Ber. Naturhist. Ges. Hannover	137	15–43	Hannover 1995

Die Bereiche Klima und Luft im Umweltinformationssystem der Stadt Hannover

von

THOMAS MOSIMANN, PETER TRUTE UND THORSTEN FREY

mit 11 Abbildungen, 4 Tabellen und 4 Karten als Beilage

Zusammenfassung. Der kommunale Umweltschutz und die Stadtplanung haben unter anderem die Aufgabe, lufthygienische und bioklimatische Belastungen im Stadtgebiet abzubauen und eine klima- und immissionsökologisch verträgliche Stadtentwicklung zu gewährleisten. Die Lösung dieser Aufgaben verlangt flächendeckende Informationen zur klimatischen und lufthygienischen Situation und zu den sie beeinflussenden klimaökologischen Prozessen und Funktionen. Zudem müssen methodische Bausteine verfügbar sein, um die verschiedenen Informationen zu verknüpfen und zu bewerten. Auf diese Weise kann der Aspekt Klima und Luft in den kommunalen Planungsvollzug sinnvoll integriert werden.

Ein wichtiges Instrument zur Umsetzung dieser umweltbezogenen Planungsinhalte stellt das Umweltinformationssystem (UIS) der Stadt Hannover dar, für das im Rahmen des „Ökologischen Forschungsprogramms Hannover" einzelne Bausteine zu den Umweltkompartimenten Klima und Luft erarbeitet worden sind. In der vorliegenden Arbeit werden exemplarisch einzelne Aspekte der klimatischen und lufthygienischen Situation, ausgewählte Auswertungsmodule und planungsrelevante Umsetzungen der Ergebnisse vorgestellt.

Summary: 'Climate and air' as a part of the environment information system of Hannover. It is the responsibility of local environment protection and city planning authorities to reduce air pollution and impairment of the bioclimate in cities by observing immission limits and ensuring an ecologically compatible development. In order to be able to achieve these goals, extensive information on the climatic situation and air pollution and on the climate-ecological processes and functions affecting them are gathered. In addition, methodological information is needed for linking and evaluating the available information. In this way, the aspect 'climate and air' can be integrated into local planning.

The Environment Information System (EIS) of the City of Hannover constitutes an important instrument for the realization of these environment-related planning concepts. Individual modules of the environmental compartments 'climate' and 'air' were studied and elaborated within the framework of the "Ecological Research Program of Hannover". This paper presents individual aspects of the climatic and air-quality situation, selected evaluation modules and practical applications relevant to planning.

1 Klima und Luft in der Umweltvorsorge

Umweltschutz und Stadtplanung haben u. a. die Aufgaben,

- die Luftqualität generell zu verbessern und durch Vorsorgemaßnahmen neue Luftbelastungen zu vermeiden,
- bestehende Luftbelastungen in Schwerpunktbereichen zu vermindern,
- Schadstoffeinträge in den Boden zu minimieren,
- die bioklimatischen Bedingungen allgemein zu verbessern,
- lokalen bioklimatischen Streß (u. a. durch Wind) abzubauen bzw. zu vermeiden und
- für Pflanzen und Tiere interessante Mikroklimate zu erhalten.

Die Lösung dieser Aufgaben verlangt gute und meist flächendeckende Informationen zum Zustand von Luft und Klima, zu den wichtigen beeinflussenden Strukturen und den davon abhängigen Prozessen und Funktionen. Zudem müssen Methoden verfügbar sein, um die verschiedenen Informationen zu verknüpfen und zu bewerten. Klima und Luft sollen dabei im Zusammenhang betrachtet werden. Daraus ergeben sich die wichtigen Ziele und Aufgaben für den Einbau der Umweltkompartimente Klima und Luft in das Umweltinformationssystem (UIS) der Stadt Hannover:

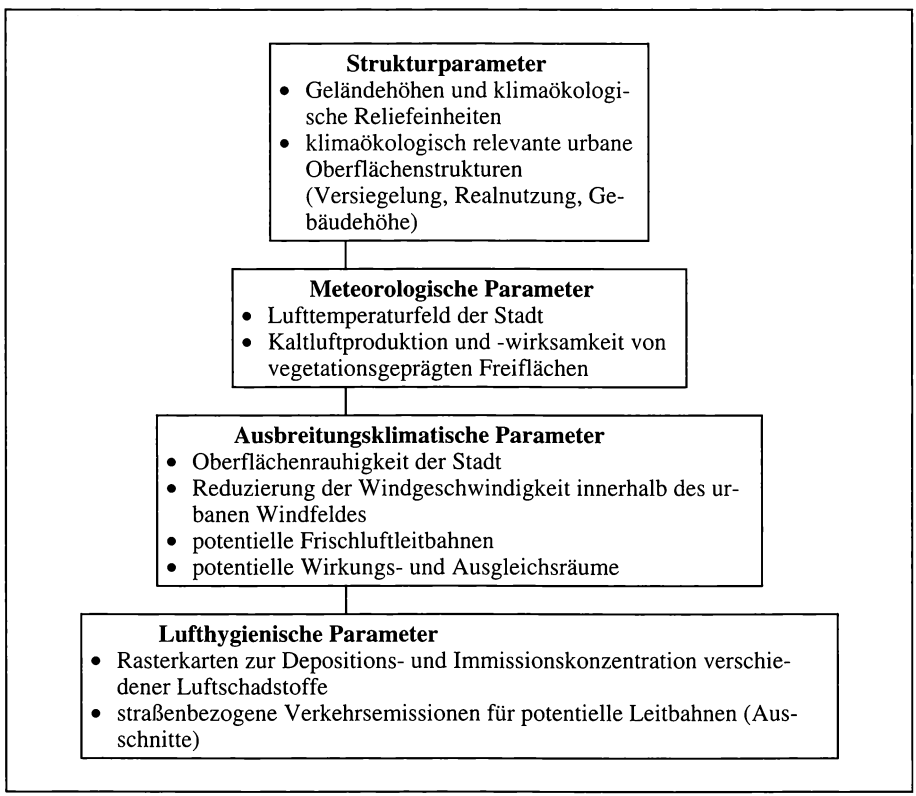


Abb. 1: Die klima- und lufthygienischen Informationsebenen im Umweltinformationssystem der Stadt Hannover. Aus diesen Informationsebenen leitet sich auch die digitale synthetische Klimafunktionskarte ab

- Erhebung, Klassifizierung und digitale Darstellung der für klimatische und lufthygienische Prozesse wichtigen Struktureigenschaften der Stadt (Oberflächenstrukturen, Reliefeinheiten usw.),
- flächendeckende Darstellung wichtiger meteorologischer Zustände und Prozesse (Temperaturfeld, Kaltluftproduktion, Oberflächentemperatur usw.),
- flächendeckende Erfassung des Ist-Zustandes der Luftbelastung (primär anhand von Leitschadstoffen),
- Ableitung, Einstufung und flächendeckende Darstellung der für klimaökologische Ausgleichsprozesse wichtigen Parameter (z. B. Windfeld, Frischluftleitbahnen usw.),
- Entwicklung einzelner Modellbausteine und Bewertungsalgorithmen zur Ableitung meteorologischer Zustände und klimaökologischer Funktionen (Frischluftleitbahnen, Temperaturfeld, s. Kap. 3),
- zusammenfassende Darstellung der klima- und immissionsökologischen Funktionszusammenhänge (Klimafunktionskarte, s. Kap. 2).

Das hierfür erarbeitete und umgesetzte Konzept der Informationsebenen für den Bereich Klima und Luft ist in Abb. 1 dargestellt.

In diesem Datenkonzept unterlagern die Strukturparameter der städtischen Oberflächen und ihre abgeleiteten klima- und immissionsökologisch relevanten Eigenschaften die meteorologischen und lufthygienischen Datensätze. Die Strukturparameter sind dabei z. T. aus anderen im UIS vorliegenden Daten, wie z. B. der Biotopkarte, abgeleitet. Verknüpfend zwischen diesen Bereichen stehen die obengenannten Auswertungsmethoden und die zusammenfassende Klimafunktionskarte (s. Kap. 2). Die synthetische Klimafunktionskarte steht auf der höchsten Aggregationsstufe. Diese wird im folgenden als erstes dargestellt. Danach schließen sich ausgewählte Beispiele für Daten, Methoden und Funktionszusammenhänge an.

Die seit 1992 im UIS vorliegenden Informationen zu Klima und Luft sind seither vor allem im Rahmen der Begutachtung der Weltausstellung EXPO 2000 und der Wohnüberbauung am westlichen Kronsberg mehrfach genutzt worden (T. HERGERT et al. 1993).

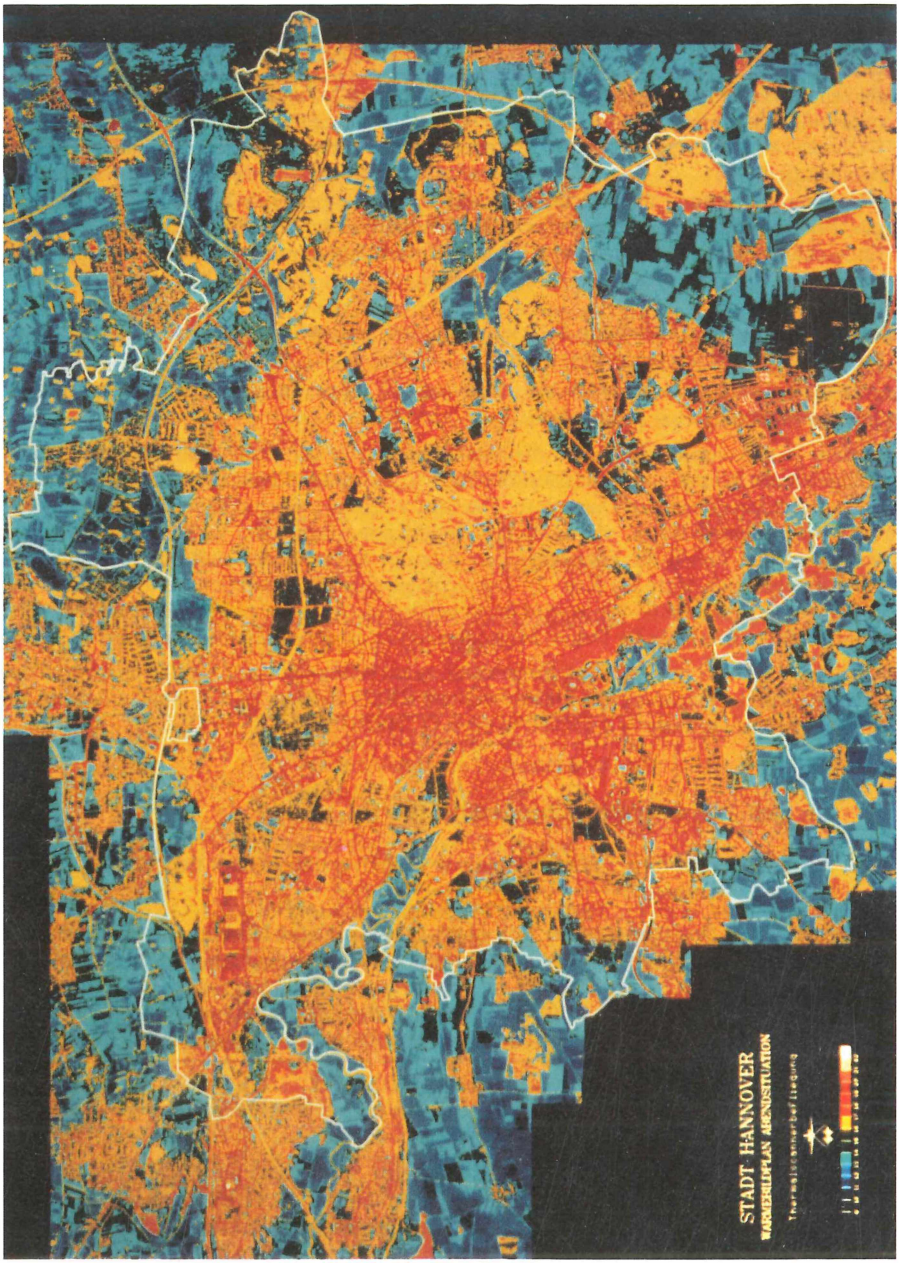
2 Die digitale synthetische Klimafunktionskarte

2.1 Allgemeines zur thermischen Situation in Hannover und zu ihrer Bedeutung für den Luftaustausch

Ein eigenständiges Stadtklima bildet sich nur während stabiler Hochdruckwetterlagen aus. Das Wetter in Hannover ist aber stark zyklonal geprägt. Nur während eines von Jahr zu Jahr schwankenden Zeitanteils von 5%–15% im Jahresverlauf entsteht ein eigenständiges Stadtklima. In diesem Fall weisen die Lufttemperaturen im Stadtgebiet teilweise erhebliche Unterschiede auf. Die Windgeschwindigkeiten sind stark reduziert, was zu einem Anstieg der Schadstoffkonzentrationen führt.

Thermische Situation

Die Überwärmung der Städte während windschwacher Schönwetterphasen resultiert aus der verringerten Verdunstung, der hohen Wärmespeicherfähigkeit der Gebäude, der als Folge der Luftbelastung erhöhten Gegenstrahlung und der Eigenwärmeproduktion (Heizung, Gebäudeklimatisierung, Verkehr, Produktionsabwärme). Die Überwärmung beträgt in Hannover im Vergleich zum Umland maximal 10 Kelvin. Dies entspricht den Verhältnissen in Städten vergleichbarer Größe. Die Struktur der Stadt führt zu einem Wärmearchipel mit 6 Hauptkernen in der Innenstadt, Döhren/Wülfel, Linden, Bothfeld/Sahlkamp, Stöcken und Vahrenheide/Brink-Hafen.


STADT HANNOVER
WÄRMEBILDPLAN ABENDSITUATION

Für den Anwender wird eine flächendeckende Differenzierung der thermischen Verhältnisse der Oberflächenbedeckungsarten in Abhängigkeit von Versiegelungsgrad und Baukörperstruktur möglich. Hieraus lassen sich die Klimatopabgrenzungen, die kaltluftproduzierenden Flächen sowie potentielle Kaltluftleitbahnen ableiten. Auch wird eine Abgrenzung von Bereichen mit voraussichtlich erhöhten thermischen Turbulenzen ermöglicht.
Die wesentlichen Besonderheiten, die sich teilweise auch aus dem Thermalbild (Abb. 2) erkennen lassen, sind folgende:

- Die dicht bebauten Bereiche und die Industrie- und Gewerbegebiete weisen die stärksten Überwärmungen auf. Sie zeigen das Bild der einzelnen Wärmeinseln im Stadtgebiet auf. Dies wird auch bei der Betrachtung des Thermalbildes deutlich. Straßen, Plätze und Lagerflächen besitzen als versiegelte Flächen gegenüber den unversiegelten Flächen, wie z. B. Parkanlagen, die mit Abstand höchsten Temperaturen.
- Einzelhausbebauungen mit hohem Grünanteil sind gegenüber dem Umland nur leicht erwärmt. Bäume, Sträucher und Rasenflächen dämpfen hier die Erwärmung und die Temperaturamplitude im Tagesverlauf.
- Die Lufttemperaturen der ausgedehnten Park- und Friedhofanlagen im Stadtgebiet lassen nur noch geringfügige Unterschiede zum Umland erkennen. Innerhalb dieser Flächen bestimmt nunmehr die Art der Vegetationsbedeckung das Temperaturniveau. Große Bäume verhindern durch Abschirmung und Eigenwärmeabgabe ein zu starkes Abkühlen während der nächtlichen Ausstrahlungsphase; Rasenflächen sind dagegen Bereiche stärkster Abkühlung bereits während der frühen Abendstunden. Der Einfluß beider Vegetationsbedekkungsarten wächst entsprechend ihrem Flächenanteil.

Die Bedeutung der Überwärmung in Hannover liegt weniger im humanbioklimatischen Bereich, da Hitze weitgehend fehlt (im Durchschnitt nur 2,6 heiße Tage pro Jahr) und nur 19 Tage mit Schwülebelastung festgestellt werden. Vielmehr entstehen durch die Temperaturunterschiede zwischen den wärmeren Bereichen des Stadtgebietes – speziell der Innenstadt – und den kühlen Flächen des Stadtumlandes Zirkulationssysteme, die kühle, unbelastete Luftmassen in die Stadt transportieren. Die Folge ist eine Verdünnung und ein teilweiser Abtransport der Luftschadstoffe. Diese als Flurwinde bezeichneten Luftmassenströmungen sind für eine Stadt von der Größe Hannovers lufthygienisch von Bedeutung. Die synthetische Klimafunktionskarte stellt auch diese Luftleitbahnen des Flurwindsystems im Stadtgebiet dar.

Darüber hinaus sorgen kleinräumige Luftzirkulationssysteme geringeren Massenumfanges innerhalb des Stadtgebietes zwischen benachbarten, unterschiedlich temperierten Stadtstrukturen für einen Luftmassenaustausch. Ein solches System, wie in Abb. 3 schematisch dargestellt, konnte z. B. für den Bereich Maschsee-Rathaus-Innenstadt mit einer Reichweite bis zu 800 m nachgewiesen werden (J. VORMANN 1993).

Abb. 2: Thermalbild-Abendsituation des Stadtgebietes von Hannover (19. 08. 1989, 21.00 Uhr MESZ). Dargestellt ist das thermische Verhalten der Oberflächenstrukturen während einer ausgeprägten Schönwetterphase. Weiße und rote Farbtöne markieren Flächen mit hohen Temperaturen, schwarze und blaue Farbtöne Flächen mit niedrigen Temperaturen.

Die Aufnahme gibt deutlich die stark überwärmten Bereiche im Stadtgebiet als Wärmeinseln wieder. Neben den Stadtteilen mit dichter Wohnbebauung sind dies die Innenstadt, die Industriekomplexe in Stöcken, die Großwohnsiedlung Roderbruch, aber auch die zahlreichen Wasserflächen im Stadtgebiet treten als warme Oberflächen in Erscheinung.

Demgegenüber sind die vegetationsbestandenen Freiflächen bereits stark abgekühlt. Die niedrigsten Temperaturen finden sich auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen (Äcker, Wiesen und Weiden) wie z. B. am Kronsberg, in der Leine-Aue oder in den Stadtteilen Misburg und Buchholz.

2.2 Die synthetische Klimafunktionskarte für das Stadtgebiet von Hannover

2.2.1 Die Bedeutung und Stellung der Klimafunktionskarte im UIS

Die Klimafunktionskarte stellt als Syntheseprodukt die relevanten klima- und immissionsökologischen Zustände und Prozesse während austauschschwacher Strahlungswetterlagen im Stadtgebiet von Hannover dar. Die Aggregation der einzelnen klimatischen und lufthygienischen Informationsebenen in eine synthetische Karte ist notwendig, um

- die vollständigen Funktionszusammenhänge aufzuzeigen,
- den bioklimatisch-lufthygienischen Ist-Zustand zusammenfassend darzustellen,
- die Wirksamkeit der Ausgleichsleistungen durch Luftaustauschprozesse zu zeigen,
- die Bedeutung der Wirkungszusammenhänge in der konkreten räumlichen Situation einzustufen und
- eine Einschätzung der Auswirkungen von Planungsmaßnahmen auf die klimatisch-lufthygienischen Verhältnisse vorzunehmen.

In der Klimafunktionskarte von Hannover sind Gebiete mit ähnlichen mikroklimatischen und lufthygienischen Eigenschaften – Stadtklimatope – ausgewiesen. Die prinzipiellen Unterschiede zwischen den einzelnen Klimatopen lassen sich durch die Ergebnisse der umfangreichen lufthygienischen und meteorologischen Messungen belegen, die im Rahmen des ÖFH durchgeführt worden sind. Die Ausweisung dieser Flächen geht auf die vorherrschenden Oberflächenstrukturen und Reliefbedingungen zurück. Die dort vorherrschenden Strahlungs- und Austauschverhältnisse bedingen die Ausprägung annährend vergleichbarer klimatisch-lufthygienischer Zustände. Außerdem werden spezielle Klimafunktionen, wie mesoskalige und mikroskalige Luftaustauschprozesse und Kaltluftansammlung, dargestellt. Im einzelnen bietet die Karte Informationen über

- Lage und Ausprägung der überwärmten Bereiche,
- bioklimatisch-lufthygienisch belastete Räume,
- bioklimatisch-lufthygienische Gunsträume,
- Kaltluftentstehungs- und -sammelgebiete,
- Bereiche mit Kaltluftabflüssen und
- Leitbahnen für Flurwinde.

Die synthetische Klimafunktionskarte im UIS ist das zentrale Instrument zur Berücksichtigung klimatisch-lufthygienischer Belange in der Stadtplanung. Die Weiterentwicklungen der letzten Jahre mit einer stärker prozeßorientierten Herangehensweise haben den Informationsgehalt noch einmal deutlich verbessert (z. B. UVF 1994). Im Vordergrund der Analyse stehen jetzt die lufthygienischen Verhältnisse im Wirkungsraum, denen durch klimaökologische Prozesse (u. a. thermisch und orographisch bedingte Luftaustauschströmungen) potentielle Ausgleichsräume zugeordnet werden können. Durch die Ausrichtung auf die Belastungssituation ist die Planungsrelevanz der „Karte der klima- und immissionsökologischen Funktionen" verbessert worden. Durch Fortschritte bei den Methodenbausteinen, ihrer EDV-gerechten Umsetzung und der GIS-gestützten Bearbeitung lassen sich die klima- und immissionsökologischen Prozesse und Zustände stärker quantifizieren und die relevanten Flächen besser verorten und differenzieren.

2.2.2 Die Stadtklimatope Hannovers (Karte 1: „Klimafunktionskarte Teil 1")

Waldklima

Bioklimatisch besonders wertvoll. Gedämpfter Tagesgang der Klimaelemente, geringe Tagestemperaturamplituden und durchgehend hohe Luftfeuchtigkeit. Bei niedrigen mittleren Windgeschwindigkeiten häufig Windstillen. Kühler Ausweichraum während hochsommerlicher Wärme.

Lufthygienisch besonders wertvoll. Geringe durchschnittliche Belastung der Luft mit Schadstoffen. Emissionsschutzfunktion durch effektive Filterwirkung der Vegetation (Schadstoffsenke). Nur vereinzelt autochthone Emissionen (z. B. Verkehr).

Freilandklima

Bioklimatisch wertvoll. Mit Beschattung kühler Ausweichraum während sommerlicher Wärmebelastung, extrem belastender Bereich bei winterlicher Kälte. Sehr geringer Anteil an Windstillen, in den Nachtstunden hohe Abkühlungsraten. Verhältnisse durch unterschiedliche Bepflanzung stark beeinflußbar. In reliefiertem Gelände nächtliche Kaltluftabflüsse (bioklimatische Ausgleichswirkung).**Lufthygienisch teils wertvoll, teils problematisch**. Potentielle Entstehungsgebiete für mikro- und mesoskalige Luftzirkulationssysteme (z. B. Flurwinde). Nur vereinzelt autochthone Emissionen (z. B. Verkehr), jedoch Gefahr der Schadstoffanreicherung in Kaltluftsenken und während ausgeprägter nächtlicher Bodeninversionen. Im Bereich der Agrarflächen starke Staubbelastung der Luft während vorherrschender Trockenheit.

Bioklimatisch besonders wertvoll. Bereiche mit gleichen bioklimatischen und lufthygienischen Chararkteristika, allerdings in verstärkter Ausprägung. So ist z. B. mit einer erhöhten Abkühlungsrate zu rechnen.

Klima der Einzelhausbebauung

Bioklimatisch neutral, teilweise günstig. Mäßige nächtliche Abkühlung, tagsüber nur geringe Überwärmung. Durch hohen Vegetationsanteil stark heterogene Verteilung der Klimaelemente. Hoher Anteil an Windstillen in Bodennähe. Durch Bebauungstrukturen teilweise Ausbildung von kleinsträumigen Bereichen mit bioklimatisch optimierten Bedingungen (z. B. Sitzflächen). Randbereich im Übergang zum Freiland durch mikroskalige Luftzirkulationssysteme thermisch und hygrisch beeinflußt.

Lufthygienisch teilweise problematisch. Hohe potentielle Schadstoffanreicherung in Bodennähe aufgrund vegetations- und bauwerkbedingter Behinderung des Luftaustausches während des Tages. Durch häufiges Auftreten von Bodeninversionen auch herabgesetzter Luftaustausch während der Nachtstunden.

Klima der dicht bebauten Bereiche

Bioklimatisch überwiegend problematisch. Starke Veränderung des Mikroklimas mit nächtlicher Überwärmung und ganztägig verringerter Luftfeuchte. Geringer Anteil an Schwachwinden. In den Sommermonaten z. T. auftretende Wärmebelastung, jedoch in der kalten Jahreszeit Ausweichraum bei starker Kältebelastung.

Lufthygienisch überwiegend problematisch im Bereich stärkerer Verkehrsemissionen. Deutlich höhere Belastungen der Luft mit Schadstoffen durch die Emittenten Hausbrand und Verkehr. Keine Filterwirkung aufgrund der fehlenden Vegetation. Teilweise Durchlüftung durch meso- und mikroskalige Luftzirkulationssysteme (Flurwinde) und vertikalen turbulenten Austausch.

Bioklimatisch besonders problematisch. Es gelten die gleichen Aussagen wie zur bioklimatischen und lufthygienischen Situation. Allerdings ist wegen des höheren Bauvolumens mit einer Verstärkung der Phänomene (Bsp.: höhere Überwärmung) zu rechnen.

2.2.3 Die speziellen Klimafunktionen (Karte 2: „Klimafunktionskarte Teil 2")

Die speziellen Klimafunktionen mußten aus technischen Gründen als eigene Karte herausgelöst werden, um die Lesbarkeit und Aussagefähigkeit der Klimafunktionskarte insgesamt zu wahren. Die Trennung der Klimafunktionskarte in zwei Teile entspricht auch der Bedeutung der Klimafunktionen. Diese lassen sich nun eindeutig, entsprechend ihrer Planungsrelevanz,

darstellen. Der Nachteil der Zusammenführung zweier Karten bei der Analyse der klima- und immissionsökologischen Zusammenhänge fällt dabei nur geringfügig ins Gewicht.

Die speziellen Klimafunktionen umfassen das autochthone, mesoskalige Prozeßgeschehen und seine Auswirkungen auf die klimatisch-lufthygienische Situation im Stadtgebiet von Hannover. Folgende Funktionen werden dargestellt:

Mesoskalige Luftzirkulationssysteme

Großräumiger Austausch von Luftmassen tritt zwischen dem kühleren Umland und den überwärmten Bereichen des Stadtgebietes auf. Diese Flurwinde wurden für die Leine-Aue und die Bahntrassen im Bereich des Hauptgüterbahnhofs nachgewiesen. Für die weiteren zentrumsgerichteten Bahnlinien und größeren Verkehrsstraßen können diese Systeme nur vermutet werden. Lufthygienisch relativ unbelastete Luft wird nur über die Leine-Aue der Stadt zugeführt.

Kaltluftentstehungsgebiete und nächtlicher Kaltluftabfluß

Es handelt sich um vegetationsgeprägte Freiflächen, auf denen während der Nachtstunden durch Strahlungsverluste umfangreiche Kaltluft produziert wird. Bei Hangneigungen >1° setzt ein bodennahes Strömen der Kaltluft ein. Charakteristische Flächen sind feuchte Wiesen und Brachflächen, aber auch die Wälder weisen gute Kaltluftproduktionsbedingungen auf.

Kaltluftsammelgebiete

Hierzu zählen alle Senken und Muldenlagen, in denen die dort entstehende Kaltluft stagniert bzw. sich die zuströmenden Kaltluftmassen ansammeln (Hangfußbereiche des Kronsberges, Leineauenbereiche, Grubenbereiche im Osten des Stadtgebietes).

Warme Kuppenzonen

Es handelt sich vor allem um den Kammbereich des Kronsberges im Südosten des Stadtgebietes. Drei weitere kleine Kuppenzonen treten noch im Südwesten des Stadtgebietes auf (Lindener Berg, Tönniesberg und Mühlenberg).

2.3 Einsatz der Klimafunktionskarte in der Praxis

Die Klimafunktionskarte im UIS stellt für den Teilkomplex Klima und Luft die wichtigste Entscheidungshilfe für alle städtischen Planungen dar. Die Aussagen zu den wichtigen Klimafunktionen von Freiflächen und Belastungsschwerpunkten zeigen die Notwendigkeit von Planungsmaßnahmen in Richtung Sicherung (z. B. von Leitbahnen, Kaltluftentstehungsgebieten), Verbesserung (z. B. der Luftqualität, der Austauschverhältnisse) und Vermeidung (z. B. von Luftbelastungen) auf. Eine Abschätzung der Auswirkungen von Planungen auf die klima- und immissionsökologischen Funktionszusammenhänge ist somit generell möglich. Die Aussagen unterscheiden sich aber in Abhängigkeit von der Planungsebene, da die Aussagegenauigkeit mit zunehmendem Maßstab deutlich abnimmt. Die Klimafunktionskarte kann für folgende Planungsstufen verwendet werden:

- **Flächennutzungsplanung**: Für diese Planungsebene wurde die Klimafunktionskarte Hannover konzipiert. Für den Darstellungsmaßstab 1 : 20 000 stellt die Klimafunktionskarte die für die Flächennutzungsplanung benötigten klimaökologischen Informationen in einer genügenden räumlichen Differenzierung dar. Aussagen zu den Schutzgütern Klima/Luft sind auf Stadtteilebene und für größere Freiräume möglich. Es werden die Konfliktbereiche aufgezeigt, in denen hochauflösende Analysen erforderlich sind. Das UIS stellt hierfür eine Vielzahl der benötigten Klima- und Lufthygienedaten und Auswertungsmethoden zur Verfügung. Großmaßstäbige, flächenscharfe Aussagen zur genauen Lage und Ausdehnung der Klimafunktionen werden auf dieser Planungsstufe noch nicht benötigt.

- **Bebauungsplan**: Die Verwendung der Klimafunktionskarte für die verbindliche Bauleitplanung ist dagegen eingeschränkt. Für diese Planungsebene können der Karte nur noch orientierende Aussagen entnommen werden: Sie ermöglicht eine Ersteinschätzung des klimatisch-lufthygienischen Konfliktpotentials. Darauf aufbauend kann der räumliche und inhaltliche Untersuchungsrahmen für eine großmaßstäbige Klimaanalyse abgesteckt werden (Maßstab 1:5000 bis 1:1000). Ein Beispiel für eine Klimaanalyse auf der Ebene der verbindlichen Bauleitplanung stellen die Untersuchungen im Rahmen der vorgesehenen Baumaßnahmen am Kronsberg zur EXPO 2000 dar (u. a. Th. HERGERT, Th. MOSIMANN und P. TRUTE 1993).

3 GIS-gestützte empirisch-statistische Temperaturfeldmodellierung

Aus einem hochauflösenden Temperaturfeld lassen sich wichtige Hinweise auf die klima- und immissionsökologischen Funktionszusammenhänge in einem städtischen Raum ableiten. Die Kenntnis der Temperaturverteilung im großen Maßstab ermöglicht Aussagen

- zu Überwärmungsschwerpunkten im Stadtkörper (Hinweis auf eine potentielle bioklimatische Belastung),
- zur Kaltluftproduktivität von unterschiedlichen Freiflächenstrukturen, d. h. zum Ausgleichspotential der Freifläche,
- zu thermisch und/oder orographisch bedingten Luftaustauschströmungen,
- zur Lage und Ausdehnung von Frisch-/Kaltluftleitbahnen und ihrer Wirksamkeit und
- zur Reichweite von Austauschströmungen in den Wirkungsraum hinein (s. Kap. 4.2).

Um diese vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten auch GIS-gestützt verfügbar zu machen und den Meßaufwand zur Ermittlung des Temperaturfeldes zu minimieren, wurde im Rahmen des ÖFH für das UIS Hannover ein empirisch-statistisches Modell zur Simulation des Temperaturfeldes der Stadt im Maßstab 1:5000 entwickelt. Datenbasis für den Modellansatz sind etwa 12 000 Einzelmessungen zur Lufttemperatur, die im Zuge von Meßfahrten in allen relevanten Stadtstrukturen Hannovers ermittelt worden sind. Das Modell errechnet die Temperaturverteilung im Raum für austauscharme Wetterlagen. Grundlage für diesen Modellansatz sind die statistischen Abhängigkeiten, die zwischen der Lufttemperatur und den Parametern Versiegelungsgrad, Strukturhöhe, Größe der Struktureinheit und der Entfernung zum Bereich mit der höchsten Bebauungsdichte (in der Regel Stadtteil oder Stadtzentrum) bestehen. Der Einfluß von Flächennutzungsänderungen läßt sich also mit diesem Modellansatz simulieren.

Daß ein sehr enger Zusammenhang zwischen Temperturfeld und einzelnen die Bebauungsstruktur beschreibenden Größen besteht, wurde u. a. durch Untersuchungen in München (W. BRÜNDL et al. 1886), Berlin (A. v. STÜLPNAGEL 1987) und Ruhrgebietsstädten (W. BECKRÖGE 1990) nachgewiesen. Auch für Hannover sind diese Zusammenhänge in Ansätzen schon aufgedeckt worden (u. a. W. ERIKSEN 1978).

3.1 Das Regressionsmodell

Abb. 3 zeigt, wie die gemessenen Temperaturdaten in einem GIS mit den Strukturdaten verschnitten und für die statistischen Auswertungen aufbereitet werden.

Das hier vorgestellte Regressionsmodell beruht auf 11 160 Datensätzen aus vier im Stadtgebiet von Hannover im Sommerhalbjahr 1990 und 1991 durchgeführten, räumlich hochauflösenden Temperaturmeßfahrten. Da die Meßkampagnen von den meteorologischen Rahmenbedingungen, insbesondere den Austauschverhältnissen und der Überwärmungsintensität her sehr ähnlich waren, konnten sie zusammengefaßt werden. Um Schwankungen in der Spannweite der aufgetretenen Temperaturamplituden auszugleichen, werden die Temperaturwerte

im folgenden als prozentuale (positive oder negative) Abweichungen vom Temperaturmittelwert der betreffenden Meßfahrt, d. h. des Untersuchungsgebietes, dargestellt. Über GIS-gestützte Verschneidungen werden den Temperaturmeßwerten Informationen zu Realnutzung und Bebauungsstruktur („klimaökologisch relevante Flächeneinheiten") zugeordnet, die in die statistischen Auswertungen einfließen.

Eine schrittweise multiple Regression bezieht die Variablen Versiegelung, Entfernung zum größten Bauvolumen, Flächengröße der Struktureinheit und Strukturhöhe in das Modell ein. Das Ergebnis dieser statistischen Analyse ist in Tab. 1 zusammengefaßt.

Es ergeben sich signifikante Bestimmtheitsmaße für alle in die Berechnungen einfließenden unabhängigen Variablen. Das heißt, daß sie alle zur Erklärung der Streuung der Temperaturabweichungen beitragen. Zusammengefaßt resultiert eine erklärende Varianz von $r^2 = 0{,}75$, d. h. die aufgelisteten Strukturparameter bestimmen zu 75% das Temperaturfeld von Hannover.

Die berücksichtigten Variablen liefern allerdings einen sehr unterschiedlichen Beitrag zur Erklärung des Temperaturfeldes. Mit Abstand am wichtigsten ist der Versiegelungsgrad (s. a. W. BECKRÖGE 1990). Die Versiegelung stellt den entscheidenden Indikator für die Modifikation des urbanen Temperaturfeldes dar. Als Maß für den Grad der Überbauung gibt sie gut die Beeinflussung des Strahlungshaushaltes – und damit des Wärmehaushaltes – durch die städtischen Baukörper wieder (vgl. W. BRÜNDL et al. 1986). Einen wichtigen Erklärungsanteil am Temperaturfeld hat auch noch die räumliche Distanz zwischen simuliertem Temperaturwert zum Bereich mit der höchsten Baumasse (= hohe Wärmespeicherkapazität) und intensivster Nutzung (= stärkste anthropogene Wärmeemission). Die übrigen Einflußgrößen treten dahinter deutlich zurück (s. Tab. 1). Ursache für den relativ geringen Erklärungsanteil

Tab. 1: Multiple Regression zur Simulation des städtischen Temperaturfeldes aus den Strukturparametern Versiegelungsgrad, Entfernung zum Bereich mit der höchsten Bebauungsdichte, Strukturhöhe, Flächengröße. Das Modell berechnet das nächtliche Temperaturfeld als positive und negative prozentuale Abweichungen von der mittleren Lufttemperatur einer Region für sommerliche austauscharme Strahlungswetterlagen.

Unabh. Variable	Regressionsbeziehung	r^2	Sig.*1
a	$T_{abw} = -23{,}008 + 0{,}546\ a$	0,67	***
a, b	$T_{abw} = -5{,}839 + 0{,}429\ a - 2{,}253\ b$	0,73	***
a, b, c	$T_{abw} = 0{,}459 + 0{,}394\ a - 1{,}818\ b - 1{,}737\ c$	0,74	***
a, b, c, d	$\mathbf{T_{abw} = 1{,}856 + 0{,}459\ a - 2{,}054\ b - 1{,}665\ c - 0{,}424\ d}$	0,75	***

Erläuterungen: a = Versiegelung, b = Entfernung, c = Flächengröße, d = Strukturhöhe
Die unabhängigen Variablen b = „Entfernung zum größten Bauvolumen" und c = „Flächengröße der Struktureinheit" gehen dabei als klassifizierte Werte in die Berechnung ein. d = Höhe und a = Versiegelung werden als Mittelwert für homogene, abgrenzbare Struktureinheit (z. B. Wohnbaublock, Industrieareal) angegeben.
*1: Signifikanzniveau nach dem T-Test (E. WEBER 1980): *** = 99,9%

des Indikators „mittlere Strukturhöhe" ist wahrscheinlich die zu grobe Klassifikation, über die dieser Parameter aus der Biotopkarte von Hannover (1985) anhand von Literaturwerten abgeleitet worden ist. Auch die Flächengröße der klimaökologischen Struktureinheit liefert nur einen untergeordneten Erklärungsanteil am Temperaturfeld. Für die Anwendungspraxis des Temperaturfeldmodells läßt sich daraus folgern, daß das urbane Temperaturfeld mit hinreichender Genauigkeit schon über die Parameter „Versiegelung" und die „Entfernung zum



Legende:

	Temperatur-abweichung (%)	Charakterisierung
	> 25	**Überwärmter Bereich**
	20 - 25	
	15 - 20	
	10 - 15	
	5 - 10	**Übergangsbereich**
	0 - 5	
	-5 - 0	
	-10 - -5	**Kältesenken**
	-15 - -10	
	-20 - -15	
	-25 - -20	
	< -25	

Abb. 3: Das simulierte Temperaturfeld für austauscharme, sommerliche Hochdruckwetterlagen für den Stadtausschnitt Linden-Nordstadt-Innenstadt. Die Lufttemperatur wird als Abweichung vom Mittel des Untersuchungsraums angegeben (in %).

Bereich mit der höchsten Baumasse" zu modellieren ist. Damit verringert sich der Arbeitsaufwand bei der Datenbereitstellung für das Modell noch einmal erheblich. Dies erhöht die Anwenderfreundlichkeit des Modells beträchtlich, wenn dem Bearbeiter kein GIS-System zur Verfügung steht.

3.2 Temperaturfeldberechnung für den Stadtausschnitt „Nordstadt-Linden-Innenstadt"

Das Regressionsmodell für die großmaßstäbige Simulation von Temperaturverteilungen ist als ein Auswertungsmodul in das städtische UIS integriert und läßt sich in den Bearbeitungsablauf von Planungsvorhaben einbinden, bei denen klimaökologische Belange berührt wer-

den. Dabei können die Auswirkungen von geplanten Flächennutzungsänderungen auf das Lufttemperaturfeld mit einer für die Praxis hinreichenden Genauigkeit prognostiziert werden. Gültigkeit besitzt das Modell zunächst aber nur für Hannover und ähnlich strukturierte urbane Räume. In Städten mit größeren Reliefunterschieden, muß als weitere Variable die „Geländehöhe" in die statistische Beziehung einfließen.

Das Temperaturfeld wird über Datenbankoperationen (Bsp. DASP) berechnet und über ein GIS-System (hier: GIROS und SPANS) mit 79 Einzelkarten im Maßstab 1:5000 flächendekkend für die Stadt Hannover umgesetzt. Abb. 3 zeigt als Beispiel das simulierte Temperaturfeld für den Kartenauschnitt Linden-Nordstadt-Zentrum.

3.3 Zur Genauigkeit der Temperaturfeldberechnungen

Aussagen zur Genauigkeit des modellierten Temperaturfeldes, lassen sich aus einem Vergleich der in dem Kartenausschnitt dargestellten simulierten Temperaturverteilung mit den Ergebnissen der Temperaturmeßfahrten ableiten. In Tab. 2 sind die berechneten Temperaturwerte den gemessenen Temperaturabweichungen gegenübergestellt. Angegeben sind jeweils die Mittelwerte der Temperaturabweichungen für die im Kartenausschnitt (siehe Abb. 3) auftretenden klimaökologisch relevanten Struktureinheiten.

Die höchste Überwärmung ($T_{abw} > 25\%$) ist in der Innenstadt, die durch hohe Versiegelungswerte (> 90%) und ein hohes Bauvolumen gekennzeichnet ist, und in den zentralen Bereichen von Hannover-Linden und der Nordstadt zu finden. Die beiden letztgenannten Gebiete weisen einen sehr hohen Anteil von gründerzeitlicher Blockbebauung auf, die mit einem hohen Bauvolumen (Versiegelungsraten von > 80% und durchschnittlichen Strukturhöhen ≥ 17,5 m) einhergeht. Eine ebenfalls deutlich positive Temperaturabweichung zeigen die sich an die obengenannten Bereiche anschließenden Zonen mit Blockrandbebauung, die größere unversiegelte Blockinnenbereiche aufweist, und mit Zeilenbebauung. Dem thermischen Übergangsbereich ($T_{abw} < 10\%$ und > -5 %) sind dagegen Gemeinbedarfsflächen mit hohem Freiflächenanteil (Schulen, Kindergärten . . .), Einfamilienhausbebauung und in die Bebauung integrierte kleinere Grünflächen zuzuordnen. Kältesenken stellen die Grün- und Freiflächen, die die Leine begleiten, und die angrenzenden Kleingärten dar. Die höchsten negativen Temperaturabweichungen vom Gebietsmittel werden in diesem Kartenausschnitt mit −15 % für die Parkanlagen Georgen- und Welfengarten erreicht.

Bemerkungen zur Übereinstimmung von Messungen und Simulation

- Das modellierte Temperaturfeld in diesem Stadtausschnitt deckt sich gut mit den mittleren Temperaturunterschieden, die bei den Meßfahrten für die einzelnen klimaökologisch wirksamen Flächeneinheiten ermittelt wurden. Die Abweichung zwischen den simulierten und den gemessenen Lufttemperaturen liegt in der Regel unter 3%.
- Die besten Übereinstimmungen ergeben sich vor allem in den durch hohe Versiegelungsgrade gekennzeichneten Baukörperstrukturen (z. B. Blockbebauung, Blockrandbebauung, Stadtzentrum). Über den Parameter „Versiegelung" läßt sich die Temperaturverteilung zu etwa 67% erklären (s. Tab. 1).
- Das simulierte Temperaturfeld weist höhere Abweichungen auf, wenn Struktureinheiten betrachtet werden, die eine sehr heterogene Mischung von überbauten Flächen und Grün-/Freiflächen enthalten (z. B. Einfamilien-/Reihenhaussiedlungen, Gemeinbedarfsflächen). Zwei Faktoren spielen hier eine Rolle: Zum einen gehen in die Mittlung der Temperaturwerte sehr unterschiedlich ausgestaltete Siedlungsflächen dieses Strukturtyps ein, und zum andern werden Auswirkungen der Freiflächen (z. B. Kaltluftproduktion) durch die Variable „Versiegelung" im Modellansatz zu unscharf wiedergegeben. Trotzdem liefert die Simulation des Temperaturfeldes auch für diese Strukturtypen ein hinreichend genaues Er-

gebnis. Die simulierten Werte liegen in der Regel im Schwankungsbereich der Temperaturmeßwerte – ausgedrückt über die Standardabweichung – in diesen Strukturtypen (s. Tab. 2).

Fazit

Die Modellergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung zu den durch Meßfahrten ermittelten Werten zum Temperaturfeld der Stadt auf. Allerdings ließe sich die Aussagegenauigkeit verbessern, wenn der Einfluß der unterschiedlichen Grünflächenstrukturen besser parametrisiert würde (z. B. über eine Kenngröße zum Grünvolumen). Positiv wäre insgesamt auch die Erhöhung der Informationsdichte und -güte für die Parameter „Versiegelung" und eventuell auch für die „Strukturhöhe" (z. B. über den Einsatz von EDV-gestützten Fernerkundungsverfahren, aus Luftbildern abgeleitet). Eine Validierung des Modells in weiteren Städten steht noch aus.

Tab. 2: Vergleich der modellierten mit den gemessenen Lufttemperaturwerten – ausgedrückt als Abweichungen von Gebietsmittelwert in % – für die unterschiedlichen Stadtstrukturen im Gebiet Nordstadt-Linden-Innenstadt

Klimaökologisch wirksame Stadtstruktur				Lufttemperatur		
	Strukturparameter			Modell	Meßfahrt*[2]	
	Versiegelung (%)	Höhe (m)	Entfernung (km)	Mittelwert (%)	Mittelwert (%)	Standardabweichung
Grünflächen/Parkanlagen*	5	0,5	1 – 2	– 2,0	1,2	8,6
	5	0,5	2 – 3	– 8,9	– 9,3	9,0
	5	0,5	3 – 4	– 8,1	– 4,6	9,7
Kleingärten	15	3,75	2 – 3	–12,7	–18,2	4,7
Friedhöfe	35	3,75	1 – 2	4,0	4,8	7,3
	35	3,75	3 – 4	8,6	– 2,4	4,7
Einfamilien-/Reihenhäuser	55	7,5	1 – 2	9,5	12,1	0,5
Zeilenbebauung	55	12,5	1 – 2	9,4	7,7	16,1
	55	12,5	3 – 4	14,9	12,9	14,9
Ortskerne	65	7,5	2 – 3	16,1	17,3	10,8
	65	7,5	3 – 4	18,4	22,0	8,3
Gemeinbedarfsflächen	65	12,5	1 – 2	18,1	20,5	2,4
	65	12,5	2 – 3	19,7	12,5	8,9
Blockrandbebauung *[1]	75	12,5	1 – 2	20,4	20,2	5,5
Blockrandbebauung	85	17,5	1 – 2	27,9	27,3	3,5
	85	17,5	2 – 3	28,8	25,8	4,7
Blockbebauung	95	17,5	2 – 3	28,6	28,3	1,6
Zentrum	95	22,5	0 – 1	28,7	26,3	6,7

Erläuterungen:

* = überwiegend Rasen-/Wiesenflächen

*[1] = hoher Freiflächenanteil durch entkernte Innenhöfe

*[2] = Temperaturmittelwerte und Standardabweichungen sind aus der Grundgesamtheit der vier Meßfahrten (n = 11160) berechnet worden

3.4 Anwendung des Temperaturfeldmodells zur Ermittlung der Kaltluftproduktion von unterschiedlichen Freiflächentypen

Die Produktion von Kaltluft ist eine wichtige klimaökologische Funktion der im Stadtgebiet vorhandenen Ausgleichsräume. Sie schafft die Voraussetzung dafür, daß diese Räume über Stadtstrukturen, die eine Luftleitbahnfunktion aufweisen (breite Straßenzüge, Bahnanlagen, große, zusammenhängende Grünflächen), eine Ausgleichsleistung in Form der Kalt-/Frischluftlieferung für die mit ihnen verbundenen, belasteten Stadtteile erbringen können.

Die Kaltluftproduktivität unversiegelter Flächen ist abhängig von ihrem Bewuchs, der Stellung im Relief und der Flächengröße. Als Indikator für die produzierte Kaltluftmenge kann das Abkühlungsverhalten der Freifläche und damit die Temperatur der über ihr lagernden Luft herangezogen werden. Über die in der Klassifikation der klimaökologisch relevanten Flächeneinheiten enthaltenen Informationen zum Bewuchs der Flächen im Zusammenspiel mit den Ergebnissen der Simulation des Temperaturfeldes kann die potentielle Kaltluftproduktion jeder bewachsenen Freifläche im Stadtgebiet berechnet werden.

Abschätzung der Kaltluftproduktion

Für die unterschiedlichen Freiflächentypen werden aus dem modellierten Temperaturfeld die Produktionsraten bestimmt. Dabei fungieren die Temperaturabweichungen vom Gebietsmittel, die bei den Freiflächen in der Regel im negativen Bereich liegen, als Gewichtungsfaktor. Die Kaltluftproduktionsrate eines Ackerstandortes mit 12,0 $m^3/m^2 \cdot h$ (E. KING 1973, Th. HERGERT 1991) dient als Eichwert. Anhand der mittleren negativen Temperaturabweichung, die als Gewichtungsfaktor wirkt, werden nun die Zu- oder Abschläge zu dieser Produktionsrate für die einzelnen Freiflächenstrukturtypen bestimmt (s. Tab. 3).

Über die Flächengröße und einen Ansatz von einer Nachtlänge von 8 Stunden erfolgt die Berechnung der Kaltluftproduktion jeder Einzelfläche. Über die potentielle Gesamtproduktion von Kaltluft in den bewuchsgeprägten Freiflächen erfolgt die Bewertung ihrer klimaökologischen Wirksamkeit. Die Kaltluft stellt das Ausgleichspotential dieser Flächen dar. Sie kann zur Verbesserung der bioklimatischen und/oder lufthygienischen Belastungssituation in den angrenzenden, höher versiegelten Stadtarealen beitragen.

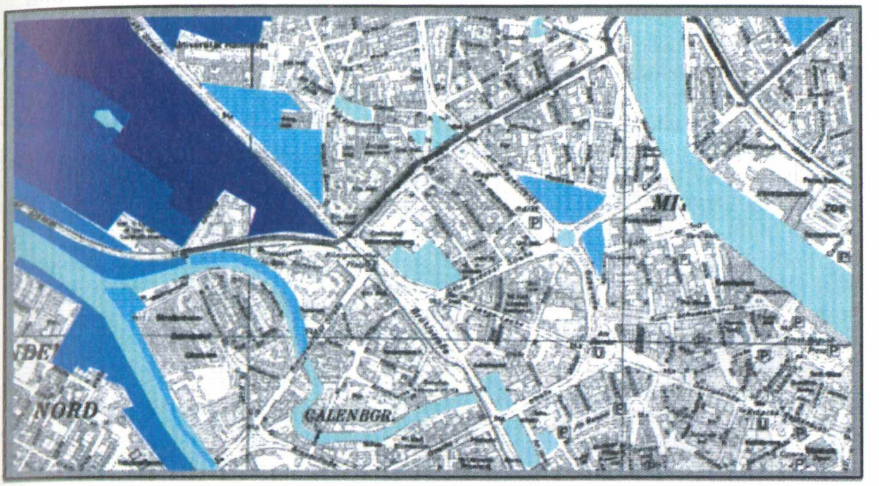
Tab. 3: Ableitung der mittleren Kaltluftproduktivität verschiedener Freiflächentypen in Hannover aus dem Lufttemperaturfeld

Freiflächentyp	Kaltluftproduktion ($m^3/m^2 \cdot h$)
Wiesen/Weiden	32,3
Waldflächen	26,7
Ackerflächen	12,0*
Kleingärten	11,9
Parkanlagen/Abstandsflächen	8,6
Ruderalflächen	4,4

Anmerkungen: * = Eichwert nach E. KING 1973; ein Wert von 12,2 $m^3/m^2 \cdot h$ ist auch am Kronsberg für einen Ackerstandort gemessen worden (Th. HERGERT 1991)

Die kaltluftproduzierenden Flächen liegen als Informationsebene im Maßstab 1:5 000 im UIS flächendeckend vor. Abb. 4 zeigt als Bsp. den Stadtausschnitt Linden-Innenstadt-Nordstadt. Festzuhalten ist:

- Die relativ kleinen innerstädtischen Grünanlagen (z. B. im Bereich des Klagesmarktes) haben nur geringe Kaltluftproduktionswerte (Klasse 1 oder 2). Ihre klimaökologische



Legende:

	Kaltluftproduktion der Freiflächen	
	Kaltluftproduktions-klasse	Kaltluftproduktion (m^3/m^2*8h)
	1	< 50 000
	2	50 000 - 100 000
	3	100 000 - 500 000
	4	500 000 - 1 000 000
	5	1 000 000 - 5 000 000
	6	> 5 000 000

Abb. 4: Ausschnitt aus der Informationsebene „Kaltluftproduktion der Freiflächen" des UIS der Stadt Hannover. Dargestellt ist die Kaltluftproduktion der Freiflächen im Stadtausschnitt Linden-Nordstadt-Innenstadt

Wirksamkeit erstreckt sich damit nur auf einen engen Saum mit einer Breite von 30 m bis maximal 100 m um die Freifläche.

- Geringe Werte weist auch die Leine mit dem schmalen Streifen uferbegleitender Grünflächen im Bereich der Calenberger Neustadt auf. Hier kommt zum Tragen, daß Wasserflächen nicht als Kaltluftproduzenten in Erscheinung treten und die fortschreitende Stadtentwicklung die Grünflächen auf ein Mindestmaß zurückgedrängt hat. Auch hier ist die Wirksamkeit der Freiflächen auf die unmittelbar angrenzenden bebauten Bereiche beschränkt.
- Mittlere bis hohe Kaltluftproduktionswerte (Klassen 3–5) weisen dagegen die großen zusammenhängenden Parkflächen in der Nordstadt (Georgengarten, Welfengarten) sowie die Kleingartenkolonien und Grünflächen entlang der Leine im Übergang Nordstadt/Linden auf. Sie stellen in der Gesamtheit klimaökologisch sehr wichtige Flächen dar, da sie große Areale von Linden, der Nordstadt und zum Teil auch der Innenstadt mit Kalt-Frischluft versorgen können. Ihr Wirkungsbereich – Reichweite in die Bebauung – erreicht mehrere Dekameter, so daß sie zu einer wirksamen Verbesserung der bioklimatisch-lufthygienischen Situation in den obengenannten Wirkungsräumen beitragen.

4 Fallbeispiel Kronsberg: Kaltluftabflüsse und ihre klimaökologische Funktion

Der 40 m über die flacheren Gebiete seiner Umgebung herausragende Kronsberg stellt die einzige größere Erhebung im Stadtgebiet von Hannover dar. Er wird überwiegend landwirtschaftlich genutzt. Die an diese Freifläche angrenzenden Stadtteile weisen die typischen urbanen Bebauungs- und Nutzungsstrukturen für einen Stadtrandbereich auf. Bereiche dichter Bebauung in Form von kleinflächiger Block- und Blockrandbebauung, Zeilen- und Hochhausbebauung sowie von Subzentren und Gewerbeflächen bestehen in Anderten, Bemerode, Kirchrode und Laatzen-Mitte. Hochversiegelte Bereiche stellen das Leine-Einkaufszentrum in Laatzen-Mitte und das Messegelände dar.

Der Kronsberg ist eine der wichtigsten Kaltluft produzierenden Flächen im Stadtgebiet. Kaltluft kann benachbarte Stadtteile thermisch entlasten und lufthygienisch verbessern. Der Kronsberg erfüllt deshalb für diese Stadtteile die Funktion eines wichtigen klimaökologischen Ausgleichsraumes. Die Erfassung und Bewertung dieser klimaökologischen Ausgleichsleistungen ist von besonderem planerischen Interesse:

- Der 1500 ha umfassende Kronsbergbereich ist die einzige größere Reservefläche für bauliche Entwicklungen im Stadtgebiet von Hannover, und
- im Südwestteil befindet sich das Gelände für die Weltausstellung EXPO 2000.

4.1 Die Kaltluftströmungen am Kronsberg

Während klarer, austauscharmer Strahlungsnächte bildet sich im unbebauten, geneigten Gelände stets ein eigenständiges, hangabwärts gerichtetes Strömungssystem aus. Die Ursache liegt in den erheblichen Energieverlusten der Erdoberfläche durch die zunehmende effektive Ausstrahlung. Aufgrund der höheren Dichte der kalten Luft zur Umgebungsluft kommt der Abfluß wellenartig, der Schwerkraft folgend, in Gang. Aus Kontinuitätsgründen erfolgt gleichzeitig ein zur Hangfläche gerichteter Wärmetransport. Die Schwerewellen können im Gelände als fühlbare Ereignisse in Form von „Warmlufteinbrüchen" beobachtet werden (J. FRANKE & G. TETZLAFF 1987).

Am Kronsberg treten trotz der geringen Reliefenergie und der relativ kleinen Einzugsgebiete klimaökologisch relevante Kaltluftabflüsse auf, d. h. Kaltluftströmungen mit einem nachweislich positiven Einfluß auf die bioklimatische und lufthygienische Situation im bebauten Gebiet. Die Ergebnisse der detaillierten Untersuchungen – Rauchpartronenversuche in Verbindung mit stationärem Meßnetz und Klimameßfahrten lösen die Intensität und Reichweite der Kaltluftabflüsse hoch auf – bestätigen das Zutreffen der aus Literaturangaben abgeleiteten, qualitativ aus Bodeneigenschaften, Bodenbedeckung und Hangform resultierenden guten Bedingungen für die Kaltlufterzeugung und den Kaltlufttransport. Unter dieser Voraussetzung müssen für das Auftreten des klimaökologisch relevanten Hangabwindes folgende Mindestanforderungen formuliert werden:

- Hanglänge $\geq$800 m;
- mittlere Hangneigung $\geq$1,6° bei Maximalwerten $\geq$2,5°;
- Einzugsgebiet $\geq$1 km^2.

Durch Rauchpatronenversuche wird die Struktur der abfließenden Kaltluft deutlich. Der Strömungscharakter des Hangabwindes befindet sich im Übergangsbereich zwischen laminaren und turbulenten Strömen, ist also quasi-laminar (Abb. 5). Dies bedeutet, daß die Kaltluft ohne wesentliche Querdurchmischung, dem Topographiegradienten folgend, hangabwärts strömt und dabei mit zunehmender Fließstrecke an Mächtigkeit gewinnt.

Auch die Veränderung des Abflußvorganges durch querende Strömungshindernisse wird durch die Rauchpatronenversuche dokumentiert (Abb. 6). Der Hangabwind überströmt hierbei die Barriere, und es bildet sich vor dem Hindernis ein Kaltluftstaubereich aus. Bei den Untersuchungen ist das Überströmen von Hindernissen mit Höhen bis zu 6 m beobachtet worden.



Abb. 5: Rauchpatronenversuch am Nordwesthang des Kronsberges vom 30. 07. 1990



Abb. 6: Rauchpatronenversuch am Nordwesthang des Kronsberges vom 30. 07. 1990

Die tolerierbare Grenzwindgeschwindigkeit der atmosphärischen Grundströmung, die noch klimaökologisch relevante Kaltluftabflüsse zuläßt, liegt trotz der Windoffenheit des Untersuchungsgebietes bei ca. 4,2 m/s in 40 m Höhe ü. Grund und bei ca. 3,1 m/s in 10 m Höhe ü. Grund.

Charakteristika des Kronsberg–Hangabwindsystems

- Der Beginn des Kaltluftabflusses liegt ca. 1,5 Stunden vor Sonnenuntergang.
- Die mittleren Kaltlufthöhen schwanken zwischen 3,5 m und 7 m.
- Die über diese Höhe gemittelten Hangabwindgeschwindigkeiten betragen zwischen 0,4 m/s und 1,3 m/s. Die stündlichen Spitzenwerte erreichen 1,9 m/s.
- Der Kaltluftabfluß erfolgt wellenartig mit einem mittleren Zyklus von 5 Minuten.
- Die Kaltluftproduktionsraten bewegen sich zwischen 5,8 $m^3/(m^2 \cdot h)$ und 19,6 $m^3/(m^2 \cdot h)$.

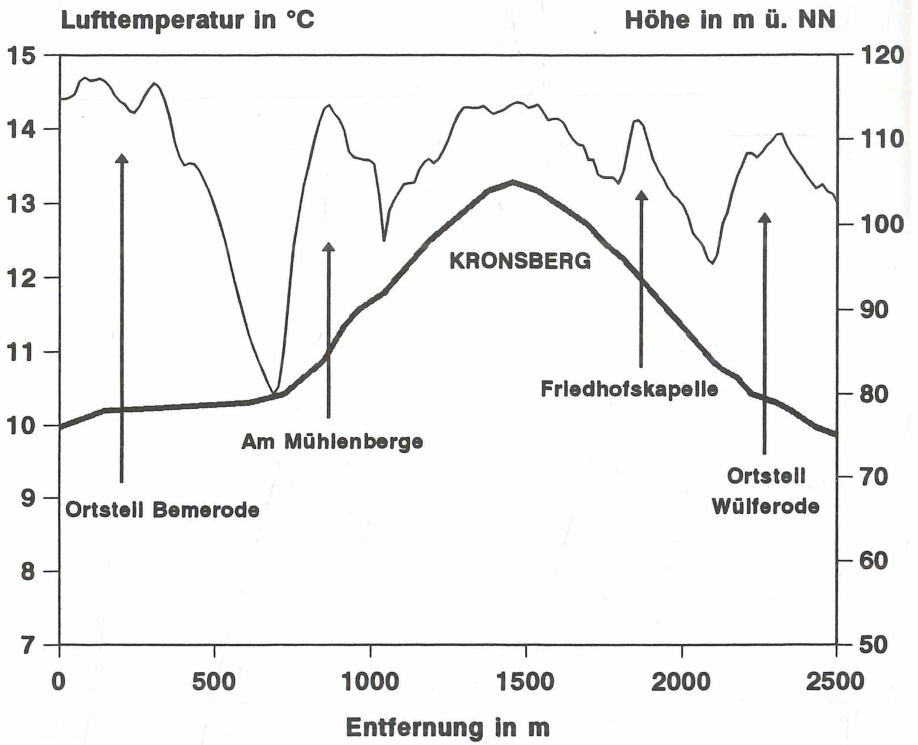


Abb. 7: Gegenüberstellung des Lufttemperaturverlaufes (°C) am 15. 07. 90 (01.00 Uhr MESZ) mit dem Höhenprofil (m) (10-fache Überhöhung) über dem Kronsberg.
Durch den Kaltluftabfluß nimmt die Lufttemperatur hangabwärts stark ab, und es bildet sich eine „warme Kammzone" aus. Die Einfamilienhaussiedlung „Am Mühlenberge" und die Friedhofskapelle von Wülferode wirken dem entgegen, indem sie die Kaltluft stauen und zu einer entsprechend der Versiegelung deutlichen Lufttemperaturerhöhung führen. In den angrenzenden Stadtteilen Bemerode und Wülferode stellt sich mit zunehmender Entfernung vom Kronsberg die strukturtypische Überwärming wieder ein und dokumentiert den kontinuierlich nachlassenden Kaltlufteinfluß.

Einfluß von Hangbebauungen

Die bisher vorgestellten Tatsachen treffen vollständig aber nur für unbebaute Kaltluft-einzugsgebiete zu. Anhand eines Profilschnittes über den Kronsberg lassen sich die Auswirkungen von Hangbebauungen auf das Lufttemperaturfeld und damit auf den Hangabwind darstellen. Abb. 7 zeigt, daß schon geringe Versiegelungsanteile durch die veränderten Energiehaushaltsbedingungen zu deutlichen Lufttemperaturerhöhungen führen. Als Folge der Hangbebauung ergibt sich eine Unterbrechung des Hangabwindes und somit eine erhebliche Reduzierung des Kaltlufteinzugsgebietes. Zudem bilden sich Kaltluftstaubereiche oberhalb der Bebauungen aus.

Häufigkeit der Hangabwindströmung

Unter Zuhilfenahme der atmosphärischen Parameter kann die Häufigkeit des Auftretens des Hangabwindes abgeschätzt werden. Die Bedingungen für die Indikatoren lauten:

- antizyklonale oder hochdruckgeprägte Großwetterlage nach P. HESS und H. BREZOWSKY (1969);
- täglicher Bewölkungsgrad $\leq$2/8 und an maximal zwei Terminen $\leq$3/8;
- Windgeschwindigkeit von $\leq$3,1 m/s in 10 m Höhe ü. Grund ab spätem Nachmittag.

Als Grundlage sind die Meßdaten der Station des Deutschen Wetterdienstes in Langenhagen aus dem EUROPÄISCHEN WITTERUNGSBERICHT (1990) verwendet worden. Die Auswertung für das Sommerhalbjahr 1990 ergibt, daß an 13% der Tage die notwendigen Voraussetzungen zur Enstehung von Kaltluftströmungen bestehen.

4.2 Klima- und immissionsökologische Ausgleichseffekte des Kronsberges

Über den Hangabwind übt der Kronsberg eine klimaökologische Ausgleichswirkung auf die angrenzenden, bebauten Gebiete aus. Die Folge ist dort eine positive Veränderung der bioklimatischen und lufthygienischen Situation durch die Versorgung mit kühler Frischluft und die bessere Durchströmung. Die Bedeutung der Kaltluft-/Frischluftlieferung ist abhängig von

- der Größe des Einflußbereiches der Kaltluftströmung,
- der Immissionsfracht des Hangabwindes und
- den bioklimatisch-lufthygienischen Verhältnissen in den angrenzenden Wirkungsräumen.

Klimatische Situation

Räumlich hochauflösende Meßfahrten geben das nächtliche Lufttemperaturfeld während austauschschwacher Strahlungswetterlagen sehr differenziert wieder. Solche Meßfahrten sind deshalb auch für kleinräumige Untersuchungen in der Planungspraxis gut geeignet. Über das Abkühlungsverhalten in den unterschiedlichen Oberflächenstrukturen lassen sich die Gebiete mit einem bioklimatischen Belastungs- und Entlastungspotential ermitteln. Abb. 8 zeigt, daß überwärmte Flächen in Hochhaus-, Gewerbegebieten und Stadtteilzentren sowie vereinzelt in Zeilen- und Sonderbaugebieten auftreten. Dagegen sind die landwirtschaftlich genutzten Freiflächen des Kronsberges stark abgekühlt und spiegeln das große Kaltluftpotential wider. Der Kaltlufteinfluß dieser Flächen ist dafür verantwortlich, daß trotz z. T. hohem Versiegelungsgrad und Bauvolumen, wie z. B. in Laatzen-Mitte und auf dem Messegelände, die Überwärmung weniger als 1,5 K beträgt und die thermische Belastung dementsprechend nur als mäßig einzustufen ist. In verdichteten Bereichen vergleichbarer Stadtrandlagen beträgt die Überwärmungsintensität i. d. R. mehr als 2 K.

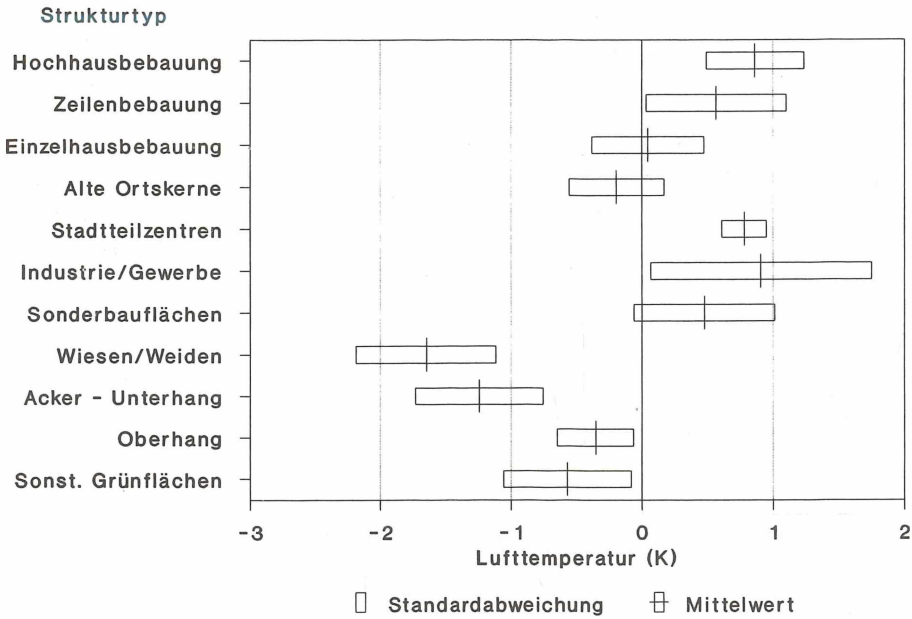


Abb. 8: Lufttemperatur (als Abweichung vom Mittel der Meßfahrten in K) in Abhängigkeit von der urbanen Oberflächenstruktur

Lufthygienische Situation

Die Analyse von Stichprobenimmissionsmessungen im 1 km^2-Raster gemäß der TA-Luft (1986) ermöglicht eine differenzierte Bewertung des lufthygienischen Belastungs- und Entlastungspotential im Kronsbergbereich. Da i. d. R. die Emissionsquelle KFZ-Verkehr das Immissionsfeld in Hannover prägt, wird die NO_2-Immission als Leitparameter herangezogen. Über die punktbezogene statistische Auswertung lassen sich für die relevanten urbanen Oberflächenstrukturen charakteristische NO_2-Belastungen ableiten (Abb. 9). Höhere Immissionskonzentrationen, d. h. Überschreitungen des Mindeststandards (= Vorsorgewert) für den IW1-Wert von 50 $\mu g/m^3$ für die siedlungsnahen Nutzungen Wohnen und Erholen (W. KÜHLING 1986), treten in den Gewerbeflächen und Stadtteilzentren sowie vereinzelt in Zeilen-, Block- und Blockrandbebauung auf. Die Freiflächen des Kronsberges weisen dagegen geringe Immissionsvorbelastungen auf. Mittlere Konzentrationen von < 30 $\mu g/m^3$ geben die Grundbelastung für diesen Schadstoff im Stadtgebiet wieder. Diese relativ saubere Luft – Frischluft – bedeutet ein hohes immissionsökologisches Ausgleichspotential der Kaltluftabflüsse.

Einflußbereich der Kaltluftströmungen

Die Bestimmung der Reichweite des Hangabwindes gibt Aufschluß über die Wirksamkeit der klimaökologischen Ausgleichswirkungen. Direkte und sehr interessante, aber nur stichpunkthafte Informationen liefern hierzu die Ergebnisse von den Rauchpatronenversuchen. Die flächendeckende Situation läßt sich dagegen nur indirekt über die ermittelte Lufttemperaturverteilung durch die kontinuierlichen Meßfahrten beschreiben. Als Reichweite wird dabei die

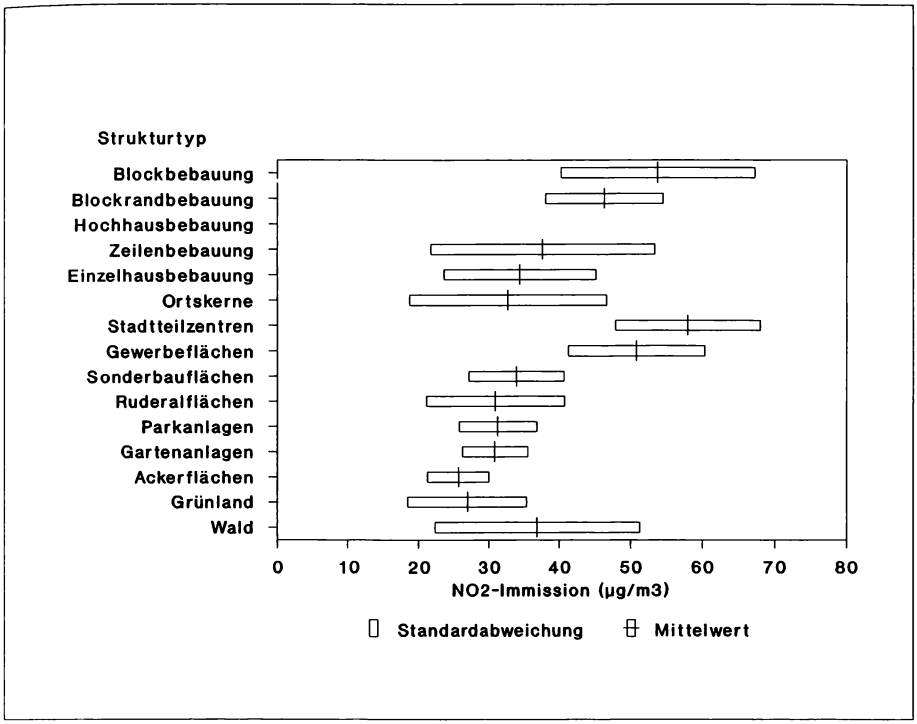


Abb. 9: Charakteristische NO_2-Immissionen ($\mu g/m^3$) der urbanen Oberflächenstrukturen aus den TA-Luftmeßprogrammen 1990/1991

Entfernung vom Rand der Freifläche bis zu einem Punkt definiert, der noch horizontale Lufttemperaturgradienten erkennen läßt (Abb. 10). Der Einfluß des Kaltluftabflusses endet also dort, wo sich die Gradienten weitgehend abflachen und in ein qualitativ sowie quantitativ einheitlich überwärmtes, von den Bebauungsstrukturen her also auch homogenes Gebiet übergehen (A. v. STÜLPNAGEL 1987). Durch den Einfluß des grundströmungsbedingten Luftaustausches in der Bebauung kann der Wirkungsbereich der Hangabwinde zusätzlich vergrößert oder verkleinert werden.

In Abb. 11 ist die Reichweite der Kaltluftströmung am Nordwesthang des Kronsberges für eine Situation mit günstigen Witterungsbedingungen für die Ausgleichswirkung dargestellt. Die kleinräumige Lufttemperaturdifferenzierung erreicht in diesem Fall maximale horizontale Unterschiede von 9,2 °C. Die Auswertungen ergeben Reichweiten zwischen 300 m und 1000 m. Auch unterhalb des Südwesthanges des Kronsberges sind in Laatzen-Mitte Reichweiten von mindesten 1 km ermittelt worden. Es zeigt sich dabei, daß neben der Durchlässigkeit der Oberflächenstrukturen und dem Straßenverlauf die Neigungsrichtung in den flacheren Bereichen maßgebend ist. Im nördlichen Bereich von Bemerode, bedingt durch die Staueigenschaften des Straßendammes, und in Anderten kommt es u. a. auch durch die Vernetzung mit anderen Freiflächen zur Ausbildung von „Kältebrücken", so daß die Reichweite des Kronsberg-Hangabwindes in diesen Fällen nur eingeschränkt beurteilt werden kann.

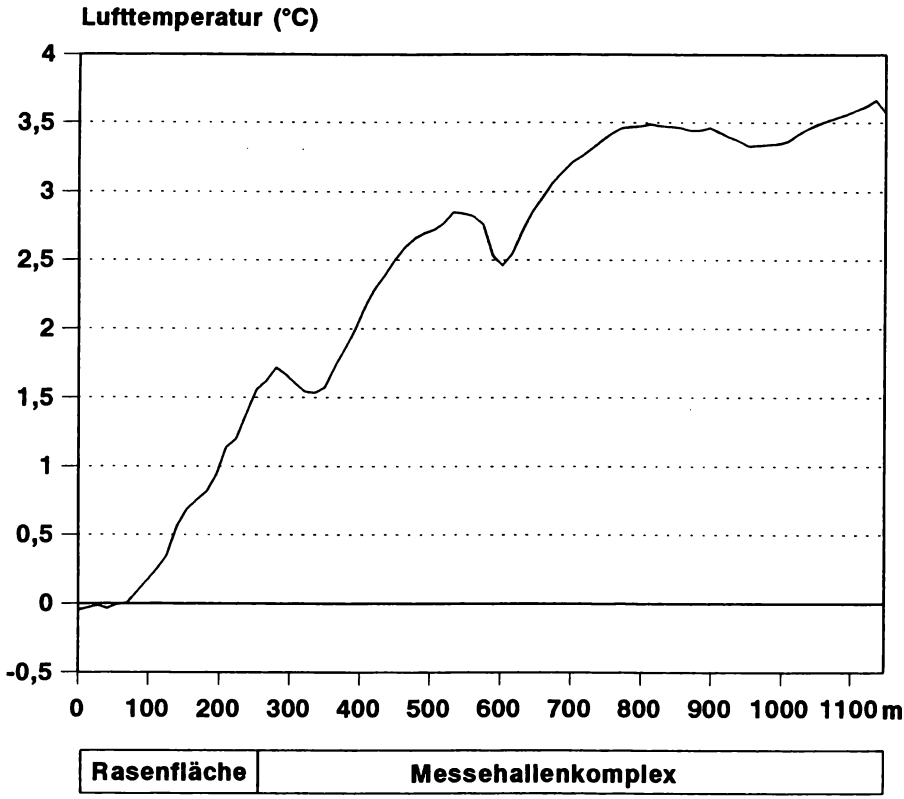


Abb. 10 Abschätzung der Reichweite des Kaltlufteinflusses in die angrenzende Bebauung hinein über ein Temperaturtransekt am Beispiel des Übergangs Hangfuß Kronsberg – Messegelände. Der Wirkungsbereich der Kaltluft beträgt hier 850 m.

4.3 Planerische Maßnahmen

Zur planerischen Umsetzung der Ergebnisse der detaillierten Untersuchungen zum Kaltlufthaushalt sowie zu den thermischen und lufthygienischen Verhältnissen müssen diese in eine integrierende Darstellung zusammengefaßt werden. Für den Kronsbergbereich wurde dementsprechend eine hochauflösende Klimafunktionskarte im Maßstab 1:10 000 in einem 1992/1993 durchgeführten Projekt erarbeitet (Th. HERGERT, Th. MOSIMANN und P. TRUTE 1993). Für die Ebene der Bauleitplanung weist diese Karte vom Maßstab, aber vor allem von der räumlichen Auflösung der klima- und immissionsökologischen Zustände und Funktionen her die notwendige Aussagegenauigkeit auf.

Aus der Klimafunktionskarte lassen sich folgende Schlußfolgerungen in bezug auf die anstehenden Planungsmaßnahmen ableiten:

- Eine Bebauung der Hangbereiche des Kronsberges wird die Wirksamkeit seiner klimaökologischen Ausgleichsleistungen nachhaltig beeinflussen können. Inwiefern die Kaltluftabflüsse in ihrem Massenstrom reduziert oder nahezu unterbunden werden, hängt hierbei von



Abb. 11: Reichweite des Kaltluftabflusses bezogen auf das Lufttemperaturfeld am Nordwesthang des Kronsberges (03. 05. 1990, 22.20 Uhr MEZ)

der verbleibenden Größe und Struktur der Kaltlufteinzugsgebiete und vom Vorhandensein günstiger Abflußmöglichkeiten ab. Um die klimaökologischen Ausgleichseffekte zu gewährleisten, sollte ein Mindestmassenstrom von 2500 m^3/s je Kaltlufteinzugsgebiet erhalten bleiben.

- Die Luftqualität der verbleibenden abfließenden Kaltluft hängt vor allem von den bodennahen Emissionsverhältnissen (hauptsächlich Verkehrsemissionen) in den Einzugsgebieten ab. Neue Emissionen sollten deshalb so niedrig wie möglich gehalten werden, und vor allem sind neue, aber auch bestehende Emissionsquellen in den Abflußbahnen zu vermeiden.

Die Prognose der Auswirkungen der geplanten Bebauung (Grundlage: konkrete Bebauungs- und Verkehrserschließungskonzepte) auf den Kaltlufthaushalt am Nordwest- und Südwesthang des Kronsberges ergibt, daß in den betroffenen Einzugsgebieten keine klimaökologisch relevanten Kaltluftabflüsse mehr vorhanden sind und gleichzeitig die Emissionsbelastung in den verbleibenden Abflußbahnen z. T. deutlich zunimmt. Es zeigt sich, daß eine Bebauung von Hangbereichen des Kronsberges die klimaökologische Ausgleichsfunktion zum großen Teil unterbindet. Nur durch Freihalten von emissionsarmen, genügend breiten Grünschneisen zwischen den Bebauungen können klimaökologisch relevante Kaltluftabflüsse erhalten bleiben.

5 Monitoring der Luftqualität und des atmosphärischen Stoffinputs

5.1 Bereitstellung von Immissions- und Depositionsdaten im UIS

Die im UIS aufgebaute Immissions- und Depositionsdatenbank basiert auf den in Tab. 4 zusammengestellten Messungen. Die Immissions- und Depositionsmessungen wurden auf der Grundlage der TA-Luft mit dem Klima- und Luftmeßwagen des Amtes für Umweltschutz der Stadt Hannover und mit Bergerhoff-Sammlern durchgeführt. Die Immissions- und Depositionsmeßpunkte waren gitterförmig angeordnet, um die nach TA-Luft übliche Berechnung der Flächenmittel eines jeden Rasters aus den jeweils 4 Eckpunkten zu ermöglichen. In den Stadtrandbereichen beträgt die Maschenweite 2 km, im innerstädtischen Bereich sowie in den Industrie- und Gewerbegebieten 1 km (s. Karten 3 und 4).

Im UIS können mit Hilfe eines Bildschirmmenues folgende Informationen graphisch dargestellt werden:

- Lage der Immissions- und Depositionsmeßpunkte im Stadtgebiet,
- mittlere Immissionsbelastungen für die Luftschadstoffe NO, NO_2, SO_2 und den Schwebstaub im gesamten Stadtgebiet,
- mittlere Depositionsbelastungen für die Luftinhaltsstoffe Nitrat, Sulfat, Staub, Fluorid und Chlorid im gesamten Stadtgebiet,
- mittlere Belastungen durch Schwermetalldepositionen (6 Stoffe) innerhalb der Industrie- und Gewerbegebiete Brink-Hafen und Stöcken,
- Vergleiche mit früheren Messungen, Trendanalyse.

Die in der Immissions- und Depositionsdatenbank verfügbaren Informationen gestatten eine rasche Übersicht zur gesamtstädtischen Belastungssituation. Vor allem aber dienen sie der Ersteinschätzung folgender wichtiger Fragen einer umweltvorsorgenden Stadtplanung:

- Auf welchen innerstädtischen Flächen findet eine Überschreitung der zur Zeit gültigen lufthygienischen Grenzwerte oder des angestrebten Luftqualitätsstandards statt bzw. ist eine Überschreitung bei nur geringer Zunahme der Immissions- bzw. Depositionskonzentrationen zu erwarten?
- Für welche innerstädtischen Flächen sind Vorsorge- und Sanierungsmaßnahmen zu treffen, um diese Bereiche für immissionsempfindliche Nutzungen (z. B. Wohnen, Naherholung) zu erhalten oder vorzubereiten?

Tab. 4: Immissions- und Depositionsmessungen im Stadtgebiet von Hannover für den Aufbau des Umweltinformationssystems (Jahre 1991 und 1992)

Luftinhaltsstoffe	Untersuchungsgebiet (Anzahl der Meßpunkte)	Meßzeitraum	Anzahl der Kennwerte
Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Schwebstaub	Stadtgebiet (80)	04/91 – 03/92	13
Staub, Nitrat, Sulfat, Fluorid, Chlorid	Stadtgebiet (50)	07/91 – 06/92	12
Blei, Cadmium, Eisen, Nickel, Zink	Stöcken/ Brink-Hafen (20)	07/91 – 06/92	12

5.2 Immissionsstruktur: Beispiel Stickstoffoxide (NO_x) und Verkehr

Hauptverursacher der Luftbelastung durch Stickstoffoxide sind die Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs mit einem Anteil von über 56% (berechnet für das Jahr 1988; S. SCHMITZ 1991). Trotz Katalysatortechnik verursachen die weiterhin steigenden Zulassungszahlen für Kraftfahrzeuge (in Hannover von 1989–1992 durchschnittlich um ca. 2% pro Jahr; LANDESHAUPTSTADT HANNOVER 1993) einen kontinuierlichen Anstieg der Stickstoffoxidemissionen. Darüber hinaus tragen die Emissionen der Kraftwerke und der Fertigungsprozesse der chemischen und metallverarbeitenden Industrie in erheblichem Umfang zur Stickstoffoxidbelastung bei.

Das zunächst als Stickstoffmonoxid (NO) emittierte Gas oxidiert in der Atmosphäre zu Stichstoffdioxid (NO_2). Für die Gesundheit des Menschen von Bedeutung sind die Stickstoffdioxidkonzentrationen, da dieses starke Reizgas die Schleimhäute und Atemwege angreift und zu Beeinträchtigungen der Lungenfunktionen führen kann. Die Stickoxide gehören deshalb zu den wichtigsten Gasen im Rahmen der Luftüberwachung einer Stadt.

Karte 3 stellt die mittleren Immissionskonzentrationen der Stickstoffoxide flächendeckend für das Stadtgebiet dar. Zeitgleiche Messungen des Luftschadstoffes Schwefeldioxid ergaben eine im Vergleich zu anderen Ballungsräumen geringe Belastung, die zudem innerhalb des Stadtgebietes nur geringfügigen Schwankungen unterworfen ist.

Die Immissionen von NO und NO_2 im Stadtgebiet von Hannover zeigen ein nahezu vergleichbares Verteilungsmuster. Es besteht ein deutlicher Zusammenhang zum Verkehrsnetz. Das hohe Verkehrsaufkommen in der Innenstadt verursacht entsprechend erhöhte Belastungen: Gegenüber den Freiflächen im Stadtgebiet, die die großräumige Belastung repräsentieren, liegen die Werte in der Innenstadt für NO und NO_2 im Mittel um das 5,9- bzw. 2,4fache höher. Der gesetzlich vorgeschriebene Immissionsgrenzwert (nach TA-Luft) für Stickstoffdioxid wurde im gesamten Stadtgebiet jedoch nicht erreicht. Im Bereich des Raschplatzes wurden die höchsten durchschnittlichen Jahresimmissionen von 0,062 bis 0,068 mg/m³ für NO und 0,059 bis 0,063 mg/m³ für NO_2 gemessen. Diese Werte liegen im Mittel 19% unter dem Grenzwert, der für das Jahresmittel der Stickstoffdioxidkonzentration 0,08 mg/m³ beträgt.

Neben der City zeigt der Bereich Vahrenwalder Straße/Hamburger Allee (NO: 0,05–0,056 mg/m³; NO_2: 0,055–0,059 mg/m³) und Berliner Allee/Marienstraße (NO: 0,044–0,05 mg/m³; NO_2: 0,043–0,047 mg/m³) einen weiteren Immissionsschwerpunkt. Die relativ hohen Werte an der Göttinger Straße/Friedrich-Ebert-Straße sind ebenfalls auf den Verursacher Verkehr zurückzuführen.

Detaillierte, quasistationäre Sondermessungen an verschiedenen Tagen des Jahres 1992 an Verkehrsbelastungsschwerpunkten zeigten, daß neben dem Verkehrsaufkommen vor allem die reduzierte Durchlüftung für die Höhe der Immissionsbelastung verantwortlich ist (M. BARTSCH 1992). Überschreitungen des IW1-Wertes gemäß TA-Luft konnten im Kreuzungsbereich Vahrenwalder Straße/Hamburger Allee (+25%) festgestellt werden.

Im Vergleich zu anderen Städten in Deutschland ist die Belastung durch Stickstoffoxide im Innenstadtgebiet als hoch einzuschätzen. Für den Innenstadtbereich in Münster (Nordrhein-Westfalen) wurde z. B. im Meßzeitraum von April 1989 bis März 1990 eine mittlere Belastung für NO von 0,022 mg/m^3 und für NO_2 von 0,047 mg/m^3 gemessen (DER OBERSTADTDIREKTOR DER STADT MÜNSTER (Hrsg.) 1990). Vergleichende Messungen in 17 deutschen Großstädten im Jahre 1987 zeigen höhere Belastungen für NO nur in Berlin (+48%) und für NO_2 in Mainz (+15%), Ludwigshafen (+5%) und Gelsenkirchen (+15%) (E. LAHMANN 1990).

5.3 Stoffdeposition: Beispiel Staub

Sedimentstaub ist lufthygienisch relativ unbedeutend, so daß Bewertungsmaßstäbe zum Schutz vor Gesundheitsgefahren durch den Gesetzgeber bislang nicht definiert wurden. Von Bedeutung sind jedoch die umfangreichen Schädigungen von Bauwerken, Kraftfahrzeugen, Kunstobjekten und anderen Sachgütern, die durch Staubablagerungen verursacht werden.

Karte 4 zeigt die für die Raster gemittelten Staubdepositionsmengen pro m^2 und Tag. Die höchsten Belastungen weist der Innenstadtbereich mit 164 bis 175 mg/m^2 d auf, wobei die Staubkonzentrationen von der Innenstadt zu den Außenbereichen hin abnehmen. Hauptverursacher ist auch in diesem Fall das hohe Verkehrsaufkommen, insbesondere der mit Dieselkraftstoff betriebenen Fahrzeuge (Freisetzung von Rußpartikeln). Darüber hinaus fehlt die Vegetation, die ein Ausfiltern der Staubpartikel bewirken könnte.

Weitere Flächen erhöhter Staubdepositionen sind die Wohngebiete der Stadtteile Vahrenwald, Oststadt/Südstadt, Döhren/Wülfel, Sahlkamp/Bothfeld, Hainholz und Stöcken. Während für die erstgenannten Stadtteile zusätzlich zum Straßenverkehr die winterliche Heizperiode durch den Hausbrand für eine erhöhte Staubbelastung sorgt, kommen in den Stadtteilen Hainholz und Stöcken die Emissionen der ausgedehnten, gewerblichen Produktionsstätten hinzu. Grünflächen und wasserreiche Freiflächen zeigen die geringste Belastung (z. B. Ricklinger Teiche: 65 und 76 mg/m^2 d, Eilenriede: 98 und 109 mg/m^2 d).

5.4 Stoffdeposition: Schwermetalle

Industrie- und Gewerbegebiete mit metallverarbeitenden Betrieben waren in der Vergangenheit durch teilweise erhebliche Belastungen durch Schwermetalldeposition geprägt. Unter diesem Gesichtspunkt wurden die Untersuchungsgebiete in Stöcken und Brink-Hafen ausgewählt. Im Hinblick auf die drohenden Gesundheitsgefahren interessieren dabei die toxischen Schwermetalle Blei, Cadmium, Zink und Nickel.

Beispiel Blei

Blei wird vor allem über die Luft eingetragen und stammt zum größten Teil aus der Verwendung von bleihaltigem Benzin in Kraftfahrzeugen. Die Auswaschung des Bleis aus dem Boden ist sehr niedrig, so daß bei weiterer Bleizufuhr mit einer steten Erhöhung des Bleigehaltes im Boden zu rechnen ist.

Neben Schadwirkungen an Pflanzen, wie z. B. Hemmung des Wurzelwachstums und der Nährstoffaufnahme kann Blei beim Menschen Wirkungen auf Niere, Leber, Blut und Nervensystem ausüben. Der gesetzliche Grenzwert für Blei, der bei 250 µg/m^2 d liegt, wurde nicht erreicht.

Die höchsten Bleibelastungen mit Werten zwischen 29 und 41 µg/m² d wurden auf der Fläche nördlich und südlich der Wohlenbergstraße gemessen. Die erhöhten Werte sind vor allem dem KFZ-Verkehr und der dort ansässigen Industrie (Stahl- und Kabelwerk) zuzuschreiben. Das restliche Untersuchungsgebiet zeigt mit einer Bleideposition von durchschnittlich 17 bis 27 µg/m² d eine nur geringe Belastung.

Beispiel Zink

Zink ist ein Schwermetall, welches vor allem in der industriellen Produktion Verwendung findet. Daneben wird Zink aber auch durch Verfeuerung fossiler Brennstoffe, durch Müllverbrennungsanlagen sowie den KFZ-Verkehr (Motorenöl, Reifenabrieb) in die Umwelt emittiert.

Für Menschen, Tiere und Pflanzen stellt Zink ein essentielles Spurenelement dar, welches aber bei hohen Gehalten im Boden auch toxisch wirken kann. Im Gegensatz zu Cadmium schädigt Zink primär Pflanzen.

Im Bereich der Vahrenwalder Straße und Wohlenbergstraße traten die höchsten Belastungen mit durchschnittlich 134 bis 146 µg/m² d auf. Im Bereich des Hafens liegen die Werte zwischen 110 und 128 µg/m² d. Verantwortlich für diesen Belastungsschwerpunkt sind die metallverarbeitenden Betriebe. In den sich westlich anschließenden Flächen wurden die geringsten Belastungen registriert. Insgesamt muß die gemessene Belastung als relativ gering eingeschätzt werden.

5.5 Fazit: Die Luftbelastungssituation in Hannover

Die Messungen der Stickstoffimmissionen und Staubdepositionen in Hannover in den Jahren 1990 und 1991 ergaben deutliche Belastungsschwerpunkte innerhalb des Stadtgebietes. Als lufthygienische Problemzone erweist sich der innerstädtische Bereich. Die Belastungen sowohl durch Stickstoffoxide als auch durch Staubdepositionen erreichen hier mit Abstand die höchsten Werte innerhalb des Stadtgebietes. Als Hauptursache ist das hohe Verkehrsaufkommen zu nennen. Daneben wirkt sich aber auch das weitgehende Fehlen von bewachsenen Flächen, die eine lufthygienisch wichtige Filterfunktion aufweisen, negativ aus.

Weitere Belastungsschwerpunkte mit erhöhten Stickstoffoxidimmissionen bilden die Flächen entlang der Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen (Hauptausfallstraßen, Autobahnen, Schnellwege). Erhöhte Staubdepositionen wurden zudem innerhalb verschiedener Wohngebiete in den Stadtteilen Vahrenwald, Oststadt/Südstadt, Döhren/Wülfel und Sahlkamp/Bothfeld, Hainholz und Stöcken festgestellt. Hier treten neben den Verkehrsemissionen auch die Quellgruppen Hausbrand und/oder Industrie/Gewerbe negativ in Erscheinung.

Erhöhte Belastungen durch Schwermetalle innerhalb der Industrie- und Gewerbegebiete Brink-Hafen und Stöcken wurden nur für die Blei- und Zinkdepositionen festgestellt. Als Punktquellen für diese aus dem Nahbereich stammenden Depositionen können einzelne produzierende Betriebe in diesem Gewerbegebiet angesprochen werden. Die Schwermetalle Cadmium und Nickel weisen nur geringe, der allgemeinen Grundbelastung entsprechende Depositionsraten auf.

Das Kernproblem der Immissionen in Hannover sind folglich die hauptsächlich durch das hohe Verkehrsaufkommen verursachten Stickstoffoxide. Inwieweit eine stärkere Belastung durch organische Luftinhaltsstoffe oder das Ozon vorliegt, ist aufgrund der zum Jahre 1991 noch fehlenden Messungen nicht zu beurteilen.

6 Literaturverzeichnis

BARTSCH, M. (1992): Untersuchungen zur Luftbelastung durch den KFZ-Verkehr in der Innenstadt von Hannover – NO_x- und CO-Belastung im Straßenbereich unter dem Einfluß von Bebauungsstruktur, Wetterbedingungen und Verkehrsaufkommen. Unveröffentl. Diplomarbeit am Geogr. Inst. der Uni. Hannover, 128 S.

BRÜNDL, W., H. MAYER & A. BAUMGARTNER (1986): Stadtklima Bayern. Abschlußbericht zum Teilprogramm „Klimamessungen München". Materialien, Schriftenreihe des Bayerischen Staatsmin. f. Landesentw. u. Umweltfr., H. 41, München, 346 S.

BECKRÖGE, W. (1990): Dreidimensionaler Aufbau der städtischen Wärmeinsel – am Beispiel der Stadt Dortmund. Materialien zur Raumordnung, Schriftenreihe vom Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum, Bd. **16**, 243 S.

DER OBERSTADTDIREKTOR DER STADT MÜNSTER (Hrsg.) (1990): Luftqualität in Münster. April 1989–März 1990. Werkstattberichte zum Umweltschutz, H. 3, 96 S.

Eriksen, W. (1978): Klimatologisch-ökologische Aspekte der Umweltbelastung Hannovers – Stadtklima und Luftverunreinigung. In: Hannover und sein Umland (= Festschrift z. Feier d. 100-jähr. Best. d. Geogr. Ges. zu Hannover). S. 251–273.

EUROPÄISCHER WITTERUNGSBERICHT (1990): Amtsblatt des DWD. Tägliches Erscheinen, Offenbach.

FRANKE, J. & G. TETZLAFF (1987): Zum Auftreten interner Schwerewellen im Kaltluftabfluß. Meteorologische Rundschau **40**, H. 4, S. 118–126.

HERGERT, Th. (1991): Klimatische und lufthygienische Situation am Kronsberg und die Beeinträchtigung der klimaökologischen Ausgleichswirkungen durch Bebauung. Unveröff. Diplomarbeit der Abt. Physische Geographie und Landschaftsökologie am Geogr. Inst. der Uni. Hannover, 190 S.

HERGERT, Th., Th. MOSIMANN & P. TRUTE (1993): Großmaßstäbige klima- und immissionsökologische Analyse und Prognose für die Bauleitplanung – Begutachtung der Kronsbergbebauung im Rahmen der Planungen für die Weltausstellung EXPO 2000. Geosynthesis, Veröffentl. d. Abt. Physische Geographie u. Landschaftsökologie am Geogr. Inst. d. Univ. Hannover, H. 5, 52 S.

HESS, P. & H. BREZOWSKY (1969): Katalog der Großwetterlagen Europas. Berichte des DWD, Bd. 15, Nr. 113, Offenbach, 14 S. + Anh.

KING, E. (1973): Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltlufthaushaltes und der Frostgefährdung durch Straßenverkehr. Berichte des DWD, Nr. 130, Bd. **17**, Offenbach, 24 S.

KÜHLING, W. (1986): Planungsrichtwerte für die Luftqualität. Materialien, Schriftenreihe des Institutes für Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen (ILS) (Hrsg.), Bd. 4.045, Dortmund, 227 S.

LAHMANN, E. (1990): Luftverunreinigung – Luftreinhaltung. Berlin und Hamburg. 201 S.

LANDESHAUPTSTADT HANNOVER (1985): Stadtbiotopkartierung Hannover. Auswertung der Strukturtypenkartierung Hannover für den Arten- und Biotopschutz und das Naturerleben in der Stadt. 272 S.

LANDESHAUPTSTADT HANNOVER – DER OBERSTADTDIREKTOR – UMWELTDEZERNAT (Hrsg.) (1993): Umweltbericht. Daten und Fakten 1992. Schriftenreihe kommunaler Umweltschutz, H. 4, 81 S.

OKE, T. R. (1987): Boundary Layer Climates. 2nd ed., 435 S.

SCHMITZ, S. (1991): Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs als Gegenstand räumlicher Umweltforschung. Geographische Rundschau **43**, H. 2, S. 90–96.

STÜLPNAGEL, A. v. (1987): Klimatische Veränderungen in Ballungsgebieten unter besonderer Berücksichtigung der Ausgleichswirkung von Grünflächen, dargestellt am Beispiel von Berlin. Diss. am Fachber. 14 Landschaftsentwicklung d. Techn. Univ. Berlin, 173 S. + Anh.

TA-LUFT (TECHNISCHE ANLEITUNG ZUR REINHALTUNG DER LUFT) (1986): 1. BImSchVwV vom 27. 02. 1986, GMBL, 37. Jahrgang, Nr. 7, S. 95–143.

VORMANN, J. (1992): Untersuchungen zu thermisch induzierten Zirkulationssystemen im Stadtgebiet von Hannover. Unveröff. Diplomarbeit der Abt. Physische Geographie und Landschaftsökologie am Geogr. Inst. der Univ. Hannover, 97 S. + Anh.

UVF – Umlandverband Frankfurt (Hrsg.) (1994): Die Klimafunktionskarte des UVF. Umweltschutzbericht VI: Klimaschutz, Bd. **3**, Frankfurt, 19 S.

WEBER, E. (1980): Grundriß der biologischen Statistik. Stuttgart/New York.

Manuskript eingegangen am: 5. Mai 1995

Anschrift der Autoren: Prof. Dr. Th. Mosimann, P. Trute und Th. Frey
Geographisches Institut der Universität Hannover
Schneiderberg 50
30167 Hannover

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: 137

Autor(en)/Author(s): Mosimann Thomas, Trute Peter, Frey Thorsten

Artikel/Article: Die Bereiche Klima und Luft im Umweltinformationssystem der Stadt Hannover 15-43