Methoden der Fernerkundung, Geographische Rundschau, Heft 2, 1998
- Parlow, E., U. Fehrenbach, D. Scherer & H.-D. Beha (2001): Klimaanalysekarten der Region Basel. In: REKLIP-Synthesebericht, Band 4: Klima und Raumplanung. Editions Coprur, Strassburg:
- Raabe, A. Hrsg. Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig, Band 49, 2012
- Reimeier, T. Kommunale Naturhaushaltswirtschaft, Bielefeld, 2010
- Sauer, M. Analyse regionaler Klimaszenarien für Niedersachsen, Hannover, 2009
- Schlünzen, H. Kleinräumige Betrachtung des Klimawandels und die Wirkung auf Freiflächen, Hamburg, 2010
- Sulzer, W. Die Eignung von LANSAT-TM Thermal-Nachtaufnahmen bei der Erstellung von Klimateignungskarten, Grazer Schriften 38/2002
- Stadtklima Bielefeld, Zentrum für Wissenschaft und Praxis, Universität Bielefeld, 1995
- Stock, M. et al Risiken, Vulnerabilität und Anpassungserfordernisse für klimaverletzliche Regionen in: Raumforschung und Raumordnung, 2009
- Thissen, K. et al Quantifizierung der Wirksamkeit von Kaltlufteinzugsgebieten durch einen flächenbezogenen Klimaindikator, GFT, Universität Bielefeld, 2000
- Wienert, U. et al, Eine einfache Methode zur Abschätzung des urbanen Wärmeinselleffektes..., in Raabe, A. Universität Leipzig, 2012
- Willner, B. Methodenentwicklung zur stadtklimatologischen Interpretation von multi-temporalen und -spektralen Landsat-Satellitenbildern am Beispiel Bielefelds Universität Bielefeld, 2004
- Witterungsberichte 2007 bis 2011 (im Druck) GFT, Universität Bielefeld, fortlaufend
- Yang, J. Wang, Y.Q. Estimation of land surface temperature using LANDSAT-7 ETM+ thermal infrared and weather station data, Kingston, USA, 2001

Anhang

A. Methodik der Thermalkartierungen Bielefelds aus der Bearbeitung von Satellitenbildern

Die Auswertung von Satelliten-Thermalbildern kann wertvolle Beiträge leisten indem sie sehr komplexe Sachverhalte entschlüsselt, wie sie die Beobachtung thermischer Parameter wie das Temperaturverhalten von Oberflächenmaterialien, Verlauf und Intensität von Wärmeströmen, Bildung von Kaltluftseen etc. erfordern. Thermalbilder besitzen hier gegenüber den klassischen Methoden wie beispielsweise Messfahrten den Vorteil, als dass sie eine Darstellung der flächigen Verteilung der Oberflächentemperatur zeitgleich ermöglichen und damit über räumliche Zusammenhänge anderweitig nicht erfassbare Informationen vermitteln. Mit Hilfe klassischer Verfahren dagegen sind die entsprechenden Parameter nur punktuell messbar, so dass die Wiedergabe der flächenhaften Verteilung mit viel Aufwand und großer Unsicherheit verbunden ist.

Bei der Auswahl von Aufnahmen waren folgende Aspekte ausschlaggebend:

- ❖ Zeitraum von ca. 10 Jahren zwischen den drei Aufnahmen
- ❖ vergleichbarer Aufnahmezeitpunkt (Tageszeit)
- ❖ bestmögliche Wolkenfreiheit
- ❖ weitestgehend ähnliche Wetterbedingungen
- ❖ vergleichbare Aufnahmesysteme der Satelliten
- ❖ vergleichbarer Aufnahmekanal

Die Aufnahmen sind in etwa zur gleichen Zeit am Vormittag entstanden, so dass von nahezu ähnlichen Strahlungsbedingungen ausgegangen werden kann.

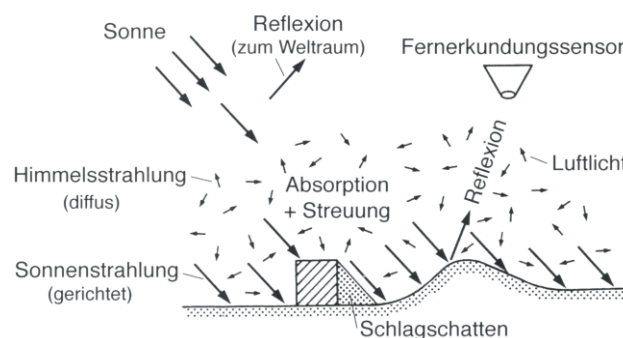


Abb. A-1: Strahlungsverhältnisse bei der Aufnahme (schematisch)
Absorption und Streuung in der Atmosphäre beeinflussen sowohl die Geländebeleuchtung (Himmelslicht) als auch die Aufnahme von Bilddaten durch den Sensor (Luftlicht).

Bei wolkenlosem Himmel treten in den gemäßigten Breiten direkte Sonnenstrahlung und diffuses Himmelslicht etwa im Verhältnis 6 : 1 auf. Mit zunehmender Bewölkung steigt der Anteil der diffusen Strahlung, bei geschlossener Schichtbewölkung beträgt die Globalstrahlung noch ca. ein Viertel derjenigen bei wolkenlosen Bedingungen

Reflexionseigenschaften von Objekten der Erdoberfläche

BODEN

Für die Reflexionseigenschaften eines unbewachsenen Bodens ist die Beschaffenheit der obersten Bodenschicht maßgeblich. Dabei üben u.a. die Bodenfarbe, die Feuchtigkeit, die Art und Größe der bodenbildenden mineralischen Bestandteile, die Art und der Anteil humoser Stoffe, der oberflächlich anliegende Steingehalt, die Korngröße und die Grobstruktur (als Folge von Bodenbearbeitung, z.B. Ackerfurchen) einen entscheidenden Einfluss aus. Mit zunehmender Feuchtigkeit von Böden und anderen Materialien nimmt die Reflexion über den ganzen Spektralbereich ab. Daher erscheint feuchter Boden in Satellitenbildern stets dunkler als trockener. Untersuchungen von Gesteinsproben haben gezeigt, dass die Reflexion nicht dem LAMBERT'schen Reflexionsgesetz folgt. Konsequenz für die Bildverarbeitung ist, dass bei der Klassifizierung und Identifizierung von Gesteinen aus Fernerkundungsdaten insbesondere das Geländere Relief und die Beleuchtungssituation mit Berücksichtigung finden müssen. Selbst gleiche Oberflächen zeigen je nach Winkelkonfiguration unterschiedliche Grauwerte. Eine Korrektur der jeweilig unterschiedlich vorherrschenden Beleuchtungsverhältnisse kann mit Hilfe eines digitalen Geländemodells erreicht werden

REFLEXIONSEIGENSCHAFTEN VON BAUSTOFFEN

Die Reflexion verschiedener Baumaterialien, wie z.B. Metallen, Hölzern und Steinen, ist abhängig von ihrer stofflichen Zusammensetzung, ihrer Oberflächenstruktur und ihrem aktuellen Zustand. Bei Materialkonglomeraten wie Beton, Asphalt, Kunststeinen u.a. beeinflusst dementsprechend auch die qualitativ und quantitativ unterschiedliche Zusammensetzung der Gemengeteile die Reflexion. Auf diese Weise ist es möglich, dass sich zwei Betone bei gleicher Oberflächenstruktur in ihren Reflexionseigenschaften aufgrund unterschiedlicher Zementsorten und Zuschlagstoffe oder abweichender Mischungsverhältnisse dieser Komponenten in einem gewissen Rahmen unterscheiden. Die stoffliche Zusammensetzung kann sich auch durch Verwit-

terung verändern, die ebenso Auswirkung auf die Struktur der Materialoberflächen hat. Die strukturbedingten Reflexionsunterschiede kommen insbesondere dann zum Tragen, je geringer die Sonnenhöhe ist und desto größer damit die Beeinflussung von Schattenanteilen auf der reflektierenden Fläche wird.

A.1 Spezifitäten der erworbenen Satellitendaten von Landsat 5 -, Landsat 7- und ASTER-Missionen

LANDSAT 5

Der Satellit LANDSAT 5 wurde am 1. März 1984 gestartet und umkreist die Erde in 705 km Höhe auf einer fast polaren ($98,22^\circ$), sonnensynchronen Flugbahn mit einer Umlaufzeit von 99 Minuten und einer Repetitionsrate (Überflug gleicher Gebiete) von 16 Tagen. Die Zeiten für den Überflug der jeweiligen Regionen sind so gewählt, dass von möglichst optimalen Aufnahme-Bedingungen ausgegangen werden kann. So wird Mitteleuropa etwa um 10.15 Uhr (kurze Schatten) überflogen. Der Rückflug erfolgt auf der Nachtseite der Erde.

SENSORSPEZIFIKATION: DER SENSOR THEMATIC MAPPER (TM)

Der bei LANDSAT 5 eingesetzte Thematic Mapper ist ein optomechanischer Zeilenabtaster, der eine entscheidende Verbesserung der Daten- und Bildqualität mit sich bringt. Er arbeitet auf 7 Kanälen vom sichtbaren ($0,45 - 0,52 \mu\text{m}$) bis zum thermalen Infrarot-Bereich (TIR) ($10,4 - 12,5 \mu\text{m}$) des elektromagnetischen Spektrums, wobei jeder Kanal eine radiometrische Auflösung von 8 Bit besitzt. Kanäle 1 bis 5 sowie 7 werden über je 16, der TIR-Kanal 6 über nur 4 Detektoren aufgezeichnet. Die einzelnen Bildpunkte werden in einem Bereich von je 256 Graustufen in den 7 Spektralbereichen dargestellt. Der TM registriert bei jeder Spiegeldrehung eine 480 m breite Zeile über einem Geländeausschnitt von 185 km, dies bedeutet eine 16-fache (bzw. 4-fache für Kanal 6) Unterteilung des Streifens. Die geometrische Auflösung beträgt demnach $30 * 30$ Meter mit der Ausnahme des Kanals Nr. 6, der eine Auflösung von $120 * 120$ m aufweist. Die Größe jeder in ca. 25 Sekunden abgetasteten Szene beträgt (in der ESA-Norm) $183 * 172,8$ km bzw. $6100 * 5760$ Pixel. Da der Satellit weit über seine geplante Einsatzzeit verwertbare Daten liefert, wurde die Langzeitstabilität der Temperaturinformationen von 1984 bis 2007 überprüft.

Abb.10 zeigt nun als Ergebnis ein Histogramm mit den Differenzen zwischen den am Erdboden gemessenen Temperaturen und den aus Rückstrahlungsdaten gewonne-

nen Temperaturen. Die häufigsten Abweichungen liegen unterhalb $\pm 0,2$ K, so dass diese Landsat 5 Daten eine hinreichend genaue Beschreibung der bodennahen Temperaturverteilung ergeben.

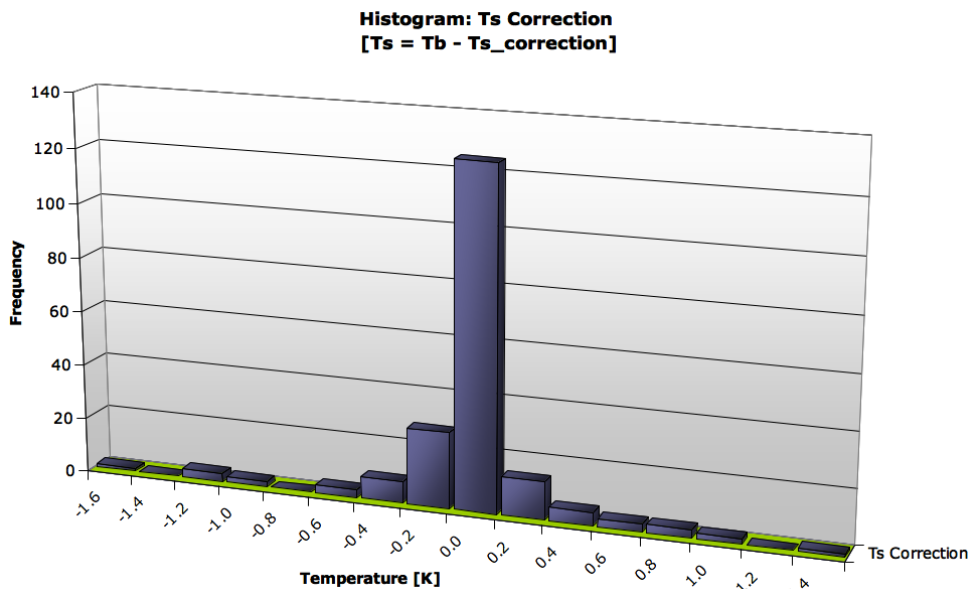


Abb.A-2: Häufigkeitsverteilung der erforderlichen Temperaturkorrekturen

LANDSAT 7

Am 15. April 1999 wurde LANDSAT 7 erfolgreich gestartet und ist seit Juli 1999 in Betrieb. Umlaufbahn und Repetitionsrate sind mit denen der Vorgänger 4 und 5 identisch, so dass die Datenkontinuität gesichert und auf diese Weise die Untersuchung von Veränderungen ermöglicht wird. Der Überflug von LANDSAT 7 ist dabei im Vergleich zu LANDSAT 5 um 8 Tage versetzt.

SENSORSPEZIFIKATION: DER SENSOR ETM+ (ENHANCED THEMATIC MAPPER PLUS)

Der Sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) zeigt im Vergleich zum Vorgänger LANDSAT 5 deutliche Verbesserungen sowohl bei der geodätischen

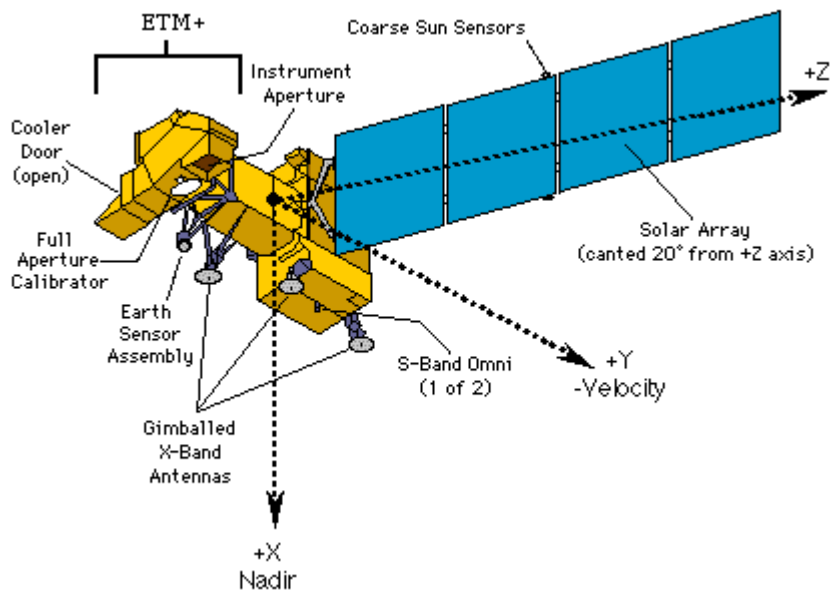


Abb. A-3: Der Satellit LANDSAT 7 (NASA, 2000)

Referenzierung (Navigation) sowie radiometrischen Kalibrierung als auch bei der spektralen Auflösung . So besitzt er einen zusätzlichen panchromatischen Kanal im Spektralbereich von 0,5 µm bis 0,9 µm mit einer Pixelauflösung von 15 m und beim Thermalkanal eine höhere Auflösung von 60 m. Die Koregistrierung aller Kanäle zueinander wird mit einer Genauigkeit von 0,3 Pixel (90%) gewährleistet. Die radiometrische Kalibrierung soll in allen Kanälen mit einem Fehler von maximal ± 5 % erfolgen.

ASTER

Der Satellit, *The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)*, wurde in Japan gebaut und im Dezember 1999 in Betrieb genommen. Ein Vergleich der technischen Ausstattung zeigt, dass das thermische Infrarot in fünf getrennten Kanälen 10 bis 14 registriert wird und damit nicht unmittelbar vergleichbar zu den Landsat 5 und 7 Aufnahmen ist. Die räumliche Auflösung beträgt 90 m

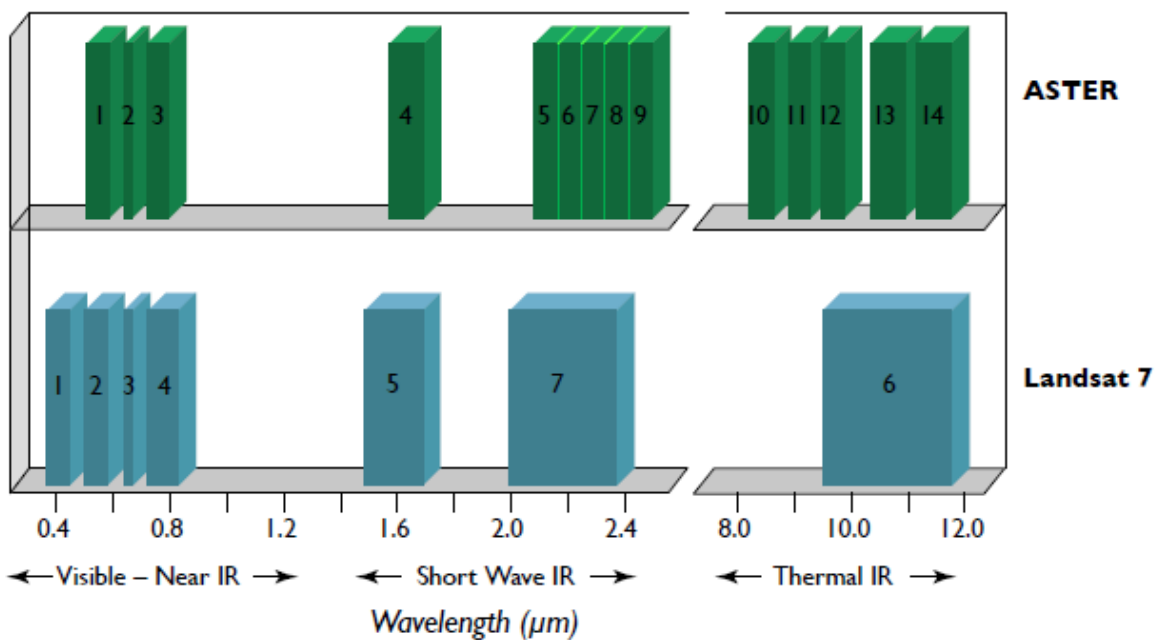


Abb. A-4: Vergleich der der Spektralbereiche der Aster und der Landsat 7 Sensoren

A.2 Datenbasis der für Bielefeld verfügbaren Aufnahmen

Die Beschaffung geeigneter Thermalbilder erwies sich als recht schwierig. Landsat 5 Aufnahmen weisen eine geringe Auflösung auf, neuere Landsat 7 Aufnahmen sind aufgrund eines technischen Fehlers nur mit linienförmigen Lücken erhältlich, so dass Testaufnahmen des Aster-Satelliten aus Japan beschafft wurden. Aufgrund der

dortigen Naturkatastrophen konnten dann nur niedrig aufgelöste Übersichtsdaten beschafft werden, die sich als wenig geeignet zu räumlichen Abgrenzungen erwiesen.. Außerdem begrenzten die konkurrierenden Vertriebssysteme und –zuständigkeiten sowie geringer Anzahl geeigneter, wolkenfreier Aufnahmen die Auswahl erheblich.

Satellitenmission	Aufnahmedatum	Eignung
Landsat 5	11.7.1991	Wolke, Brackwede
	4.8.2003	ok
	13.9.2006	ok
	3.7.2009	ok
	4.6.2010	ok
	7.8.2010	Wolkenpunkte
Landsat 7	5.7.2001	ok
	1.4.2007	wolkenarm/Raster
	5.5.2008	Streuwolken
	21.3.2009	wolkenarm/Raster
	6.4.2009	Wolkenarm/Raster
	24.5.2009	Randwolken/Raster
	25.4.2010	wolkenarm/Raster
	28.6.2010	Wolkenband Innenstadt ok
	27.3.2011	Wolken östlich
	ASTER	6.4.2009
19.4.2008		Übersicht
23.6.2001		Übersicht

Tab. A-1: Bereitgestellte Satellitenaufnahmen und ihre Eignung

Unter weitgehender Berücksichtigung der oben genannten Auswahlkriterien fiel die Wahl schließlich auf drei Aufnahmen:

Das erste Bild stammt vom Satelliten LANDSAT 5 TM (Path: 196, Row: 024) und wurde am 11.07.1991 aufgenommen, während das zweite Bild vom Folgemodell LANDSAT 7 ETM+ stammt und vom 05.07.2001 (Path: 196, Row: 024) datiert ist. Das dritte Bild wurde am 25.04.2010 (Path: 196, Row 024) aufgenommen. Da beide Satelliten Teil der LANDSAT-Serie sind, unterscheiden sich die Aufnahmesysteme nur

geringfügig voneinander und lassen infolgedessen einen Vergleich der Bilder zu. So geben beide Systeme den Bereich von 10,42 – 11,66 μm des thermalen Infrarots wieder (Kanal 6 bei LANDSAT 5, Kanal 6.1 und 6.2 bei LANDSAT 7). Jedoch zeigen sie eine unterschiedliche Auflösung: bei der ersten Aufnahme aus dem Jahr 1991 liegt diese bei 120 m, während sie bei der Aufnahmen aus den Jahren 2001 und 2010 aufgrund des neueren, verbesserten Satellitenmodells nun 60 m beträgt. Allerdings erweckt ein Vergleich der Bilder den Eindruck, dass umgekehrt die Aufnahme aus dem Jahr 1991 eine höhere Auflösung besitzt als die Aufnahme aus den Jahren 2001 und 2010. Bei genauerer Betrachtung lassen sich gleichmäßige quadratische Strukturen von ca. 12 Pixel Kantenlänge erkennen, die offensichtlich der eigentlichen Pixeldimension entsprechen. Allerdings sind damit auch irreführende Darstellungen in der Abbildung entstanden: so müssen einzelne kleine andersfarbige Farbpixel innerhalb einer Pixelansammlung, die der ursprünglichen Pixelgröße entspricht, als Fehlinformation gedeutet werden. Zudem muss bei der Aufnahme des Jahres 2001 darauf hingewiesen werden, dass die vermeintlich sehr geringen Oberflächentemperaturen nordwestlich von Buschkamp auf Bewölkung während der Aufnahme zurückzuführen und somit bei der Interpretation zu vernachlässigen sind. Da die Aufnahme von 2010 im thermischen Kanal linienförmige Ausfälle zu verzeichnen hat, wurden nur die nicht betroffenen westlichen Stadtteile genutzt.

A.3 Wetterverhältnisse zu den Aufnahmezeitpunkten

Da Momentaufnahmen der Thermalstruktur von Oberflächen auch von den Witterungsbedingungen der Vortage beeinflusst werden, ist deren Berücksichtigung bei der Interpretation der Aufnahmen sinnvoll. So kann vor allem der Feuchtegehalt des Bodens und der darüber lagernden Luftschichten die Ergebnisse beeinflussen. Ist zum Beispiel an den Vortagen einer sommerlichen Thermalaufnahme viel Niederschlag gefallen, so ist insbesondere in den schattigen nasserer Bereichen mit einer zögerlicheren Erwärmung zu rechnen als in den schneller abtrocknenden sonnenbeschienenen Bereichen. Auch vorausgegangene kältere Nächte mit entsprechender Bodenauskuhlung haben eine ähnliche Auswirkung. Da die Thermalaufnahmen in den Vormittagsstunden entstanden sind, während der die Temperaturdifferenz zwischen schattigen und besonnten Arealen eine besondere Ausprägung zeigt, muss umso mehr die Möglichkeit solcher Effekte bei dieser Untersuchung beachtet werden.

Zur Beurteilung der Wetterbedingungen der Vortage wurde jeweils ein Zeitraum von vier Tagen vor dem Aufnahmetag analysiert. Bei der Datenermittlung wurde überwiegend die Wetterstation von Bad Salzuflen berücksichtigt. Traten größere Abweichungen zu den nächst entfernteren Messstationen auf, so wurden diese bei der Wertfindung mit einbezogen.

Um die Vergleichbarkeit der Wetterbedingungen an den entsprechenden Tagen der Thermalaufnahmen einschätzen zu können, wurden zusätzlich die Daten der Wetterstation OBERSTUFENKOLLEG BIELEFELD herangezogen, die eine Übersicht über die Sonnenintensität, Globalstrahlung, Lufttemperatur und relative Feuchte ermöglichen.

A.3.1 Wetterbedingungen zur 1. Thermalaufnahme (11.07.1991)

07.07.1991

Zu Beginn des Vier-Tage-Intervalls herrschten ähnliche thermische Bedingungen wie am Aufnahmetag, wobei die Tagesmaxima der Temperatur im Untersuchungsraum zwischen 30 und 32°C lagen. Die Sonnenscheindauer erreichte mit Werten um 15 Stunden fast den für diese Tage geltenden astronomisch möglichen Maximalwert.

08.07.1991

Am Vormittag überquerte von Südwesten eine Kaltfront das Aufnahmegebiet. An ihr und innerhalb der nachfolgenden feuchtwarmen Meeresluft entwickelten sich am Abend aber nur vereinzelt gewittrige Schauer. Beispielsweise fiel an der DWD-Station in Bad Salzuflen $1 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2}$, in Osnabrück $6 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2}$. Die Maximaltemperaturen lagen bei 28 - 29°C, die Sonne schien in etwa 7 Stunden.

09.07.1991

Ähnlich wie am Vortag zog von Westen und Südwesten vormittags eine Kaltfront über das Gebiet. Diese war aber noch schwächer ausgeprägt als die vom 08.07. und löste nur hier und da schwache Schauer aus. Allerdings ließ die hinter ihr einströmende maritime Polarluft die Temperaturen deutlicher sinken. In Bad Salzuflen wurde zwar noch 24,5°C Maximaltemperatur erreicht, aber schon in Münster nur 22,4°C. Die Sonnenscheindauer betrug knapp 10 Stunden.

10.07.1991

Die eingeströmte Polarluft geriet rasch unter den Einfluss eines mit der west-südwestlichen Höhenströmung heranziehenden Hochdruckgebietes. Dies hatte zur Folge, dass die nächtlichen Tiefsttemperaturen nach vorherigen Werten von 20°C (07.07./08.07. = 20,2°C und 08.07./09.07. = 19,5°C) um nahezu 10 K niedriger lagen (09.07./10.07.1991 = 10,5°C). Anhaltender Sonnenschein, der nur durch einige hohe Schleierwolken leicht reduziert wurde (13 Stunden), und beginnende Warmluftzufuhr ließ die Lufttemperatur dann tagsüber auf rund 25°C steigen.

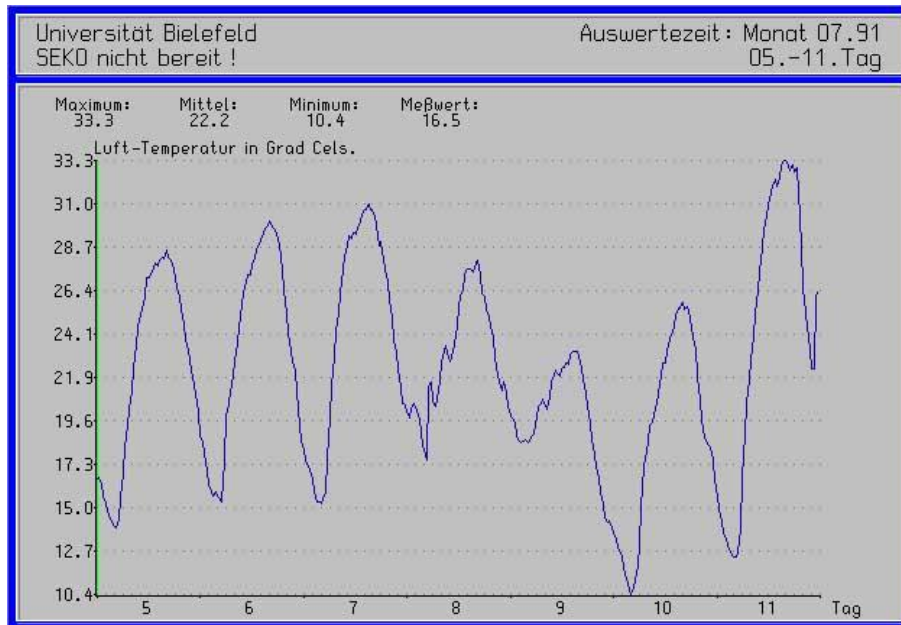


Abb. A-5 : Verlauf der Lufttemperatur am der Station UniBi/OSK bis zum 11.07.1991

11.07.1991

Am Messtag selbst verstärkte sich im Tagesverlauf die Warmluftzufuhr rasch, so dass nach nächtlichen Tiefstwerten um 15°C die Maximaltemperaturen Werte zwischen 32°C und 34°C erreichten. Die Sonne schien an diesem Tag nahezu 15 Stunden.

A.3.2 Wetterbedingungen zur 2. Thermalaufnahme (05.07.2001)

01.07.2001

Nicht unerwähnt sollte bleiben, dass am 30.06.2001 eine Kaltfront mit heftigen Gewitterniederschlägen über das Untersuchungsgebiet hinweggezogen war. In Bad Salzuflen wurde eine Niederschlagsmenge von 44 l*m⁻² gemessen. Auch sonst fielen verbreitete Mengen um die 20 l*m⁻². Innerhalb der nachströmenden maritimen Polarluft gestaltete sich das Wetter am 01.07.2001 leicht wechselhaft. Es fielen aber nur vereinzelt ein paar Regentropfen. Die Maximaltemperatur lag um 22°C, die Sonne schien 7,5 Stunden, also knapp 50% der astronomisch möglichen Insolation.

02.07.2001

Bei zunehmendem Hochdruckeinfluss von Westen sank die Temperatur in der Nacht zum 02.07.2001 auf rund 10°C, tagsüber erreichten die Maximalwerte wie am Vortag rund 22°C. Der Tag war niederschlagsfrei und die Sonne schien 7 - 8 Stunden.

03.07.2001

Nach nächtlichen Tiefstwerten um 12°C erreichte die Temperatur bei wenigen Schönwetterwolken rund 24°C. Die Bodenströmung drehte auf östliche Richtungen, wobei Warmluftzufuhr nur zögerlich einsetzte. Die Sonne schien an diesem Tag 12 - 13 Stunden.

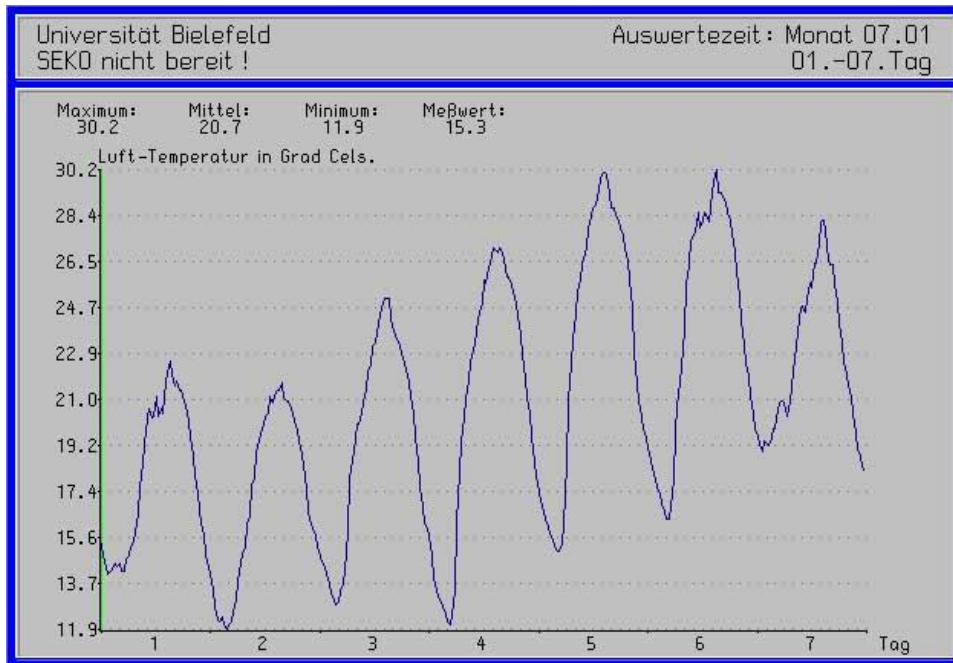


Abb. A- 6 : Verlauf der Lufttemperatur am der Station UniBi/OSK bis zum 04.07.2001

04.07.2001

Die Temperatur sank in der Nacht auf den 04.07. auf 14°C, d.h. es war jede Nacht um 2 K wärmer geworden. Im Tagesverlauf stieg die Temperatur im Untersuchungsgebiet auf rund 27°C. Mit Drehung der Strömung auf Südost verstärkte sich die Warmluftzufuhr. Die Sonnenscheindauer erreichte 14 - 15 Stunden.

05.07.2001 Nach nächtlichen Tiefstwerten um 16°C erreichte das Thermometer am Aufnahmetag 29°C. Nur wenige Schönwetterwolken ließen eine Sonnenscheindauer von 15 Stunden zu.

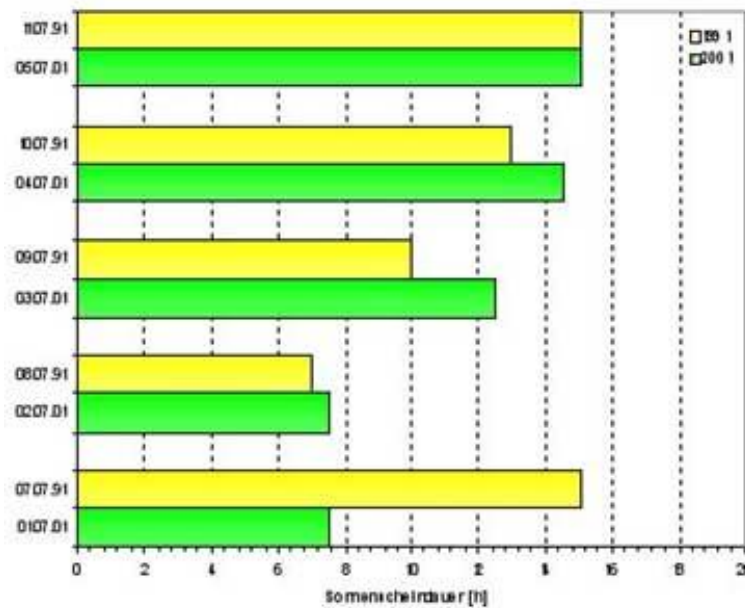
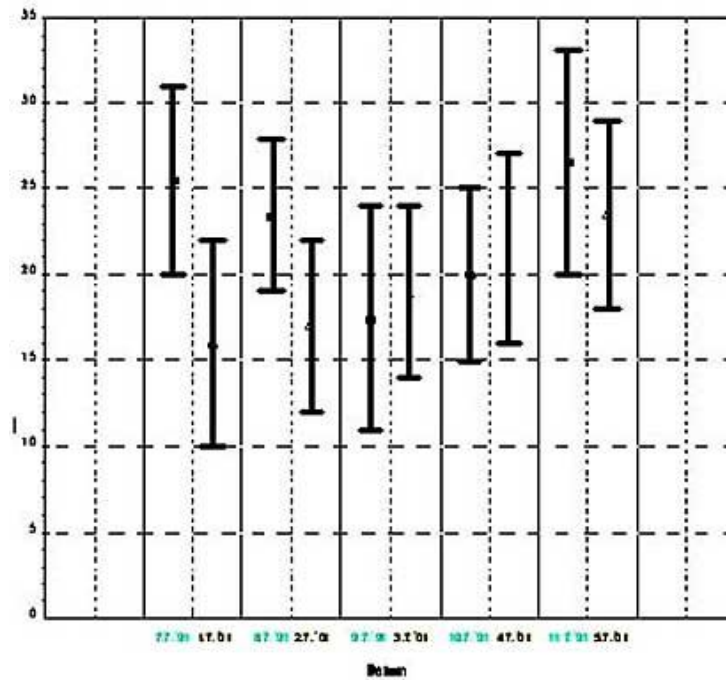


Abb. A-7: Vergleich Sonnenscheindauer in der Region Bielefeld



A-8: Vergleich der Temperaturen in der Region Bielefeld

Die *Lufttemperaturwerte* liegen ebenfalls relativ nah beieinander, so betrugen sie zum Aufnahmezeitpunkt am 11.07.'01 28,7°C und am 05.07.'01 26,5°C. Ebenso bei der *relativen Feuchte* lagen die Werte zum Aufnahmezeitpunkt bei 52,8 %, am 05.07.'01 bei 43,5%.

A.3.3 Wetterbedingungen zur 3. Thermalaufnahme (28.06.2010)

Vortage vom 21.Juni bis zum 28.06.2010

Seit dem 21.6.2010 hatte es in der Region Bielefeld nicht mehr geregnet. An all diesen Vortagen überwog Hochdruckeinfluss (Hoch „WENDELIN“ und Hoch „XERXES“). Mit vorwiegend nördlicher Strömung wurde zunächst relativ trockene kühle Luft herantransportiert, die mit zunehmendem Sonnenschein erwärmt wurde. Die Tageshöchsttemperaturen lagen am Anfang bei lediglich knapp 20°C. Es wurde jedoch von Tag zu Tag wärmer – am 22.6. rund 22°C, am 23.6.rund 24°C und am 24.6. um die 27°C. In den Nächten kühlte es sich vorab auf unter 10°C ab. Aber auch hier wurde es von Nacht zu Nacht wärmer.

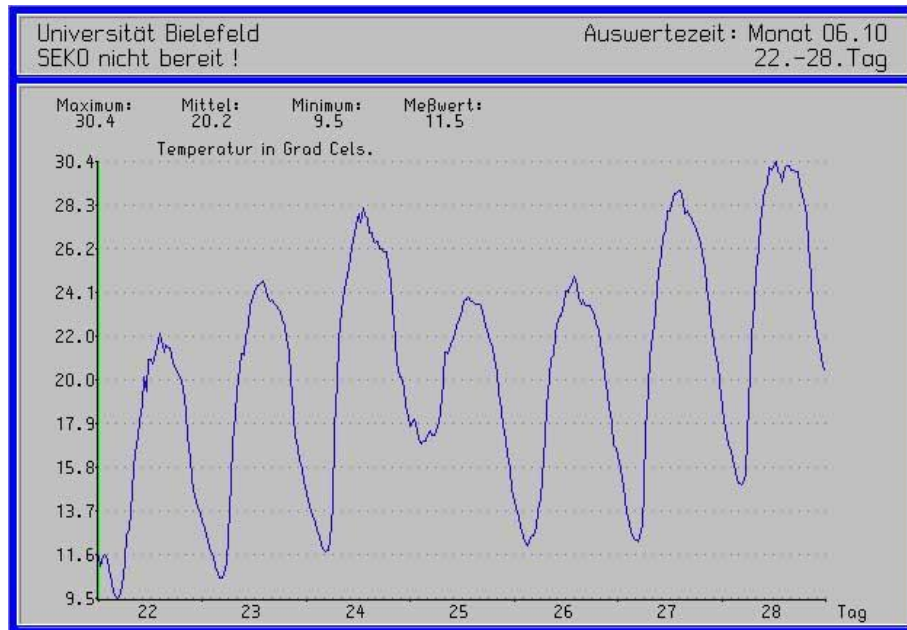


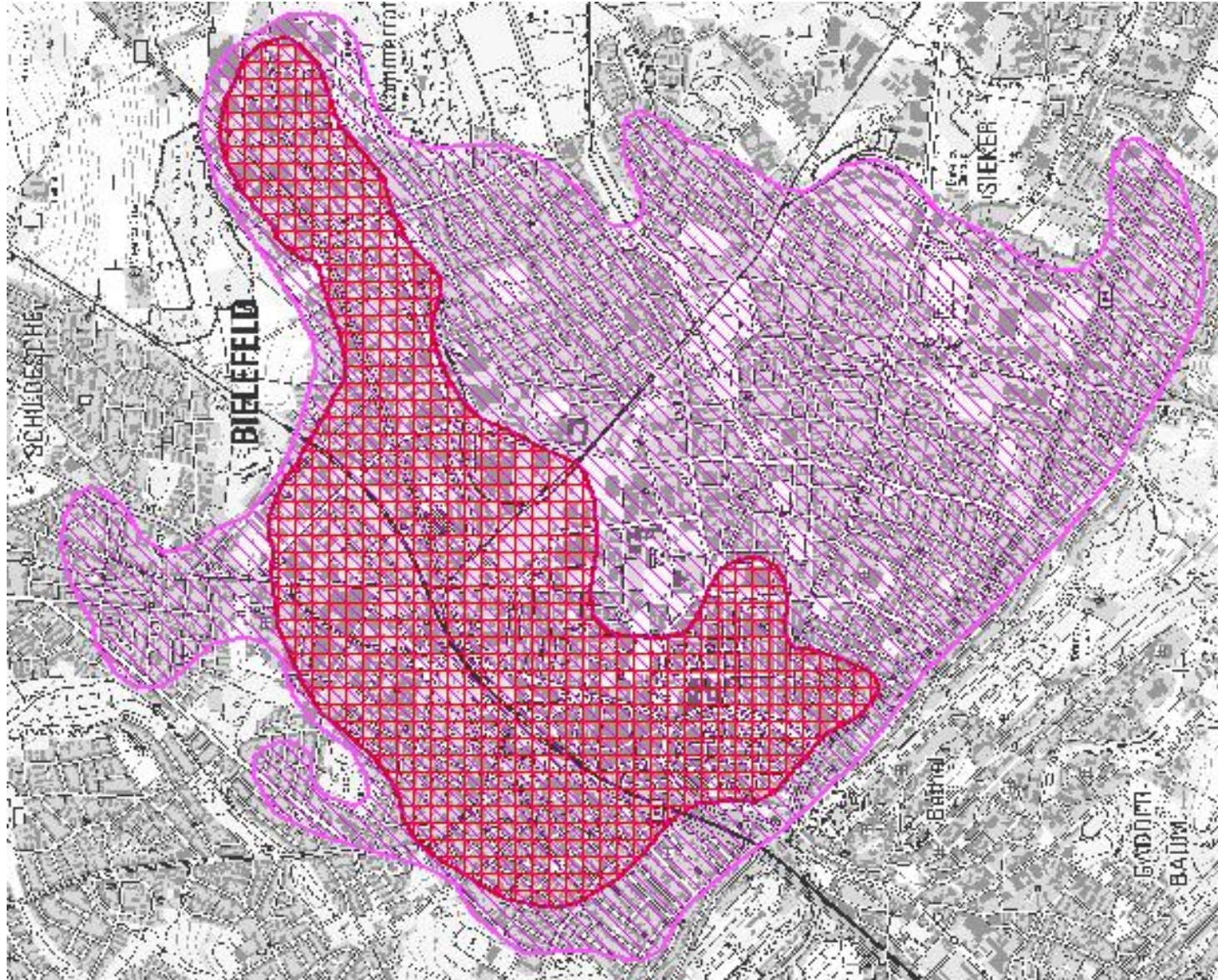
Abb. A-9 : Verlauf der Lufttemperatur am der Station UniBi/OSK bis zum 28.6.2010

Am 25.6. zog von Nordwesten eine schwache Kaltfront über die Region hinweg. Regen gab es aber nicht, lediglich vorübergehend mehr Wolken. Die Temperatur stieg am 25.6. nur bis rund 24°C. Auch am 26.6. wurde dieser Wert erreicht, wobei aber die Sonne fast den ganzen Tag ohne Unterbrechung schien. Am 27.6. (Vortag) erreichte die Temperatur Werte zwischen 27 und 29°C und am 28.6. selbst konnte mit Höchsttemperaturen bei 31°C ein „Heißer Tag“ verbucht werden. Trotz Bildung einiger Schönwetterwolken über dem Teutoburger Wald schien die Sonne an diesem Tag knapp 14 Stunden.

Der Wind drehte an den Vortagen von NNW auf vorwiegend östliche Richtungen. Am 28.6. selbst wehte er nur sehr schwach, teilweise aus Osten, teilweise aber auch aus wechselnden Richtungen.

Die Luft war recht trocken. Es handelte sich um eine weniger ausgeprägte kontinentale Subtropikluft (Kennung: cSp)

A.4 Karte der urbanen Hitzeinsel und Überwärmungsgebiete, Tagsituation.



GFT

Gesellschaft zur Förderung
des Forschungs-
und Technologietransfers in
der Universität
Bielefeld e.V.

Bearbeitung

D.Kuhr
R.Fischer

Kartengrundlage:

Geodatenzentrum NRW
Köln, 2012

Maßstab 1: 28000

A.5 Karte der urbanen Hitzeinsel und Überwärmungsgebiete, Nachtsituation.



GFT

Gesellschaft zur Förderung des
Forschungs-
und Technologietransfers in
der Universität
Bielefeld e.V.

Bearbeitung

D.Kuhr
R.Fischer

Kartengrundlage:

Geodatenzentrum NRW
Köln, 2012

Maßstab 1: 28000

Folgende Diskussionspapiere können Sie bei Bielefeld 2000plus gegen Erstattung der Druck- und Portokosten anfordern oder als pdf-Datei auf der Webseite von Bielefeld 2000plus unter www.uni-bielefeld.de/bi2000plus/veroeffentlichungen.html beziehen:

Nr. 1:

Prof. Dr. Thorsten Spitta, 1997, Universität Bielefeld:
IV-Controlling im Mittelstand Ostwestfalens - Ergebnisse einer Befragung

Nr. 2:

Prof. Dr. Herwig Birg, 1998, Universität Bielefeld:
Nationale und internationale Rahmenbedingungen der Bevölkerungsentwicklung Bielefelds im 21. Jahrhundert

Nr. 3:

Dr. Bernd Adamaschek, 1998, Bertelsmann-Stiftung, Gütersloh:
Zwischenbehördliche Leistungsvergleiche - Leistung und Innovation durch Wettbewerb

Nr. 4:

Prof. Dr. Hermann Glaser, 1998, Technische Universität Berlin, ehem. Kulturdezernent der Stadt Nürnberg:
Der ästhetische Staat - Arbeit und Arbeitslosigkeit, Tätigkeitsgesellschaft

Nr. 5:

Dipl.-Kfm. Ralf Wagner, Dipl.-Kffr. Claudia Bornemeyer, cand. rer. pol. Stephan Kerkojus, 1999, Universität Bielefeld:
Imageanalyse des Bielefelder Einzelhandels

Nr. 6:

Prof. Dr. Helge Majer, 1999, Universität Stuttgart:
Die Ulmer Lokale Agenda 21 und der Beitrag der Wirtschaft

Nr. 7:

Prof. Dr. Franz Lehner, 1999, Institut für Arbeit und Technik Gelsenkirchen:
Zukunft der Arbeit

Nr. 8:

Prof. Dr. U. Schulz, Dr. H. Kerwin, 1999, Universität Bielefeld:
Fahrradpotential in Bielefeld

Nr. 9:

Dr. Werner Müller, 1999, Bundesminister für Wirtschaft und Technologie:
Politische und administrative Rahmenbedingungen zur Stützung und Förderung der Biotechnologielandschaft in der Bundesrepublik Deutschland

Nr. 10:

Dipl.-Soz. Katrin Golsch, 2000, Universität Bielefeld:
Im Netz der Sozialhilfe - (auf-)gefangen?

Nr. 11:

Prof. Dr. Franz-Xaver Kaufmann, 2000, Universität Bielefeld:
Der deutsche Sozialstaat in international vergleichender Perspektive

Nr. 12:

Prof. Dr. Helmut Skowronek, 2000, Universität Bielefeld:
Universitäten heute

Nr. 13:

Prof. Dr. Werner Hennings, 2000, Oberstufen-Kolleg der Universität Bielefeld:
Nachhaltige Stadtentwicklung in Bielefeld?

Nr. 14:

Prof. Dr. Joachim Frohn, 2000, Universität Bielefeld:
Umweltpolitik und Beschäftigungswirkungen

Nr. 15:

Einige Beiträge zur Stadtentwicklung. 2000, Universität Bielefeld

Nr. 16:

Dipl.-Kffr. Claudia Bornemeyer, Prof. Dr. Reinhold Decker, 2001, Universität Bielefeld:
Empirische Studie zu Einfluß- und Maßgrößen des Stadtmarketingerfolgs, Zwischenbericht

Nr. 17:

Dipl.-Kffr. Claudia Bornemeyer, Prof. Dr. Reinhold Decker, 2001, Universität Bielefeld:
Erfolgskontrolle im Stadtmarketing – Ergebnisse und Implikationen einer bundesweiten Studie

Nr. 18:

Carl Peter Kleidat, 2001, Universität Bielefeld:
Kontraktmanagement und Zieldefinitionen. Eine Untersuchung in der Kulturverwaltung der Stadt Bielefeld

Nr. 19:

Prof. Dr. Mathias Albert, 2001, Universität Bielefeld:
Globalität und Lokalität - Auswirkungen globalen Strukturwandels auf lokale Politik

Nr. 20:

Dr. Barbara Moschner, 2002, Universität Bielefeld:
Altruismus oder Egoismus - Was motiviert zum Ehrenamt?

Nr. 21:

Dr. Heinz Messmer, 2002, Universität Bielefeld:
Opferschutz in der Polizeiarbeit

Nr. 22:

Dr. Johann Fuchs, 2002, Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) Nürnberg:
Demografischer Wandel und Arbeitsmarkt

Nr. 23:

Dr. Markus C. Kerber, 2002, Fakultät für Wirtschaft und Management, TU Berlin:
Städte und Gemeinden: Motor der Investitionen - Randfiguren in der Finanzverfassung

Nr. 24:

Dr. Dieter Herbarth, Carl-Severing-Berufskolleg, Bielefeld, **Thorsten Echterhof**, AVA AG, Bielefeld, 2002: Basiskompetenzen für Berufsanfänger aus schulischer und unternehmerischer Perspektive

Nr. 25:

Prof. Dr. Fred Becker, 2002, Universität Bielefeld:
Erfolg = Leistung? Ein Missverständnis mit weit reichenden Folgen für Mitarbeiter, Unternehmen und Gesellschaft

Nr. 26:

Prof. Dr. Ulrich Schulz, Dr. Harmut Kerwien, Dipl. Soz. Nadine Bals, 2002, Universität Bielefeld:

Mit dem Rad zur Arbeit: für Gesundheit und Umwelt

Nr. 27:

Prof. Dr. Carsten Stahmer, Statistisches Bundesamt, 2002, Wiesbaden:

Fortschritt durch Rücksicht - Acht Thesen zur Nachhaltigkeit

Nr. 28:

Dipl.-Soz. Frank Berner, Prof. Lutz Leisering, 2003, Universität Bielefeld:

Sozialreform „von unten“ - Wie der Sozialstaat in den Kommunen umgebaut wird

Nr. 29:

Prof. Dr. Dieter Timmermann, 2003, Universität Bielefeld: Akademische Arbeitsmärkte zwischen Boom und Depression. Das Beispiel des Lehrerarbeitsmarktes

Nr. 30:

Prof. Dr. Marga Pröhl, 2004, Bertelsmann Stiftung, Gütersloh: Kompass - Ein Projekt der Bertelsmann Stiftung zum Aufbau einer strategischen Steuerung der Stadtentwicklung für Kommunen

Nr. 31:

Prof. Dr. Ulrich Schulz, Friederike Zimmermann, 2004, Universität Bielefeld: Mit dem Rad zur Arbeit - Verkehrspsychologische Begleitung eines halbjährigen Projekts in Bielefeld im Jahr 2003

Nr. 32:

Thomas Fiebig, Stadtplaner, **Prof. Dr. Joachim Frohn**, Universität Bielefeld, **Jens-Peter Huesmann**, Stadtplaner, 2004, Bielefeld:

Stadtentwicklungsszenario „Bielefeld 2000+50 Jahre“ Status-Quo-Bericht, Stand: Juli 2004

Nr. 33:

Thomas Fiebig, Stadtplaner, **Prof. Dr. Joachim Frohn**, Universität Bielefeld, **Jens-Peter Huesmann**, Stadtplaner, 2004, Bielefeld:

Das Projekt „Bielefeld 2050“ - Visionen und Perspektiven für eine Stadt, Vortrag am 14. Juli 2004

Nr. 34

Prof. Dr. Claudia Hornberg, 2004, Universität Bielefeld:

Problemfelder der Umweltmedizin

Nr. 35:

Dr. Albrecht Göschel, Deutsches Institut für Urbanistik, 2004, Berlin:

Die Zukunft der deutschen Stadt: Schrumpfung oder Wachstum?

Nr. 36:

Dr. Hans Ulrich Schmidt, 2004, Gartenbaudirektor i.R. der Stadt Bielefeld:

Der Aufbau der Bielefelder Grünanlagen von 1947 bis 1976

Nr. 37:

Klaus Frank, Joachim Frohn, Georg Härtich, Claudia Hornberg, Ulrich Mai, Annette Malsch, Roland Sossinka, Achim Thenhausen, 2004:

Grün für Körper und Seele: Zur Wertschätzung und Nutzung von Stadtgrün durch die Bielefelder Bevölkerung

Nr. 38:

Carsten Pohl, ifo Institut für Wirtschaftsforschung, 2004, Niederlassung Dresden:
Wirtschaftliche Auswirkungen der EU-Osterweiterung auf Deutschland

Nr. 39:

Prof. em. Dr. Bernhard Winkler, TU München, Vor- und Nachwort von **Prof. Werner Hennings**, Universität Bielefeld, 2005:
Die Zukunft der Stadt. Wohin mit dem Verkehr?

Nr. 40:

Prof. Dr. Werner Hennings, 2005, Universität Bielefeld:
Das Prinzip Nachhaltigkeit in der kommunalen Entwicklung: Was ist aus der Lokalen Agenda 21 geworden?

Nr. 41:

Prof. Dr. Reinhold Decker, Thomas Fiebig, PD Dr. Jürgen Flöthmann, Prof. Dr. Joachim Frohn, Inge Grau, Jens-Peter Huesmann, Carl Peter Kleidat, Michael Seibt, Hans Teschner:
Stadtentwicklungsszenario Bielefeld 2050 - Ergebnisbericht

Nr. 42:

Prof. Dr. Reinhold Decker, Thomas Fiebig, PD Dr. Jürgen Flöthmann, Prof. Dr. Joachim Frohn, Inge Grau, Jens-Peter Huesmann, Carl Peter Kleidat, Michael Seibt, Hans Teschner:
Stadtentwicklungsszenario Bielefeld 2050 - Materialien

Nr. 43:

Dipl.-Soz. Carl Peter Kleidat, Prof. Dr. Reinhold Decker, Dipl.-Kfm. Frank Kroll, Dr. Antonia Hermelbracht:
Nutzung und Bewertung Bielefelder Frei- und Grünflächen. Untersuchung verschiedener Freiraumtypen

Nr. 44:

Dr. Andreas Stockey, Erwin Eckert, Pia Fröse, Amanda Nentwig, Hendrik Preising, Johanna Schumacher:
Empirische Untersuchungen zur Wirkung der Bewirtschaftungsart auf die Bodenvitalität auf dem Bioland-Schelphof, Bielefeld

Nr. 45:

Aiko Strohmeier, Prof. Dr. Ulrich Mai:
In guter Gesellschaft: Städtische Öffentlichkeit in Parks. Eine vergleichende Untersuchung von Nordpark und Bürgerpark in Bielefeld

Nr. 46:

Prof. Dr. Claudia Hornberg, Karen Brune, Thomas Claßen, Dr. Annette Malsch, Andrea Pauli, Sarah Sierig:
Lärm- und Luftbelastung von innerstädtischen Erholungsräumen am Beispiel der Stadt Bielefeld

Nr. 47:

Dipl.-Soz. Carl Peter Kleidat, Dipl.-Kffr. Britta Pünt, Prof. Dr. Reinhold Decker, 2009, Universität Bielefeld:
Kulturangebote in regionaler Kooperation. Konzepte, Erfolgsfaktoren und Best Practices (Kurzfassung)

Nr.48:

Dr. Thomas Claßen, Prof. Dr. Reinhold Decker, Dipl.-Ing. Klaus Frank, Prof. Dr. Claudia Hornberg, Dipl.-Soz. Carl Peter Kleidat, Prof. Dr. Ulrich Mai, Toni Möller, Nina Rabe, Dipl.-Kffr. Silvia Raskovic, Prof. Dr. Roland Sossinka, 2009, Universität Bielefeld:
Baumstark - Stadtbäume in Bielefeld. Studien zur Bedeutung, Wertschätzung und Nutzung

Nr. 49:

Jasmin Dallafior, Prof. Dr. Joachim Frohn, 2010, Universität Bielefeld:
Bielefeld - Zukunft Innenstadt (Abschlussbericht)

Nr. 50:

Jasmin Dallafior, Prof. Dr. Joachim Frohn, 2010, Universität Bielefeld:
Bielefeld - Zukunft Innenstadt (Materialienband)

Nr. 51:

Dr. Rudolf Böttner, Dr. Reinhard Fischer, Dipl.-Met. Detlef Kuhr:
Stadtklima Bielefeld - Witterungsbericht 2007 für die Region Bielefeld und Berechnung eines Niederschlagstrends

Nr. 52:

Dr. Rudolf Böttner, Dr. Reinhard Fischer, Dipl.-Met. Detlef Kuhr:
Stadtklima Bielefeld - Witterungsbericht 2008 für die Region Bielefeld und Entwicklung einer Klimaprojektion

Nr. 53:

Dr. Rudolf Böttner, Dr. Reinhard Fischer, Dipl.-Met. Detlef Kuhr:
Stadtklima Bielefeld - Witterungsbericht 2009 für die Region Bielefeld und stadtklimatische Anpassungsstrategien

Nr. 54:

Dr. Rudolf Böttner, Dr. Reinhard Fischer, Dipl.-Met. Detlef Kuhr:
Stadtklima Bielefeld - Witterungsbericht 2010 für die Region Bielefeld

Nr. 55:

Dr. Rudolf Böttner, Dr. Reinhard Fischer, Dipl.-Met. Detlef Kuhr:
Abgrenzung und Intensität der urbanen Hitzeinsel und der Überwärmungsgebiete