



Klimagutachten für die Stadt Magdeburg ein Beitrag zur Flächennutzungsplanung



Stadtplanungsamt Magdeburg

Mitarbeiter:

Hans-Reinhard Adler
Christa Anger
Peter Anger
Birgit Arend
Amir Badnjevic
Heidrun Bartel
Roswitha Baumgart
Sylvia Böttger
Monika Bohnert
Wolfgang Buchholz
Klaus Danneberg
Renate Dilz
Sybille Dirschka
Wilma Ebeling
Gabriele Eschholz
Klaus Eschke
Jutta Fittkau
Hannelore Friedrich
Jürgen Gippert
Hans Gottschalk
Margot Gottschalk
Gabriele Grickscheit
Marlies Grunert
Andrea Hartkopf
Hans-Georg Heinecke
Anette Heinicke
Ingrid Heptner
Sabine Hlous
Heinrich Höltje
Wilfried Hoffmann
Wolfgang Jäger
Heinz Jasniak
Heinz Karl
Krista Kinkeldey
Hannelore Kirstein
Jutta Klose
Brigitte Koch
Helga Körner
Dr. Günther Korbelt
Peter Krämer
Christa Kummer
Thomas Lemm
Gisela Lenze
Marlies Lochau
Bernd Martin
Konrad Meng
Helmut Menzel
Angelika Meyer
Heike Moreth
Bernd Niebur
Doris Nikoll
Corina Nürnberg
Heinz-Joachim Olbricht
Dr. Carola Perlich
Dr. Eckhart W. Peters
Dirk Polzin
Liane Radike
Jörg Rehbaum
Karin Richter
Dirk Rock
Burkhard Rönick
Jens Rückriem
Karin Schadenberg
Hannelore Schettler
Katharina Schmidt
Günter Schöne
Helga Schröter
Monika Schubert
Klaus Schulz
Joachim Schulze
Hannelore Seeger
Britta Sell
Rudi Sendt
Siegfried Szabo
Heike Thomale
Judith Ulbricht
Wolfgang Warnke
Rolf Weinreich
Astrid Wende
Hubert Wiesmann
Burkhard Wrede-Pummerer
Marietta Zimmermann

Bisher erschienene Dokumentationen der Gutachten des Stadtplanungsamtes

- 1990 Workshop •
Die Zukunft des Magdeburger Stadtzentrums •
- 1/93 Strukturplan
- 2/93 Verkehrliches Leitbild
- 3/93 Das Landschaftsbild im Stadtgebiet Magdeburgs -
ein Beitrag zum Flächennutzungsplan
- 4/95 Teilflächennutzungsplan Rothensee
- 5/93 Sanierungsgebiet Buckau - Städtebaulicher
Rahmenplan
- 5/93 Kurzfassung Stadtsanierung Magdeburg-Buckau
- 6/93 Städtebaulicher Ideenwettbewerb • Domplatz
Magdeburg •
- 7/93 Workshop • Nördlicher Städteingang •
- 8/93 Städtebaulicher Denkmalschutz
- 9/93 Radverkehrskonzeption
- 10/93 Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV-Konzept)
- 11/93 Workshop • Kaiserpfalz •
- 12/94 Kleingartenwesen der Stadt Magdeburg
- 13/94 Hermann-Beims-Siedlung
- 14/94 Siedlung Cracau I
- 15/94 Städtebauliche Entwicklung 1990-1994
- 16/95 Gartenstadtkolonie Reform
- 17/94 Schlachthofquartier
- 18/I/94 Die Napoleonischen Gründungen Magdeburgs -
Sozio-urbane Untersuchungen
- 18/II/94 Die Napoleonischen Gründungen Magdeburgs -
Zur Baugeschichte in der Neuen Neustadt
- 18/III/94 Die Napoleonischen Gründungen Magdeburgs -
Zur Baugeschichte in der Sudenburg
- 19/94 Die Anger-Siedlung
- 20/94 Bruno Taut - eine Dokumentation
- 21/95 Stadtteilentwicklung Ottersleben
- 22/94 Die Curie-Siedlung in Neustadt
- 23/94 Gartenstadtsiedlung Westernplan
- 24/95 Fachwerkhäuser in Magdeburg
- 25/95 Stadtteilentwicklungskonzept Rothensee
- 26/95 Gartenstadt Hopfengarten
- 28/94 Magdeburg Bundesgartenschau 1998 - Rahmenplan
- 29/94 Workshop • Siedlungen der 20er Jahre der Stadt
Magdeburg •
- 30/95 Südwestliche Stadterweiterung
- 31/I/95 Parkanlagen der Stadt Magdeburg
- 32/I/95 Wilhelmstadt Nord
- 32/II/95 Wilhelmstadt Süd
- 33/95 Magdeburger Märktekonzept
- 34/95 Sozialistischer Städtebau
- 35/95 Siedlungsentwicklung Westerhüsen
- 36/95 Tempo 30 - Verkehrsberuhigung in Magdeburg
- 37/95 Siedlung Farmerleben
- 38/95 Gartenstadt- und Erwerbslosensiedlungen
Lindenweiler, Kreuzbreite, Eulegraben
- 39/I/95 Kommunalgeschichte Magdeburgs -
Weimarer Republik
- 39/II/95 Magdeburgs Aufbruch in die Moderne
- 41/95 Stadtteilentwicklung Olvenstedt
- 42/95 Stadtsanierung Magdeburg-Buckau
- 43/I/95 Nationalsozialistischer Wohn- und Siedlungsbau
- 44/95 Klimagutachten für das Stadtgebiet Magdeburgs -
ein Beitrag zur Flächennutzungsplanung
- 45/95 Genossenschaftswesen Magdeburgs
- 46/95 Industriegeschichte Magdeburgs
- 47/95 Workshop • Universitätsplatz •
- 48/I/95 Bruno-Taut-Symposium
- 48/II/95 Bruno-Taut-Symposium
- 49/95 Gutachterverfahren Elbe-Bahnhof
- 50/95 Stadtteilentwicklung Cracau-Prester
- 51/95 Gründerzeitliche Villen Magdeburgs

Landeshauptstadt Magdeburg

Stadtplanungsamt Magdeburg

Klimagutachten für die Stadt Magdeburg - ein Beitrag zur Flächennutzungsplanung

Steinicke & Streifeneder
Umweltuntersuchungen



Inhaltsverzeichnis	Seite
Grußwort des Oberbürgermeisters	3
Vorwort Peter Krämer	4
1 Allgemeine Einführung	10
Das Stadtklima - Was ist das eigentlich?	10
Wozu braucht man Kenntnisse über das Klima in der Stadt?	10
2 Aufgabenstellung und Methodik bei der Klimauntersuchung für die Stadt Magdeburg	18
2.1 Aufgabenstellung	18
2.2 Thermalscannerbefliegung und Klimatopkarte	18
2.3 Meteorologische Intensivmeßkampagne und Regionalklima	29
2.4 Klimafunktionskarte	36
3 Grundzüge des Stadtklimas in Magdeburg	37
3.1 Einordnung ins regionale Klimageschehen	37
3.2 Beschreibung der lokalen Klimaverhältnisse anhand der Klimafunktionskarte	46
4 Stadtklima und Bauleitplanung - Beispiele einer umweltverträglichen Stadtentwicklung	59
4.1 Maßnahmen auf der Ebene der Flächennutzungsplanung	60
4.2 Maßnahmen auf der Ebene der Bebauungsplanung	67
Literaturverzeichnis	74
Anhang A: Abbildungsnachweis	75
Anhang B: Auszug aus dem Baugesetzbuch	77
Anhang C: Auszug aus der Baunutzungs- verordnung	78
Anhang D: Auszug aus der Planzeichen- verordnung	78



Liebe Leserinnen und Leser,

wenn wir vom Klima in unserer Stadt sprechen, dann meinen wir damit nicht nur die Witterung, sondern auch die Atmosphäre des Zusammenlebens, die unsere ganz persönliche Stimmung beeinflusst.

Das eine hat durchaus mit dem anderen zu tun, denn eigentlich trachten wir immer nach einem Klima, das Extreme vermeidet und unser Wohlbefinden möglichst wenig beeinträchtigt. Das sollte auch beim Stadtklima so sein.

Eine Großstadt mit dichtbebauten Siedlungen, Verkehrsströmen und großflächigen Industrieanlagen stellt einen massiven Eingriff in die natürlichen Ökosysteme dar. Sie beeinflusst nicht nur Flora und Temperaturverlauf. Das von Stadtplanungsamt und Umweltamt in Auftrag gegebene Klimagutachten untersucht diese Zusammenhänge für die Stadt Magdeburg.

Sie zu kennen ist das eine, sie bei der Planung und baulichen Gestaltung einer Stadt anzuwenden das andere. Denn es gibt Möglichkeiten, das Stadtklima günstig zu beeinflussen, beispielsweise Grünzüge, die bis ins Stadtzentrum reichen, Schneisen, die den Luftaustausch mit dem Umland ermöglichen, ökologisches Bauen und umweltverträgliche Verkehrslösungen. Eine umwelt- und energiebewußte Bauleitplanung ist ein erster Schritt dazu.

Für den Architekten und Stadtplaner ist das Klimagutachten ein Instrumentarium, Chancen für ein besseres Stadtklima gezielt zu nutzen. Eine Großstadt wie Magdeburg wird auch in Zukunft keine Landluft bieten. Aber die Möglichkeiten, die wir haben, in dieser Stadt ein Klima zu schaffen, in dem sich die Menschen wohlfühlen, sollten wir ausschöpfen. Ein Klimagutachten ist dafür ein gewichtiger Wissensfundus, von dem ich hoffe, daß Planer und Umweltschützer ihn ausgiebig verwenden.

Willi Polte
Oberbürgermeister

VORWORT

„Wir haben bisher unser Raumschiff Erde nie als integral konstruierte Maschine angesehen, die zum Zweck dauerhafter Leistungsfähigkeit als Ganzes begriffen und bedient werden muß ... und unser Raumschiff ist so phantastisch konstruiert, daß das Leben an Bord durch Regeneration erhalten bleibt

Richard Buckminster Fuller verschaffte sich als Konstrukteur geodätischer Kuppeln einen Ruf als Architekt - aber auch als Erfinder, Poet, technologischer Visionär und Umweltphilosoph. Als Fuller seine Visionen 1969 in Amerika veröffentlichte, war die Technikgläubigkeit der modernen Architektur und Stadtplanung noch ungebrochen. Unter dem Eindruck immer offensichtlicherer ökologischer Probleme als Folge des Verbrauchs an Umweltressourcen, der sich um Nachhaltigkeit nicht kümmerte, begann sich ein Bewußtsein für die ökologische Vernetzung zu entwickeln (Abb. 1). Die Bedienungsanleitung für das Raumschiff Erde enthält zugleich die Einsicht in die Begrenztheit der Ressourcen wie die optimistische Annahme, die Steuerungsprobleme des störanfälligen Flugkörpers könnten durch High-Tech bewältigt werden. 1961 hatte Ful-

ler schon ein visionäres Projekt für Manhattan entworfen: Eine Kuppel mit einem Durchmesser von etwa drei Kilometern sollte einen großen Teil von Manhattan überdecken. Damit hätte sich der Menschheitstraum von einem autarken und regelbaren Klima, einem ewigen Sommer erfüllt. Gleichzeitig wäre die Stadt in der Lage gewesen, die Sonnenergie wie in einem riesigen Treibhaus nutzbar zu machen.² Tatsächlich verwirklicht wurde von Fuller allerdings nur eine demgegenüber bescheidene Kuppel von 76 Metern Durchmesser auf der Weltausstellung in Montreal 1967. Dreißig Jahre später scheinen sich Fullers Visionen jedoch auf andere Weise und in kleinerem Maßstab bestätigt zu haben. Die voll klimatisierten Shopping Center der neuen Generation bedecken in den Vereinigten Staaten und in Kanada bereits riesige Flächen, ganze Stadtviertel in Osaka und Tokio verfügen über gedeckte und klimatisierte Straßen. Der Trend läßt sich auch in Deutschland an überdachten Einkaufspassagen und Einkaufsparks ablesen: Der Freiraum wird gleichsam nach innen in die Gebäude geholt, während die Symbolik des Freiraums in Form von Cafeterrassen, Kübelpflanzen und Markisen beibehalten wird (Abb. 2 und 3). Die natürlichen Ereignisse, Wind, Temperatur und Regen bleiben ausgeblendet. So nimmt es nicht

¹ Fuller, B., 1973, S. 32

² Vercelloni, V., 1994, Tafel 181

Abb. 1: Klimakreisläufe

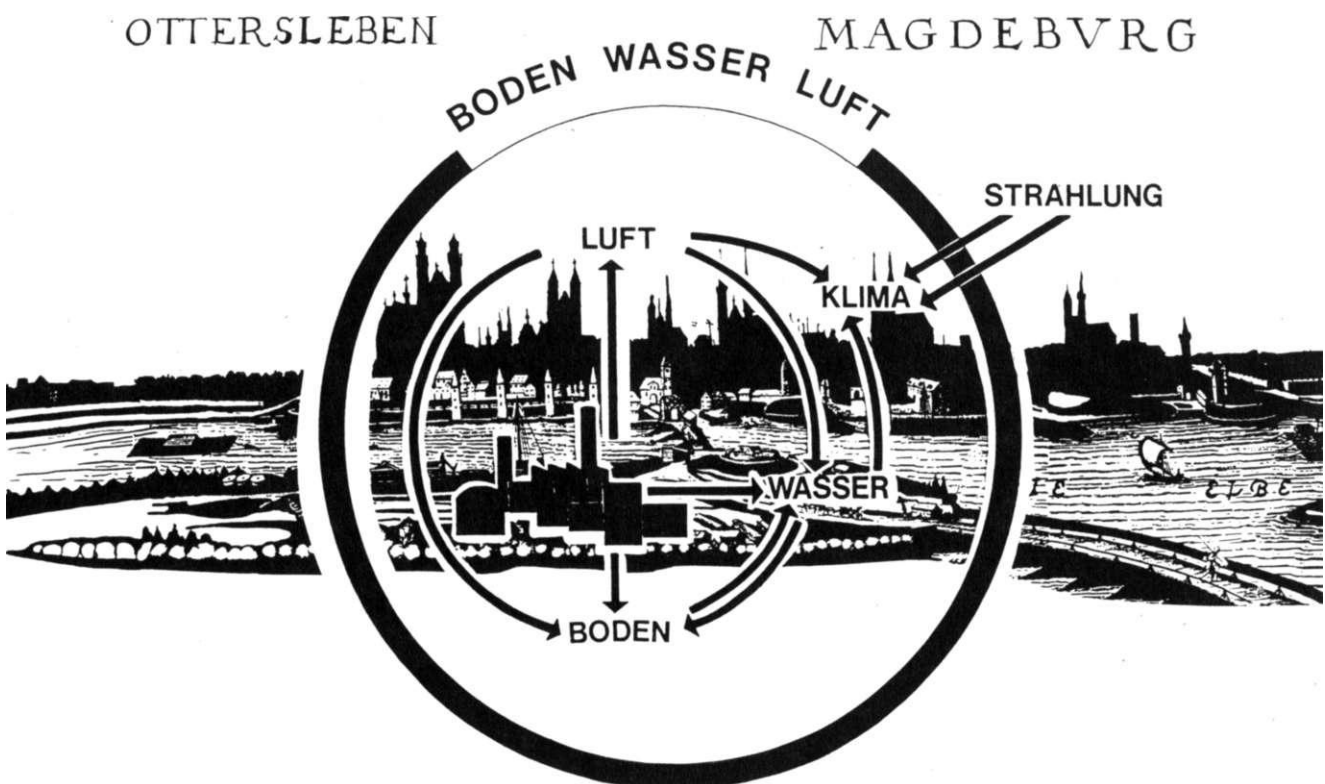




Abb. 2: „Einkaufslandschaft“ im Florapark/Magdeburg

Abb. 3: „Straßencafé“ im Florapark/Magdeburg

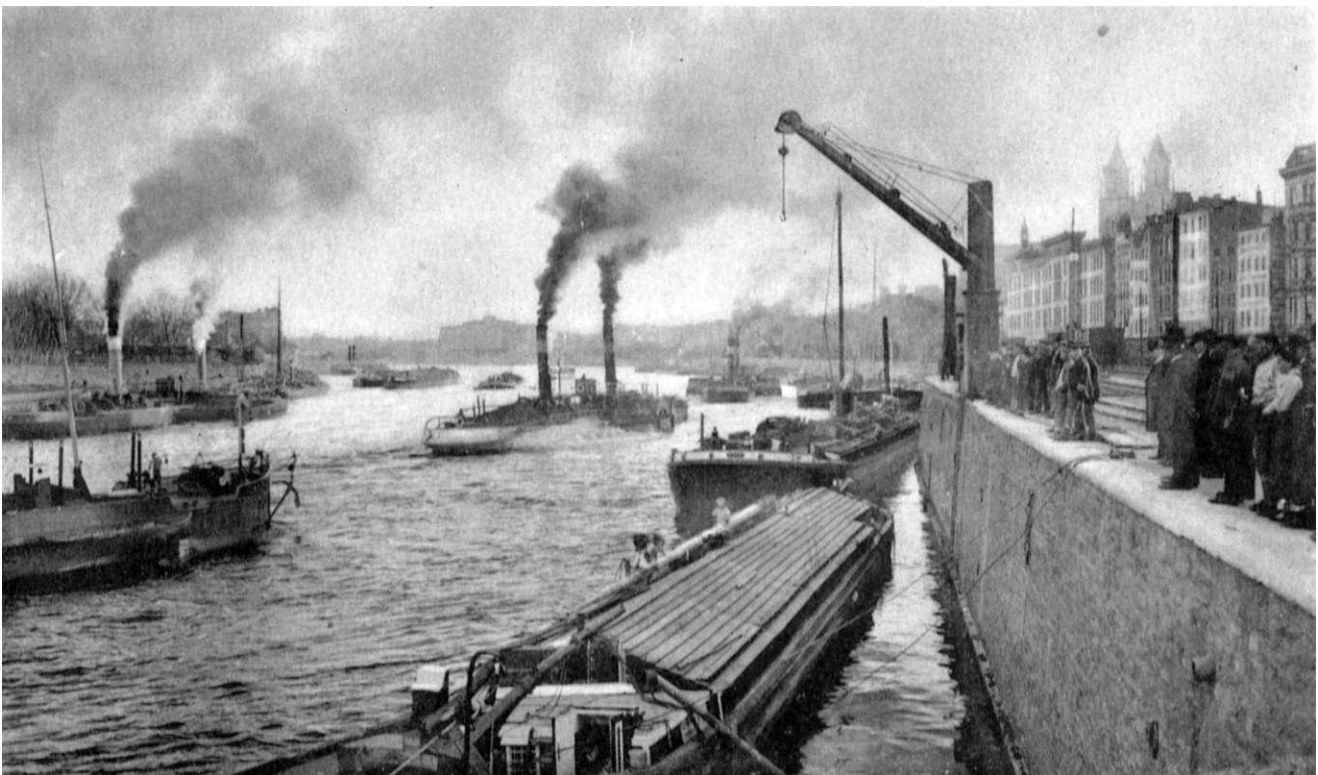


Wunder, daß das Wissen über die natürlichen Zusammenhänge des Klimas und des Wetters zunehmend verloren geht. Klima und Wetter werden nur noch über subjektive Befindlichkeiten definiert. Das Wetter ist meist „schlecht“, zu heiß, zu kalt, zu regnerisch.

Die klimatischen und meteorologischen Phänomene wären dennoch auch in den Städten wahrnehmbar. Im Gegenteil. Gerade in der Stadt mit ihrer Vielzahl an Räumen und Topographien bilden sich auf kleinstem Raum mikroklimatische Verhältnisse aus, die erheblich von denen der freien Landschaft abweichen. Die zahlreichen, jedem bekannten Einzelphänomene stehen über Kreisläufe miteinander in Verbindung. Auch der Mensch ist Teil dieser Kreisläufe, verändert sie einerseits besonders in den dicht besiedelten Urbanen Räumen, wird andererseits aber auch selbst von klimatischen Erscheinungen beeinflusst, ohne sich dessen bewußt zu werden. Insbesondere thermische Bedingungen wirken entscheidend auf das Wohlbefinden. Grundsätzlich wird der menschliche Organismus bei extremen Temperaturen durch Kälte- oder Hitzestress bela-

stet. Zwar sind natürlicherweise in den Zonen des gemäßigten Klimas Temperaturextreme selten, in den Städten dagegen wirkt sich der menschliche Einfluß als Überwärmungsinsel im Vergleich zum Umland aus. Weil gleichzeitig eine geringere Verdunstung vorliegt, ist die Luft trocken und belastet die Atemwege und den Kreislauf. Ein weiteres Charakteristikum des Stadtklimas ist die „Dunstglocke“ aus Stäuben und Abgasen, die dafür verantwortlich ist, daß die Sonnenscheindauer durchschnittlich kürzer ist, als im Umland. Weil sie die Ausstrahlung der Wärme verhindert, ist sie eine der Ursachen für die Überwärmung. Die genannten Phänomene werden noch dadurch verstärkt, daß aufgrund der Bebauung die Windgeschwindigkeit im Vergleich zur Region um etwa die Hälfte reduziert ist. Dies hat zur Folge, daß überwärmte und schadstoffbelastete Luftmassen nicht aus der Stadt geblasen werden können. Daran ändern auch punktuell verstärkt auftretende Winde nichts, die durch Wirbelbildung und Düseneffekte an der Bebauung entstehen. Die Windwirbel an Hochhäusern sind sicher hinreichend bekannt.

Abb. 4: Luftverschmutzung am Elbebahnhof, zwanziger Jahre



Für den Menschen und andere Lebewesen weitaus gravierender in dem Faktorenkomplex wirkt sich die Konzentration von Luftschadstoffen aus. Aufgrund der geringen Durchlüftung können Luftschadstoffe nicht abtransportiert werden. Während durch den Aufstieg warmer Luft noch ein Ausgleich geschaffen wird, können sich bei Inversionswetterlagen unter einer stabilen „Luftsperrschicht“ Schadstoffe oft tagelang ansammeln (Abb. 4).

Berühmt und berüchtigt war dabei der buchstäblich gelbe Londoner Smog. Während der Smog - Katastrophe in London 1952 wurden schätzungsweise 4000 Todesfälle, vorwiegend aufgrund von Kreislauf- und Atemwegserkrankungen auf die Luftverschmutzung zurückgeführt. Der genaue wissenschaftliche Nachweis von Ursache-Wirkungskomplexen stellt dabei ein kaum lösbares Problem dar. Allerdings kann durch Langzeitbeobachtungen an Bioindikatoren ein ziemlich sicherer Zusammenhang hergestellt werden: Beispielsweise reagieren Flechten empfindlich auf Schwefeldioxidanreicherungen; in flächendeckenden Kartierungen mußte festgestellt werden, daß die Innenstädte, die stark

mit Schwefeldioxid belastet sind, zu „Flechtenwüsten“ geworden sind.

Die Luftverschmutzung in den Ballungszentren der Industrieregionen hat mittlerweile globale Folgen gezeitigt. Ozonloch, Treibhauseffekt und Klimaveränderung, um nur einige Schlagworte zu nennen, rücken zunehmend in den Blick der internationalen Politik. Bereits bei der Umweltkonferenz in Rio de Janeiro 1992 hat sich die Bundesrepublik verpflichtet, bis zum Jahr 2005 den Kohlendioxid-Ausstoß um ein Viertel zu verringern. Die Stadt Magdeburg ist 1993 mit ähnlicher Zielstellung dem Klimabündnis der europäischen Städte beigetreten: Bis zum Jahr 2010 soll in Magdeburg der Kohlendioxid-Ausstoß sogar halbiert werden.

Kohlendioxid, aber auch andere Gase stammen vor allem aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe. Sie werden als „Treibhausgase“ bezeichnet und für den weltweiten Temperaturanstieg mitverantwortlich gemacht. Wie die Dunstglocke über der Stadt wirken sie global als Sperrschicht in der Atmosphäre, die zwar die Sonneneinstrahlung passieren läßt, aber die Ausstrahlung der auf der Erde produzierten Wärme ver-

Abb. 5: Gesamtwert eines Baumes



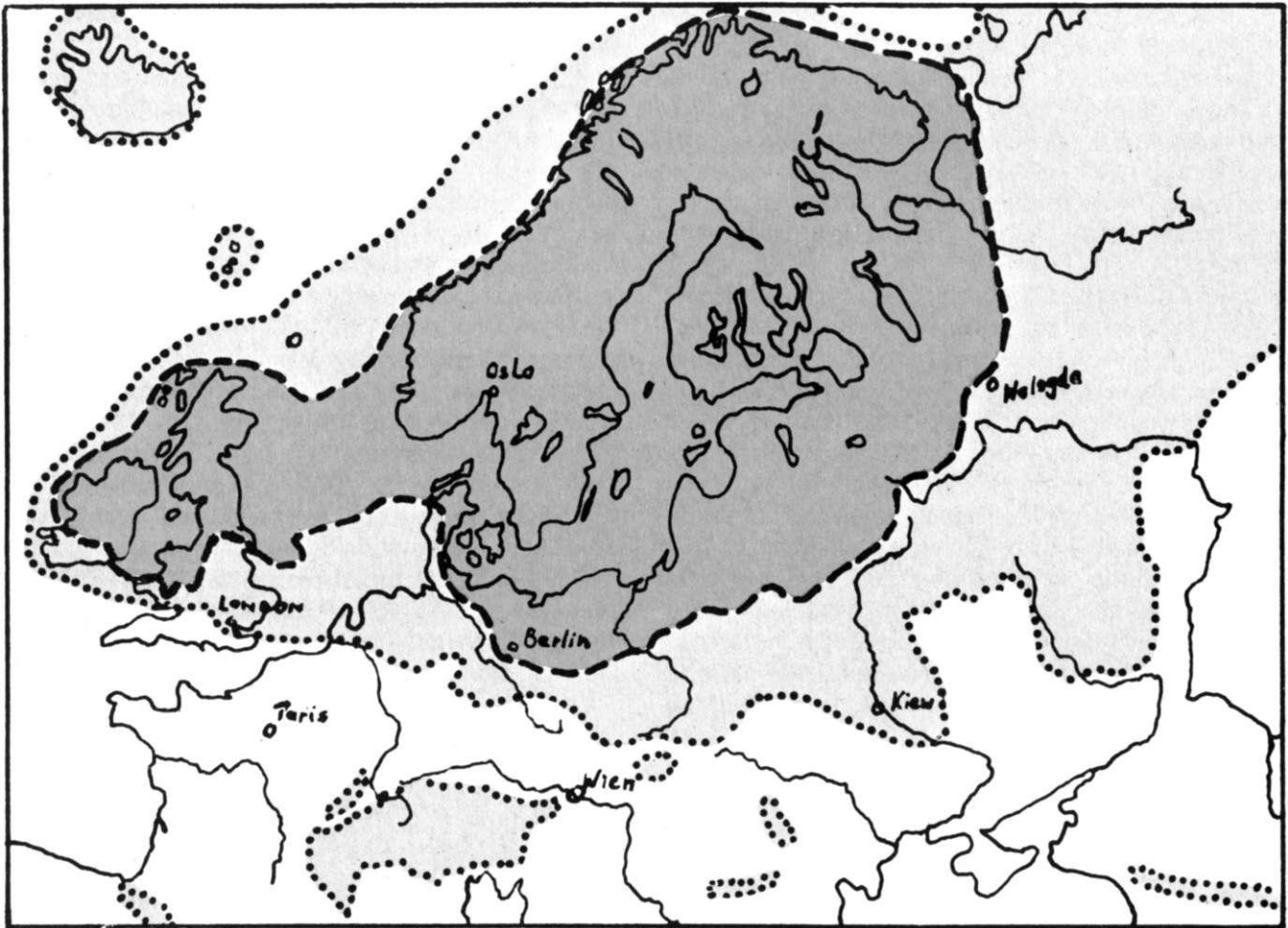


Abb. 6: Ausdehnung des Eises während der Eiszeit
(punktierte Linie = Maximaiausdehnung, gestrichelte Linie
= letzte Eiszeit).

hindert. Sollten sich die Prognosen der Experten bewahrheiten, stehen dem Raumschiff Erde tiefgreifende Klimaveränderungen bevor. Vom Abschmelzen der Polkappen, dem Anstieg der Weltmeere, aber auch von der Ausbreitung der Wüsten ist die Rede. Tatsächlich ergeben sich derartige Veränderungen aus so komplexen Zusammenhängen, daß sie kaum simulierbar sind. Welche Auswirkungen Klimaveränderungen für das Leben auf der Erde haben können, läßt sich anhand der Erdgeschichte in Mitteleuropa studieren. Heute bestimmt das Klima der gemäßigten Breiten die Lebensbedingungen in Mitteleuropa. Das war nicht immer so. Im Zeitalter des Tertiär, das vor etwa 2 Millionen Jahren zu Ende ging, herrschte in Mitteleuropa ein wärmeres und feuchteres Klima als heute. Üppige

grüne Wälder bedeckten die Landschaften, in denen Gewächse gediehen, die in Mitteleuropa heute natürlicherweise nicht mehr vorkommen. Dazu gehören etwa Magnolie, Mammutbaum, Flügelnuß, Ölweide, Hemlockstanne und Amberbaum.³ Das Wissen darüber vermitteln uns geologische Funde aus dem Kohleabbau. Eine ungeheure ökologische Katastrophe beendete diese Verhältnisse. Das Klima wurde kälter, das Zeitalter der Eiszeit begann, das fast zwei Millionen Jahre andauerte und bis an den Beginn der menschlichen Vorgeschichte reicht. Die eiszeitlichen Gletscher, die aus den Alpen und aus Skandinavien nach Mitteleuropa vordrangen, veränderten nicht nur die biotischen Lebensbedingungen, sondern schufen in weiten Bereichen auch erst die uns in Mitteleuropa bekannten Land-

schaften (Abb. 6). Ein kleines Zahlenspiel kann die Komplexität und die Dimensionen dieser Veränderungen demonstrieren. Die ungeheure Akkumulation von Eismassen mit einer Mächtigkeit von mehreren tausend Metern band das Wasser der Weltmeere und der Atmosphäre. So lag der Wasserspiegel der Weltmeere bis zu 130 Meter tiefer als heute. Die Bereiche Mitteleuropas, die nicht unter dem Eis lagen, degradierten zu Tundren- und Steppenlandschaften oder wurden von meterhohen Lößschichten überdeckt. Bei all dem ist beachtlich, daß die durchschnittliche Sommertemperatur während der letzten Phase der Eiszeit vor ca. 16.000 Jahren wohl nur um 10 K⁴ unter der heutigen lag. Ähnlich einschneidende Konsequenzen werden nun von Fachleuten aufgrund des Treibhauseffekts prophezeit. Daher ist es höchste Zeit für die Umsetzung umweltpolitischer Konzepte.

So liefert das vorliegende Gutachten der Stadt Magdeburg eine Entscheidungsgrundlage für eine umweltverträgliche und integrale Stadtentwicklung. Ziel muß es sein, den Bürgerinnen und Bürgern Magdeburgs gesunde und angenehme Lebensbedingungen zu schaffen. Nicht nur in Naherholungslandschaften des Umlandes, sondern mitten in der Stadt; aber auch langfristig gesehen muß die Stadt einen Beitrag leisten, daß das Raumschiff Erde auch für künftige Generationen noch bewohnbar bleibt.

Peter Krämer
Eckhart W. Peters
Rolf Warschun

Abbildungsnachweis:

- Abb. 1 Graphik Stadtplanungsamt Magdeburg 1993
Abb. 2 u. 3 Photos Stadtplanungsamt Magdeburg 1996
Abb. 4 Postkarte, zwanziger Jahre
Abb. 5 Graphik aus Landschaftsrahmenplan des Landkreises Hannover, 1990, S. 66
Abb. 6 verändert nach Woldstedt, R, Das Eiszeitalter, Stuttgart 1958

Literatur:

- Fuller, Buckminster, Bedienungsanleitung für das Raumschiff Erde, dt. Ausgabe Hamburg, 1973
Küster, Hansjörg, Geschichte der Landschaft Mitteleuropas, München, 1995
Vercelloni, Virgilio, Europäische Stadtutopien, dt. Ausgabe München, 1994

³ nach Küster, H., 1995

⁴ Temperaturen werden wissenschaftlich in Kelvin angegeben, dabei entspricht 1 K = 1 °C

1 DAS STADTKLIMA - EINE KURZE EINFÜHRUNG

Das Stadtklima

Beim Wort Klima oder Klimazonen denkt man in der Regel an ganze Kontinente oder Großregionen, wie die Tropen, Subtropen, gemäßigten Breiten oder Polargebiete. Doch nicht nur diese großen Gebiete weisen ein für sie typisches Klima auf, sondern auch kleinteilige Strukturen wie Moore, Wiesen, Flußtäler, aber auch die Städte. Da sich das Phänomen Stadtklima aus den Erscheinungen des täglichen Wetters oder der Witterungsperioden zusammensetzt, müssen zunächst diese allgemeinen Begriffe erklärt werden.

Unter dem **Wetter** versteht man den *augenblicklichen Zustand* der Atmosphäre, gekennzeichnet durch die meteorologischen Elemente Luftdruck, Lufttemperatur, Wind, Bewölkung, Niederschlag und Strahlung.

Die **Witterung** kennzeichnet den mittleren oder vorherrschenden Charakter des Wetterablaufs eines *bestimmten Zeitraumes* (wenige Tage bis zu Jahreszeiten).

Das **Klima** schließlich ist der langfristige Aspekt des Wetters. Die Elemente, die beim Klima betrachtet werden, sind die gleichen wie beim Wetter. Die Periode, die zur Charakterisierung des meteorologischen Regimes verwendet wird, sollte ausreichend lang sein, um statistisch abgesicherte Angaben der verschiedenen Parameter (Mittelwert, Häufigkeiten, Extreme usw.) zu geben.

Das durch den geographischen Breitengrad, sowie durch die regionale Lage bestimmte Großklima wird in verstäderten Bereichen durch den Einfluß des Menschen stark abgewandelt.

Für das Stadtklima legte die World Meteorological Organization (WMO) 1981 folgende Definition fest:

"Das Stadtklima ist das durch die Wechselwirkung mit der Bebauung und deren Auswirkungen (einschließlich Abwärme und Emission von luftverunreinigenden Stoffen) modifizierte Klima." [alle Definitionen aus KRdL 1988]

Abweichend von den übrigen Definitionen werden beim Stadtklima also nicht nur die meteorologischen Elemente berücksichtigt, sondern auch der lufthygienische Aspekt. Wie sich das typische Stadtklima entwickelt, hängt zum einen von den natürlichen Gegebenheiten eines Raumes (geographische Lage, Geländeverhältnisse, Regionalklima) und zum anderen von den vom Menschen geschaffenen Verhältnissen (Art und Umfang der verschiedenen Nutzungen) ab. Von besonderer Bedeutung sind dabei:

- Versiegelungsgrad und Vegetationsanteil,
- Bauungsstruktur (Höhe, Dichte, Form und Anordnung der Bauten),
- Wärmespeicherkapazität und Wärmeleitfähigkeit der künstlichen Oberflächen und
- Luftschadstoffe und Abwärme.

Wichtig ist außerdem, daß sich das Stadtklima wie überhaupt kleinräumige Klimaeigenheiten am stärksten bei den sog. autochthonen Wetterlagen ausprägen. Das sind windschwache Hochdruckwetterlagen mit Dominanz der lokalen Einflüsse, also quasi hausgemachte Wetterlagen. Das Gegenteil dazu sind die zyklonalen Wetterlagen, meist mit Tiefdruckgebieten und kräftigem Wind verbunden (allochthone Wetterlagen).

Wie sieht nun das typische Stadtklima aus? Ein sehr anschauliches Bild der wichtigsten Eigenschaften vermittelt ein Zitat des Dichters Adalbert Stifter von vor über 150 Jahren:

"Ehe man sich versieht, ist die Stadthitze da und der Sommer, die unerträglichste Jahreszeit, die Gassen füllen sich mit Hitze und Staub. Wenn du dich abends auf dein Bett hinlegst, so denke ja an kein Ausruhen, sondern an ein lindes Schmoren. Die glatten Mauern werfen überall die Hitze herum ...

Der Herbst beginnt unheimlich spät und wetteifert mit dem Sommer.

Wir haben Unterabteilungen und eigene Platz- und Straßenklimate ... Die Südfront des Erzherzog Karl'schen Palais hat ein mildes Italienklima, die nördliche ist feucht und kühl ... Welch wohltuendes Lüftchen umweht uns, wenn wir die Barrieren verlassen und grüne Felder um uns haben ... Dort fällt nachts Tau.

Wie sehr zwei Ecken des Stephansdoms, die des großen Turms und die diagonal entgegengesetzte, windig sind, davon zeugt manch hinabgewehter Hut ... In einem Winkel hockt, wenn's Frühling wird, am allerlängsten eine Schneehaube, und man muß ihr fast alle Jahre die Ehre antun, sie ... extra wegzuschaukeln, wenn man es nicht drauf ankommen lassen will, daß dort ewig das Pflaster naß ist, wenn anderwärts schon die Bäume ausschlagen" [ADALBERT STIFTER 1843/1844 „Wiener Wetter"; aus ADAM 1988].

Gleich im ersten Satz spricht Stifter das wohl bekannteste Phänomen des Stadtklimas an, nämlich die sog. **städtische Wärmeinsel**. Die Ursache für die Überwärmung von Städten liegt vor allem in der weitreichenden Veränderung des Wärmehaushaltes gegenüber dem Freiland: Wärmespeicherung durch die städtischen Baumaterialien, herabgesetzte Verdunstung

durch die fehlende Vegetation, verringerte langwellige Ausstrahlung aufgrund der Luftbeimengungen in der Stadtatmosphäre (sog. Treibhauseffekt). Im Winter kommen Gebäudeheizungen als zusätzliche Wärmequellen hinzu. Abb. 1 verdeutlicht die Zusammenhänge im städtischen Wärmehaushalt.

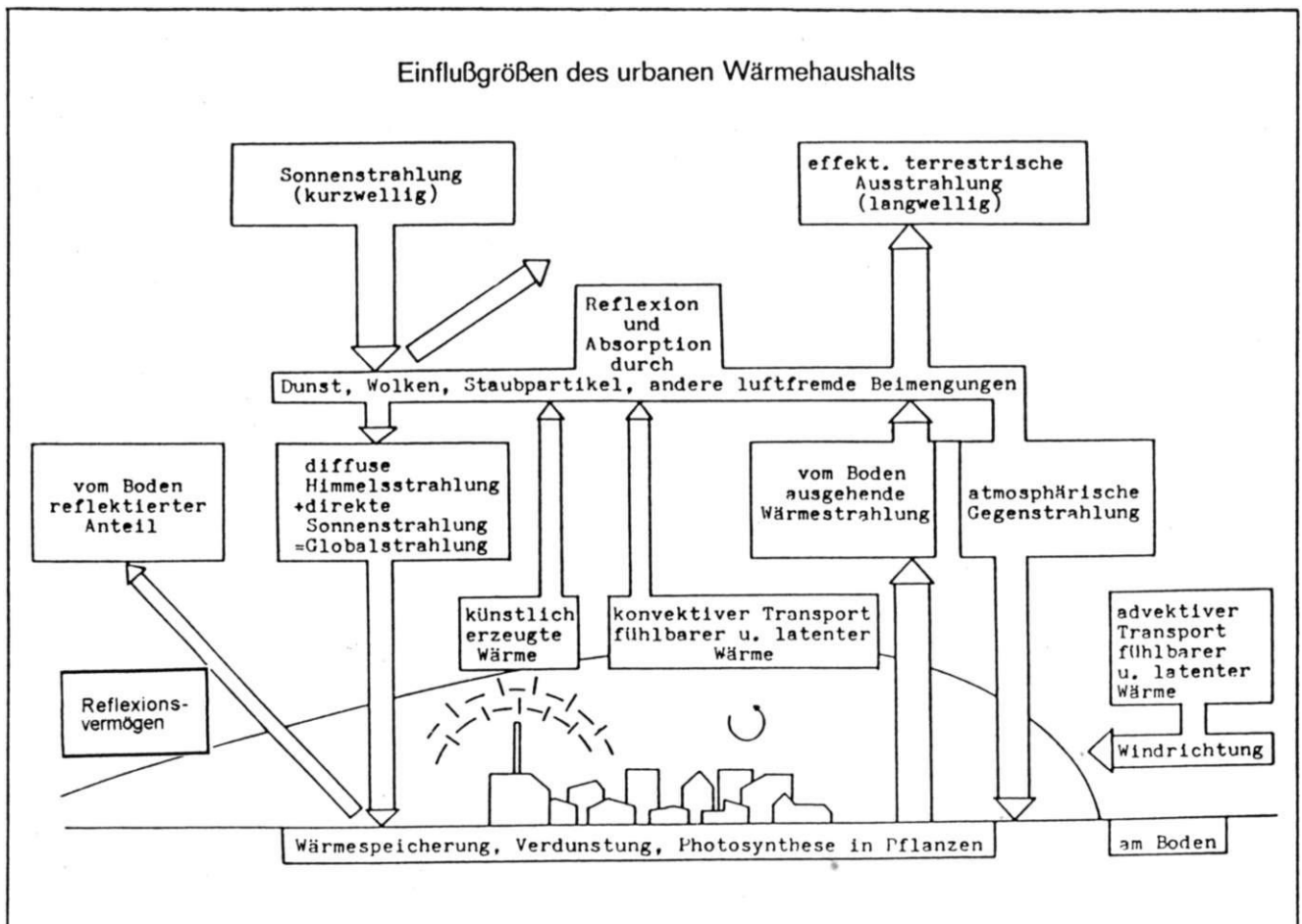
Nach REUTER u. a. [1991] können in Millionenstädten Temperaturabweichungen von mehr als 10 K im Vergleich zum Umland erreicht werden. Im Jahresmittel liegen die Temperaturerhöhungen bei 1 bis 2 K. Der enge Zusammenhang zwischen Versiegelungsgrad bzw. Bebauungsdichte und Lufttemperatur wird in der folgenden Abb. 2 deutlich, die für ein Profil durch Berlin die Verteilung der Lufttemperatur an einem Sommerabend darstellt. Auch der Kohlenmonoxidgehalt steigt mit zunehmender Bebauungsdichte an, was in erster Linie eine Folge des erhöhten Verkehrsaufkommens ist.

Das zweite wesentliche Merkmal des Stadtklimas ist die starke Veränderung der Windverhältnisse gegenüber dem Umland. Die erhöhte Rauigkeit der städtischen Bebauung bewirkt im Mittel eine Verringerung der Windgeschwindigkeiten, was gleichzeitig den Luftaustausch und den Abtransport von Schadstoffen verschlechtert. In Abb. 3 kommt zum Ausdruck, daß sich die vertikalen Windprofile über der Innenstadt, dem Stadtrand und dem Freiland stark unterscheiden. Während im Freiland in Bodennähe noch 65 % der Geschwindigkeit des reibungsunbeeinflussten Höhenwindes erreicht werden, sind es im Bereich der Innenstadt nur noch 30 %.

Im Gegensatz zu der im Mittel niedrigeren Windstärke steht die Zunahme der Windgeschwindigkeitsspitzen, also der Böigkeit des Windes. Jeder hat sicherlich schon mal mit Regenschirm, Hut oder Schal gekämpft, wenn er auf dem Platz vor einer großen Kathedrale

Abb. 1: Einflußgrößen des städtischen Wärmehaushalts
[KLIMAFIBEL 1992, S. 11, verändert]

Temperaturdifferenzen werden in der Wissenschaft übereinstimmend in der Einheit Kelvin angegeben.
 $1 \text{ K} = 1 \text{ }^\circ\text{C}$



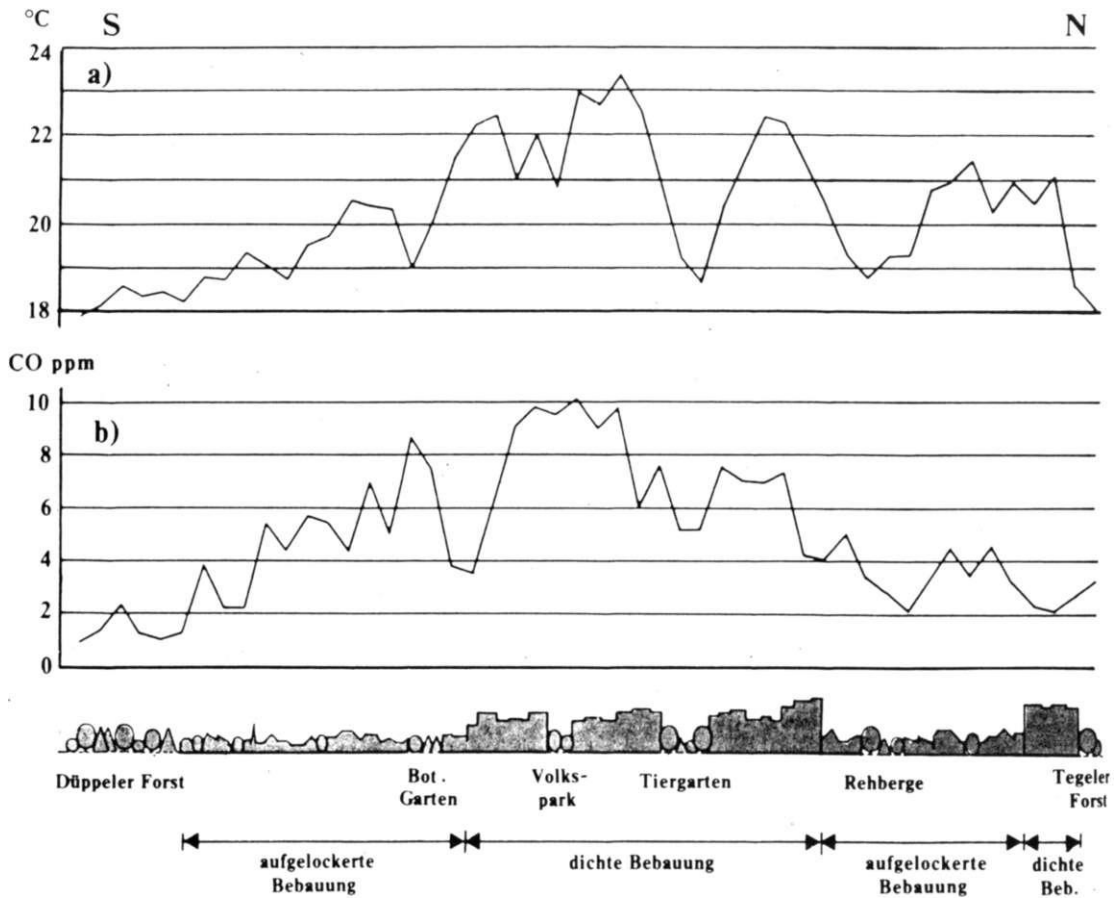
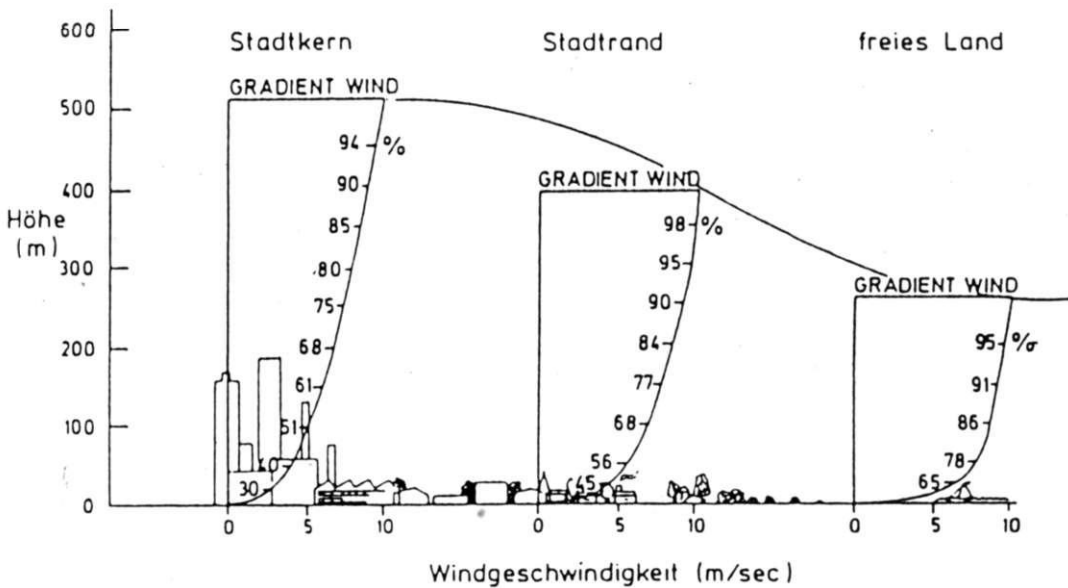


Abb. 2: Verteilung der Lufttemperatur in 2 m Höhe (a) und des CO-Gehaltes (b) auf einem Profil durch Berlin (West) am 28.08.1980 gegen 22:10 Uhr [ADAM 1988, S. 50]

Abb. 3: Vertikale Windprofile über der Innenstadt, dem Stadtrand und dem Freiland [KLIMAFIBEL 1992, S. 18]



stand. Ursache dafür ist die Wirbelbildung an großen Gebäuden, die zu Zugerscheinungen in Bodennähe führt. Abb. 4 zeigt schematisch die Umströmung eines Hochhauses. Dabei kommt es vor allem an den Gebäudeseiten zu Geschwindigkeitszunahmen, während sich in Lee - also auf der windabgewandten Seite - eine Schwachwindzone mit rückläufiger Strömung ausbildet. Ein weiterer Grund für Windböen ist die Verengung des Strömungsquerschnittes in engen Straßenschluchten oder in Hausdurchlässen ("Düseneffekt").

Insbesondere bei strahlungsreichen, windschwachen Hochdruckwetterlagen kommt es zur Ausbildung einer stadteigenen Zirkulationsform, angetrieben durch den Temperaturgegensatz zwischen warmer Stadt und kühlerem Umland. Die als **Flurwinde** bezeichneten relativ schwachen Strömungen sind tags und nachts stadteinwärts gerichtet mit etwas höherer Intensität am Tage. Eine stark vereinfachte Darstellung dieses Phänomens zeigt Abb. 5.

Bei Städten in ebenem Gelände bilden die Flurwinde oft die einzige Möglichkeit für die Zufuhr frischer Luftmassen ins Stadtgebiet, während bei Städten in bewegtem Gelände eine weitere lokale Zirkulationsform hinzukommt, die sogenannten **Hang- bzw. Berg-Tal-Windsysteme**. Ursache für die Ausbildung dieser reliefbedingten Windsysteme sind wiederum Temperaturgegensätze, und zwar zwischen besonnten und unbesonnten Hangbereichen. Mit Sonnenaufgang beginnen am besonnten Hang erhitzte Luftpakete wie Heißluftballons den Hang hinaufzulegen (= Hangaufwind). Da diese Luftpakete meist reichlich Wasserdampf enthalten und beim Aufsteigen abkühlen, bilden sich häufig Quellwolken über den Berggipfeln (vgl. Abb. 6). Zum Ausgleich sinkt die Luft über der Talmitte bzw. über dem unbesonnten Hang wieder ab, so daß ein geschlossenes System entsteht. Mit Sonnenuntergang dreht sich das Zirkulationssystem um: am Oberhang kühlt die Luft rascher aus als am Unterhang und da kalte Luft schwerer ist als warme, fließen die Luftmassen hangabwärts (= Hangabwind). Nach dem selben Prinzip funktioniert auch das Berg-Tal-Windsystem, jedoch sind die Strömungen hier mächtiger und erfassen nicht nur eine dünne, dem Boden aufliegende Lufthaut, sondern den ganzen Talquerschnitt. Dabei weht der Wind tagsüber talaufwärts (= Talwind) und nachts talabwärts (= Bergwind). Generell wird Wind immer danach bezeichnet, woher er kommt: Bergwind ist also der Wind, der vom Berge her kommt, und Ostwind ist der Wind, der aus Osten weht.

Abb. 5 zeigt zugleich eine weitere Eigenheit des Stadtklimas, nämlich die sog. "**Dunstglocke**". Die in erster Linie bei Hochdruckwetterlagen sichtbare glockenförmige Haube über der Stadt wird bedingt durch die Anreicherung von Emissionen (Staub, gasförmige Verun-

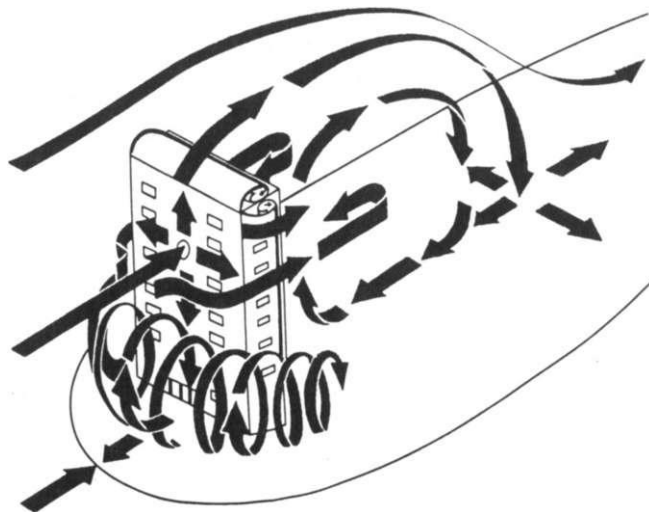


Abb. 4: Schematische Darstellung der Umströmung eines Gebäudes durch den Wind [ADAM 1988, S. 57]

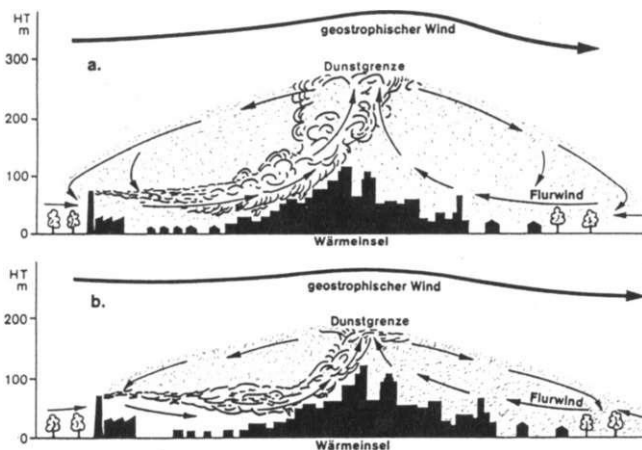


Abb. 5: Die lokale Windzirkulation im Bereich einer Großstadt
a) nach Sonnenaufgang,
b) nach Sonnenuntergang [LAUER 1993, S. 233]

Abb. 6: Hangaufwind an einem besonnten Hang mit Quellwolkenbildung über der Bergkuppe [ROTH 1995, S. 104]



reinigungen, Wasserdampf) aus Industrie, Hausbrand und Verkehr. Neben der Einschränkung der Sichtweite vermindert die Dunstglocke die kurzwellige UV-Strahlung und die Sonnenscheindauer und erhöht die Niederschlagshäufigkeit. Letzteres ist darauf zurückzuführen, daß die in der Stadtluft in großer Zahl enthaltenen Feststoffpartikelchen (Kondensationskerne) die Bildung von Regentropfen erleichtern.

Meist ist die Ausbildung der Dunstglocke verbunden mit einer **Inversion (= Temperaturumkehr)**. Normalerweise nimmt die Lufttemperatur vom Boden ausgehend mit zunehmender Höhe ab (zwischen 0,6 und 1 K pro 100 Meter); und da warme Luft leichter ist als kalte bestehen gute Voraussetzungen für eine vertikale Durchmischung der Luftschichten. Man spricht von "labiler" Schichtung. Bei Schönwetterlagen mit klarem Nachthimmel kühlt die bodennahe Luftschicht infolge der intensiven Ausstrahlung stark ab. Damit lagert am Boden schwere Kaltluft, darüber leichtere Warmluft, die Temperaturverhältnisse haben sich umgekehrt. Ein vertikaler Luftmassenaustausch ist in dieser "stabilen"

Schichtung nicht möglich. Erst in größeren Höhen, oberhalb der "Inversionsspererschicht", setzt wieder eine normale Temperaturabnahme mit der Höhe ein. Besonders in den Herbst- und Wintermonaten können solche Inversionen länger andauern und zu einer gefährlichen Anreicherung von Schadstoffen in der Stadt führen ("Smog"; Näheres hierzu im Kap. 3.1).

Zwei weitere Eigenschaften des Stadtklimas seien hier noch erwähnt. Zum einen die Verlängerung der Vegetationsperiode um ca. 8 bis 10 Tage gegenüber dem Umland [KOMMUNALVERBAND RUHRGEBIET 1992] als Folge der Überwärmung und zum anderen die Tatsache, daß innerhalb einer einzigen Stadt ganz verschiedene Kleinklimate auftreten können. So weist z. B. die großzügige Villenbebauung am Hang ganz andere Temperatur- und Belüftungsverhältnisse auf als die dicht gedrängte City im Talkessel.

Zum Abschluß dieses Kapitels sind in der folgenden Tab. 1 die wesentlichen Klimaunterschiede zwischen Stadt und Umland nochmals aufgeführt.

Tab. 1: Vergleich Stadt - Umland [KRdL 1993, verändert]

Element	Bezugsgröße	Änderung gegenüber dem Umland
Strahlung	Globalstrahlung Ultraviolettstrahlung	bis 20 % weniger weniger: So: bis 5 %; Wi: bis 30 %
	Sonnenscheindauer	bis 15 % weniger
Temperatur	Jahresmittel	bis 1,5 K höher
	nächtliches Minimum	bis 12 K höher
	Heiztage	bis 10 % weniger
	Dauer der Frostperiode	bis 25 % kürzer
	Bodeninversion	kaum vorhanden im Stadtbereich
Feuchte	Jahresmittel (rel. Feuchte)	geringer: Wi: bis 2 %; So: bis 10%
Verdunstung	Mittelwert	bis 60 % geringer
Windgeschwindigkeit	Jahresmittel	bis 30 % niedriger
	Spitzenböen	bis 20 % niedriger
	Windstillen (Calmen)	bis 20 % häufiger
Bewölkung	Bedeckungsgrad	bis 10 % höher
Sichtweite	Nebelhäufigkeit Sicht bis 5 km	etwas geringer deutlich schlechter
Niederschlag	Niederschlagshöhe	bis 10 % größer
	Tage mit mehr als 5 mm	bis 10 % häufiger
	Tage mit Schneefall	bis 5 % weniger
	Tau	bis 65 % weniger
Luftbeimengungen		stark erhöht
Vegetationsperiode		ca. 8 bis 10 Tage länger

Nach der bisherigen Lektüre des ersten Kapitels denkt vielleicht so mancher Leser: "Na ja, die paar Grad wärmer oder das bißchen Wind weniger in der Stadt, das kann doch nicht so schlimm sein." Das Thema Luftbelastung dagegen wird von den meisten Menschen sehr ernst genommen. Woher kommt nun diese unterschiedliche Bedeutungszuweisung? Zum einen liegt sie darin begründet, daß es zu den Luftbelastungen von den verschiedensten Gremien aufgestellte sogenannte "Grenz- und Vorsorgewerte" gibt (z. B. Immissionsgrenzwerte nach der TA Luft, Leitwerte der WHO und der EU, Luftqualitätsstandards nach KÜHLING 1986). Solche einheitlichen Bewertungsmaßstäbe gibt es beim Klima noch nicht. Ein weiterer Grund ist, daß den Luftschadstoffen objektive, d. h. meßbare Schädigungen des Menschen (z. B. Atemwegserkrankungen wie Asthma, Bronchitis, Pseudokrapp, Lungenkrebs) zugewiesen werden können, während klimatische Begriffe wie Wärme- und Kältestress oder Schwüle doch sehr subjektiven Einschätzungen unterliegen.

Man darf jedoch zwei Dinge nicht vergessen:

1. Den engen Zusammenhang zwischen Klima und Lufthygiene (der beim Stadtklima ja sogar in der Definition festgehalten ist) und
2. Die Belastung des menschlichen Organismus während extremer thermischer Bedingungen, die in medizinischen Studien nachgewiesen wurde.

Tab. 2 verdeutlicht in vereinfachter Form die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Klimaelementen und der Luftverschmutzung.

Erst durch die Kenntnis dieser Zusammenhänge können planerische Maßnahmen entwickelt werden, die zur Vermeidung/Verminderung von Schadstoffbelastungen in unseren Städten beitragen. So sorgen z. B. genügend große Abstände zwischen Häusern für eine bessere Durchlüftung und rascheren Abtransport von Kfz-Abgasen. Bei engen Zwischenräumen verbleiben die Schadstoffe dagegen in den Straßenschluchten oder werden durch Leewirbel an den Häuserwänden hochgeblasen und gelangen durch offene Fenster in die Räume hinein (vgl. Abb. 7). Auch eine ungeschickte Anordnung von Schornsteinen kann zu erheblicher Schadstoffbelastung führen.

Tab. 2 Zusammenhänge Klimaelemente - Luftbelastung [KRdL 1993]

Direkte Beeinflussung der Emission

Lufttemperatur	→ Heiztätigkeit, Klimatisierung
Strahlung	→ Heiztätigkeit, Klimatisierung
Wind	→ Staubaufwirbelung, Heizung
Niederschlag	→ Staubbinding
Schnee, Glatteis	→ Kfz-Verkehr
Schönes Wetter	→ Ausflugsverkehr

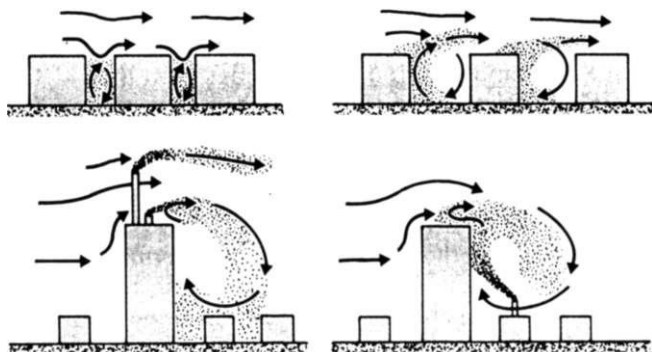
Beeinflussung des Abtransportes und der Verdünnung von Luftverunreinigungen

Wind	→ Richtung und Geschwindigkeit, Verfrachtung und Verdünnung
Inversion	→ vertikaler und horizontaler Luftaustausch
Strahlung	→ Inversionen, Konvektion

Bildung und Abbau von Luftverunreinigungen

Strahlung	→ z. B. Ozon und andere Photooxidantien
Nebel, Regen, Schnee	→ Staub und Schadgase

Abb. 7: Der Einfluß von Gebäuden und Schornsteinen auf den Wind und die Verdünnung von Schadstoffen [HÄCKEL 1990, S. 295]



Doch wie bereits oben erwähnt beeinflussen nicht nur die Luftverunreinigungen das menschliche Wohlbefinden, sondern auch die thermischen Bedingungen. Medizinische Studien in Baden-Württemberg ergaben, daß die Sterblichkeit bei Menschen mit Herz- und Kreislauferkrankungen sowohl bei starker Hitze als auch bei extremer Kälte ansteigt. In Abb. 8 ist die mittlere tägliche Mortalitätsrate in Abhängigkeit von der thermischen Belastung dargestellt. Die thermische Belastung wird dabei anhand des sog. PMV-Wertes (= Predicted Mean Vote) gemessen. Dieser gibt die mittlere subjektive Beurteilung der thermischen Behaglichkeit durch eine größere Personengruppe wieder. Für etwa 1300 Personen wurde die Beziehung zwischen einer rechnerisch

nicht ausgeglichenen Wärmebilanz und dem jeweiligen subjektiven Empfinden der Person untersucht. Dadurch läßt sich aus den das thermische Milieu bestimmenden meteorologischen Faktoren Lufttemperatur, Wasserdampfdruck, mittlere Strahlungstemperatur und Windgeschwindigkeit sowie den nicht-meteorologischen Einflußgrößen Bekleidung und Aktivität ein skaliertes Wert für das Empfinden von Behaglichkeit/Unbehaglichkeit bestimmen. Bei PMV = 0 herrschen thermisch ausgeglichene, also behagliche Bedingungen. Je kleiner der Wert wird, um so größer wird der Kältestress und je größer der Wert, um so größer wird die Hitzebelastung.

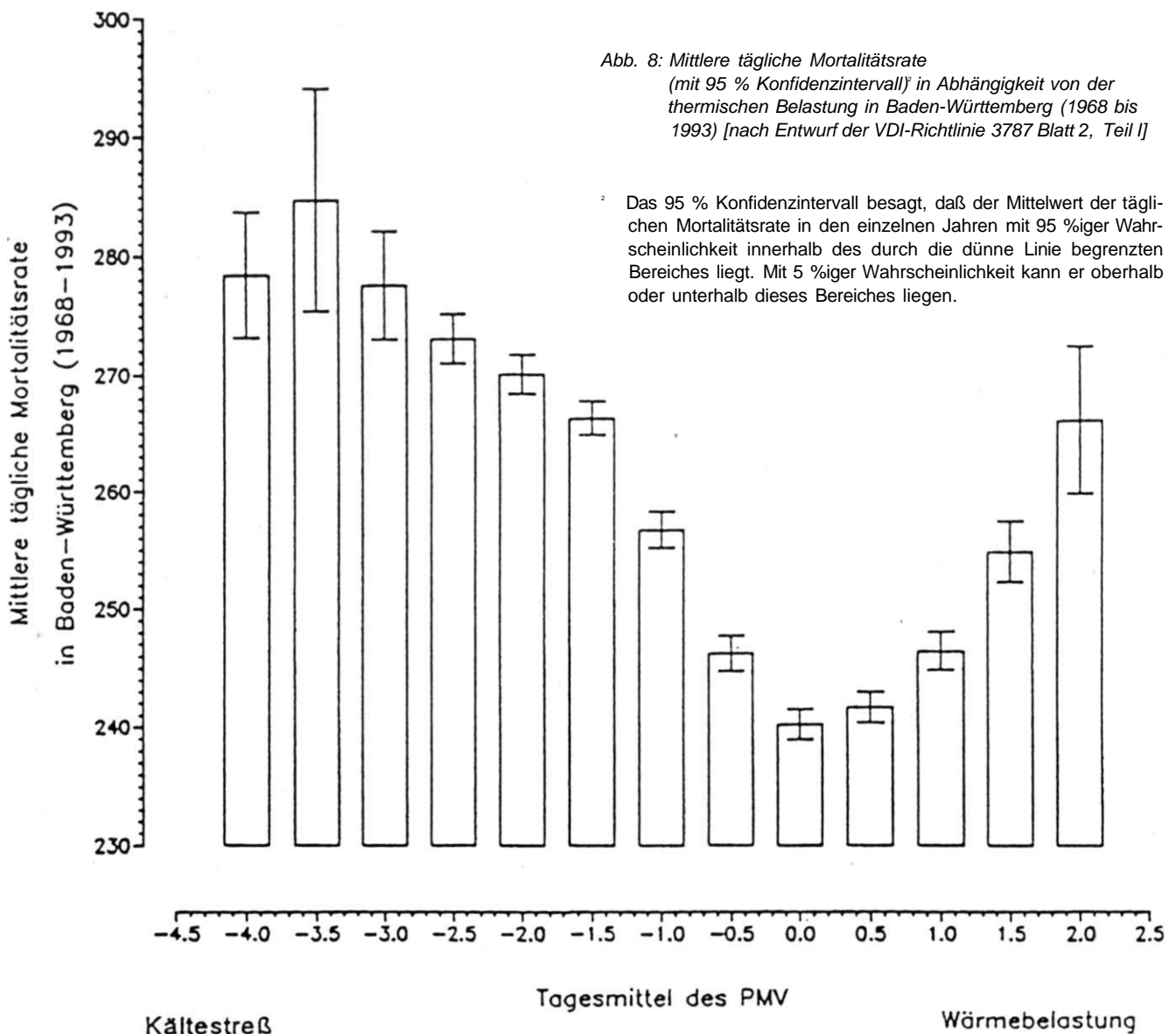
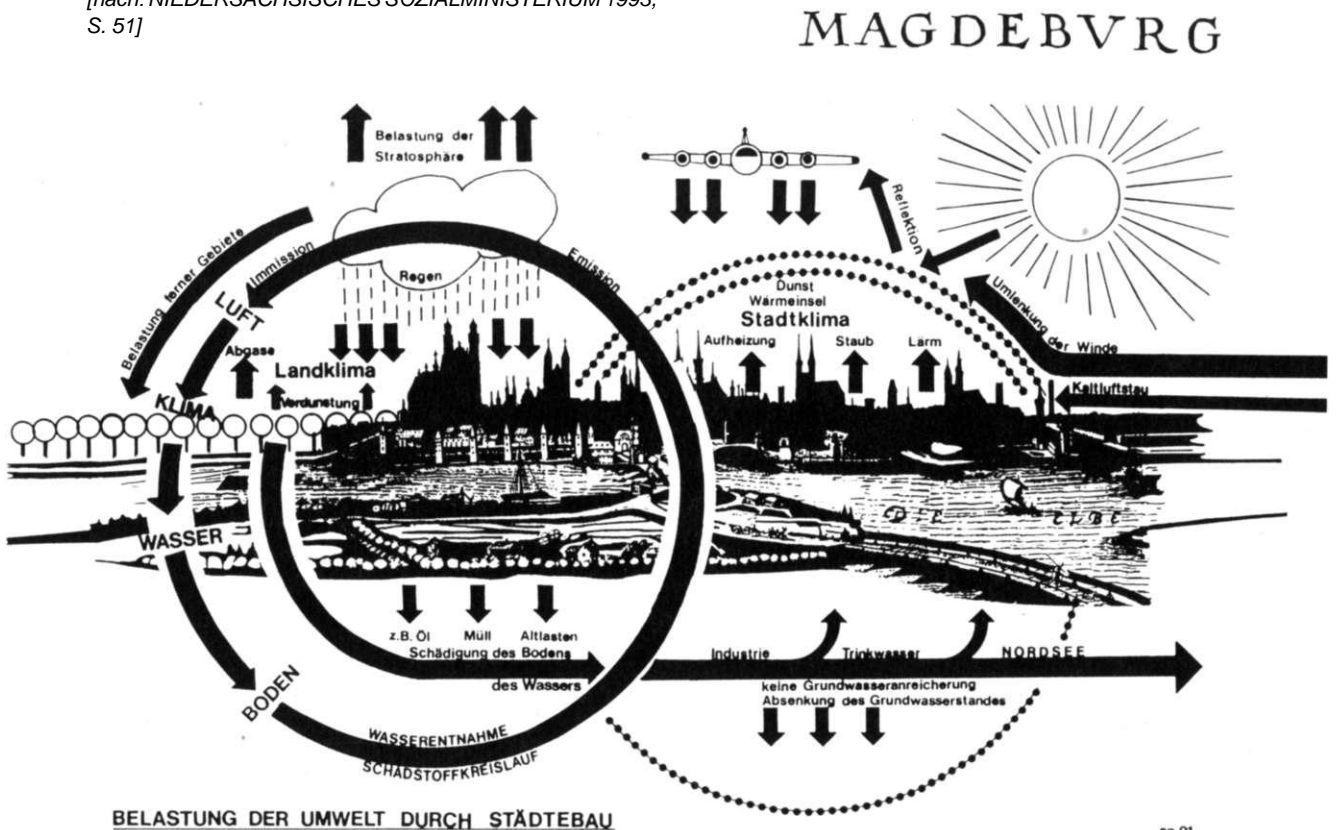


Abb. 8: Mittlere tägliche Mortalitätsrate (mit 95 % Konfidenzintervall) in Abhängigkeit von der thermischen Belastung in Baden-Württemberg (1968 bis 1993) [nach Entwurf der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2, Teil I]

² Das 95 % Konfidenzintervall besagt, daß der Mittelwert der täglichen Mortalitätsrate in den einzelnen Jahren mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit innerhalb des durch die dünne Linie begrenzten Bereiches liegt. Mit 5 %iger Wahrscheinlichkeit kann er oberhalb oder unterhalb dieses Bereiches liegen.

Es gibt jedoch nicht nur direkte Zusammenhänge zwischen Klima und Luft bzw. zwischen Klima und thermischer Belastung des Menschen, sondern das Klima ist Bestandteil der natürlichen Kreisläufe des Ökosystems Erde. In diese Kreisläufe von Boden, Wasser, Klima, Luft, Tier- und Pflanzenwelt greift der Mensch mit seinen Tätigkeiten ein. Insbesondere in großen Städten werden die natürlichen Gegebenheiten stark verändert und belastet, wie Abb. 9 anschaulich darstellt.

Abb. 9: Belastung der natürlichen Kreisläufe des Ökosystems Erde durch den Städtebau
 [nach: NIEDERSÄCHSISCHES SOZIALMINISTERIUM 1993, S. 51]



2 AUFGABENSTELLUNG UND METHODIK BEI DER KLIMAUNTERSUCHUNG FÜR DIE STADT MAGDEBURG

2.1 Aufgabenstellung

Die einführenden Kapitel haben uns gezeigt, wie wichtig es für eine umweltverträgliche Stadtentwicklung ist, die klimatischen und lufthygienischen Gegebenheiten in einer Stadt zu kennen. Da diese Grundlagen in der Landeshauptstadt Sachsen-Anhalts bislang fehlten, hat sich die Stadt im Jahr 1994 zur Durchführung einer umfassenden Klimauntersuchung entschlossen. Finanzierung und Koordination der Untersuchung erfolgten gemeinsam durch das Stadtplanungsamt und das Umweltamt. Die Ergebnisse des Klimagutachtens liegen seit August 1995 vor und sollen neben einer kurzen Einführung in die Methodik in den folgenden Abschnitten dargestellt werden.

2.2 Thermalscannerbefliegungen und Klimatopkarte

Während einer sommerlichen Strahlungswetterlage wurden im Juni 1994 zwei Thermalscannerbefliegungen zur Aufzeichnung von Erdoberflächentemperaturen über dem Gebiet der Stadt Magdeburg durchgeführt. Der erste Flug fand kurz nach Sonnenuntergang, der zweite Flug kurz vor Sonnenaufgang statt, um so das nächtliche Abkühlungsverhalten der Erdoberfläche zu erfassen. Ein Scanner funktioniert nicht wie eine Kamera, d. h. er macht keine Photos, sondern es handelt sich um einen sog. opto-mechanischen Abtaster [LÖFFLER 1994]. Diese beruhen auf der Verwendung von schnell beweglichen Drehspiegeln, die das Aufnahmegebiet quer zur Flugrichtung zeilenweise abtasten. Die von der Erdoberfläche ausgehende Strahlung wird über ein optisches System, das die Strahlung in einzelne Wellenlängenbereiche zerlegt, auf Detektoren geleitet, die die Intensität der Strahlung messen. Typische Plattformen für Scannersysteme sind sowohl Flugzeuge als auch Satelliten. Das in Magdeburg verwendete Aufnahmegerät war ein flugzeuggestützter Scanner vom Typ Daedalus AADS 1250, der die von der Erdoberfläche ausgehende langwellige Wärmestrahlung im thermischen Infrarot (Wellenlängenbereich 8-14µm) aufzeichnete. Die Angaben zu den zwei Meßflügen sind in Tab. 3 zusammengestellt, Abb. 10 zeigt den Flugplan.

Tab. 3 Angaben zu den Thermalscanneraufnahmen Magdeburg

Aufnahmezeitraum	24.06.94/22:37-23:03 MESZ 25.06.94/02:57-03:18 MESZ
Gebietsgröße	ca. 22 km x 15 km
Flughöhe ü. G.	ca. 4000 m
Anzahl Flugstreifen	3
Geometrische Auflösung ³	ca. 10m

Die Oberflächentemperaturdaten wurden geometrisch entzerrt und in Form zweier Bildverbände dargestellt (Thermalkarte Abend, Thermalkarte Morgen; vgl. Abb. 11 und 12). Sie zeigen flächendeckend die Temperaturen der Landschaftsoberfläche. Die Temperaturskalen von Abend- und Morgenflug sind einheitlich, damit ein direkter Vergleich anhand der gewählten Farbkodierung möglich ist. Dabei erscheint die Morgensituation aufgrund der nächtlichen Ausstrahlung - mit Ausnahme einzelner Wasserflächen - allgemein kühler als die Abendsituation.

In einer windschwachen Strahlungswetterlage zeigen Oberflächen während der nächtlichen Abkühlungsperiode ein charakteristisches nahezu lineares Abkühlungsverhalten. Sind T1 und T2 die Temperaturwerte eines Oberflächenelements in der Abend- bzw. Morgenaufnahme, so läßt sich das Oberflächentemperaturverhalten durch die Parameter

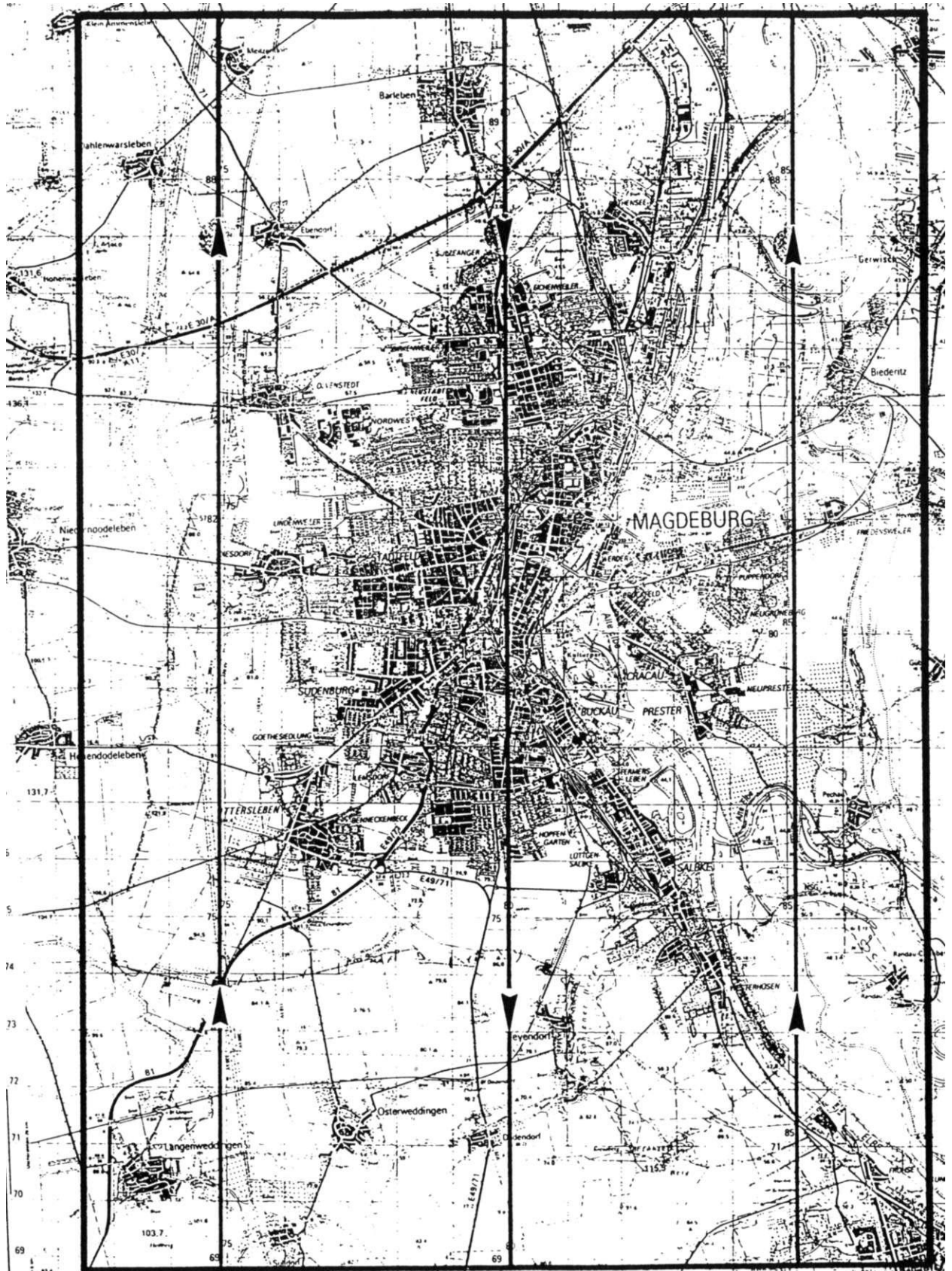
$$\begin{aligned} \text{Abkühlung } \delta T &= T1 - T2 \text{ und} \\ \text{mittlere Temperatur } T_m &= \frac{1}{2} (T1 + T2). \end{aligned}$$

beschreiben.

Auf dieser physikalischen Gesetzmäßigkeit beruht die Herstellung der *Klimatopkarte*, bei der die Bildverbände der Abend- und Morgensituation digital überlagert und für jedes Bildelement nach obiger Formel die mittlere nächtliche Temperatur und die Abkühlung berechnet werden.

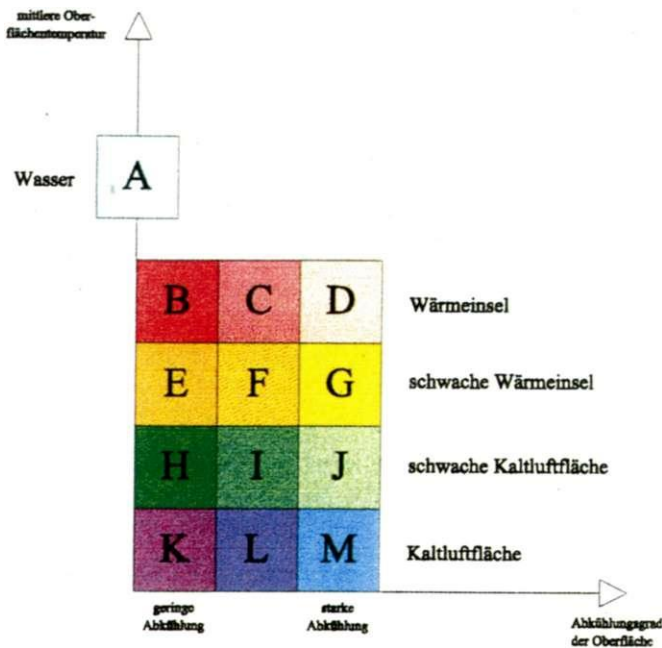
³ Unter geometrischer Auflösung versteht man die vom einzelnen Bildelement erfaßte Geländeoberfläche; bei einer Auflösung von 10 m entspricht ein Bildelement einer Fläche von 10 m x 10 m. Je höher die Auflösung, um so detaillierter sind die Informationen über die thermische Struktur des aufgenommenen Gebietes.

Abb. 10: Aufnahmegebiet Magdeburg (ca. 22 km x 15 km) mit den 3 Flugachsen. Kartengrundlage TK 50, verkleinert auf 1:100.000 [SPACETEC 1995]



Im Idealfall würde sich eine Landschaftsoberfläche gemäß ihrem Typ (Acker, Wiese, Asphaltfläche) verhalten, also charakteristische Werte der mittleren Temperatur und Abkühlung zeigen. Um die aus den Thermalaufnahmen gewonnenen, individuellen δT - T_m -Werte mit den theoretischen Idealwerten vergleichen zu können, muß man die Temperaturwerte korrigieren. Tages- und jahreszeitliche Einflüsse müssen aus den Daten eliminiert werden, so daß in erster Linie die Faktoren Wetterlage und Nutzung das Temperaturbild bestimmen, nicht jedoch der Befliegungstermin. Dies geschieht in Form der sog. standardisierten multitemporalen Klassifikation, gleichbedeutend mit einer festen Einteilung des Oberflächentemperaturverhaltens in 13 Klassen. Dabei werden die festen Landschaftsoberflächen durch die 12 Klassen B bis M, Wasserflächen durch die Klasse A beschrieben (vgl. Abb. 13). Jeder Klasse wird eine bestimmte Farbe zugeordnet. Die Farbgebung der Klassen verläuft vertikal mit zunehmenden mittleren Temperaturen von blau über grün und gelb bis rot. Horizontal variiert die Farbintensität mit zunehmender nächtlicher Abkühlung von Dunkel nach Hell.

Abb. 13: Standardisierte Klassifikation des Oberflächentemperaturverhaltens



Erst diese Vorgehensweise ermöglicht die Vergleichbarkeit von Thermalaufnahmen verschiedener Städte bzw. ein- und derselben Stadt zu verschiedenen Aufnahmezeitpunkten.

Ein Beispiel: Stadt A wird 1985 an einem mäßig warmen Frühsommertag mit maximalen Lufttemperaturen von 22 °C befliegen. Die Wiese XY hat auf den Thermal-

aufnahmen eine mittlere nächtliche Oberflächentemperatur von 10 °C und eine Abkühlung von 3 K auf. Betrachtet man nur die absoluten Temperaturen, so ist die Wiese - obwohl ihre Nutzung gleich geblieben ist - wärmer geworden und würde jetzt in die grüne Klasse "H" (schwache Kaltluftfläche) oder sogar in die gelbe Klasse "E" (schwache Wärmeinsel) eingeordnet werden. Tatsächlich ist aber nur das allgemeine Temperaturniveau angestiegen, relativ betrachtet ist die Wiese immer noch kühler als ein bebautes Gebiet. Und genau diese Relationen zwischen den verschiedenen genutzten Flächen sollen durch die Thermalaufnahmen aufgezeigt werden, unabhängig von den absoluten Temperaturen.

Betrachtet man nun die Klimatopkarte von Magdeburg (Abb. 14), so lassen sich bestimmte Zusammenhänge zwischen Nutzung und Klimatopklasse erkennen. Am auffälligsten ist sicherlich der Gegensatz zwischen dem von gelben und roten Farben beherrschten Stadtgebiet und dem überwiegend grün und blau gefärbten Umland. In erster Näherung kann man dies als den Gegensatz zwischen der Stadt als Wärmeinsel und dem Freiland als Kaltluftentstehungsgebiet bezeichnen. Bei genauerem Hinsehen läßt sich eine feinere Zuordnung zwischen Nutzung und Klimatopklasse herstellen, wie sie in Tab. 4 zusammengefaßt wird. Grundlage dafür war die Bestandsaufnahme der Flächennutzung im Maßstab 1:10.000, die von der Stadt Magdeburg in Form von Karten zur Verfügung gestellt wurde.

Dabei zeigt sich jedoch auch, daß es keine eindeutige Korrelation zwischen Nutzungsart und Klimatopklasse gibt. So können Straßen z. B. sowohl in den roten als auch in den gelben Klassen liegen, je nachdem ob sie in dicht besiedeltem Gebiet liegen oder übers Land führen. Bei Landwirtschaftsflächen ist die Schwankungsbreite noch größer: von blau über grün bis gelb sind alle Klassen vertreten. Hier sind es vor allem die Faktoren Vegetation, Bodenfeuchte und Geländeform, die das Erscheinungsbild beeinflussen. Damit wird klar, daß man sehr genaue Kenntnisse über das Untersuchungsgebiet benötigt, um keine falschen Aussagen aus Thermalaufnahmen abzuleiten.

Zum besseren Verständnis der Zusammenhänge zwischen Nutzung und thermischem Verhalten werden im Folgenden einige Nutzungstypen beschrieben und durch einen Ausschnitt aus der Klimatopkarte und dem entsprechenden Luftbild bzw. Photo illustriert.

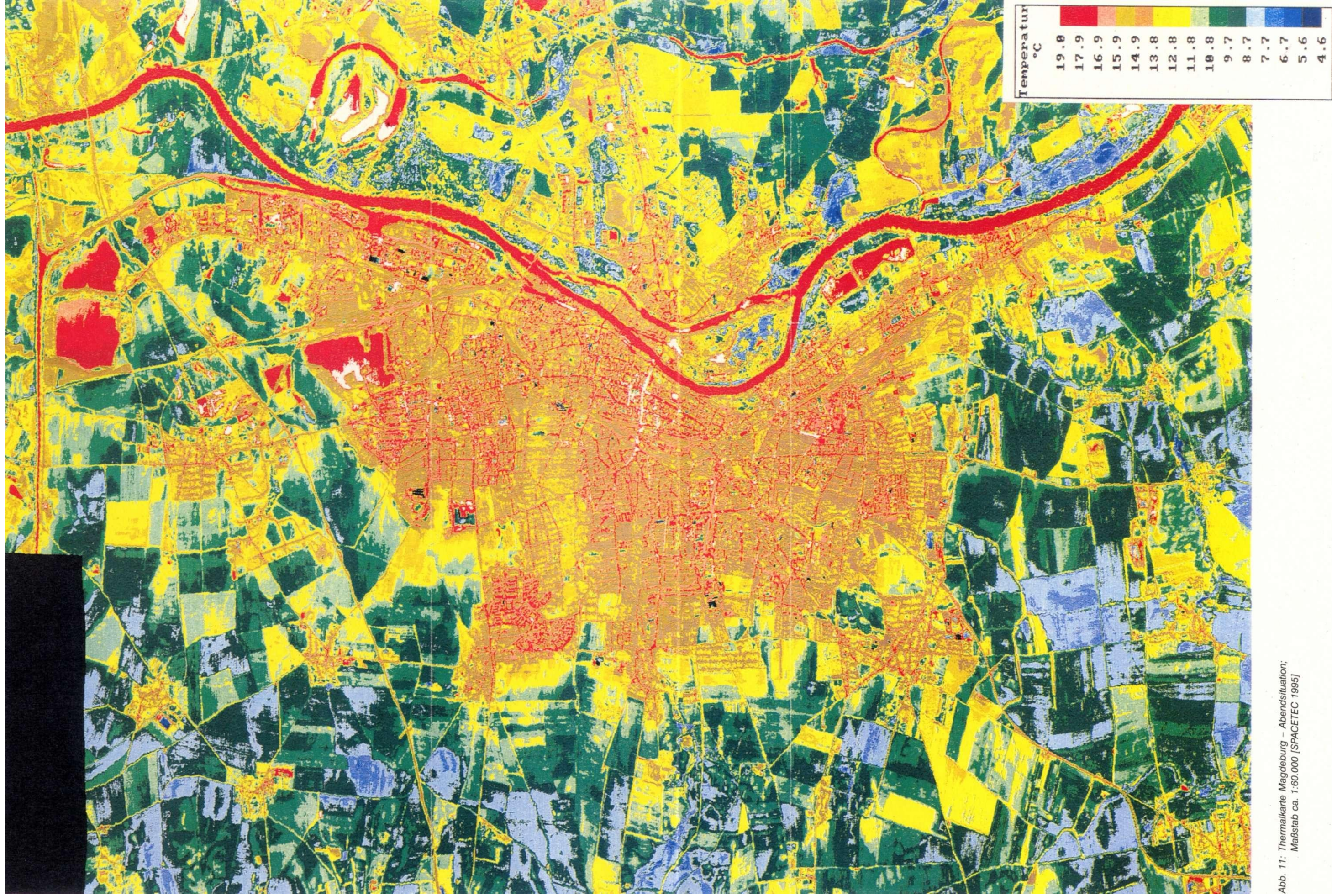


Abb. 11: Thermalkarte Magdeburg – Abendsituation;
Maßstab ca. 1:60.000 [SPACETEC 1995]

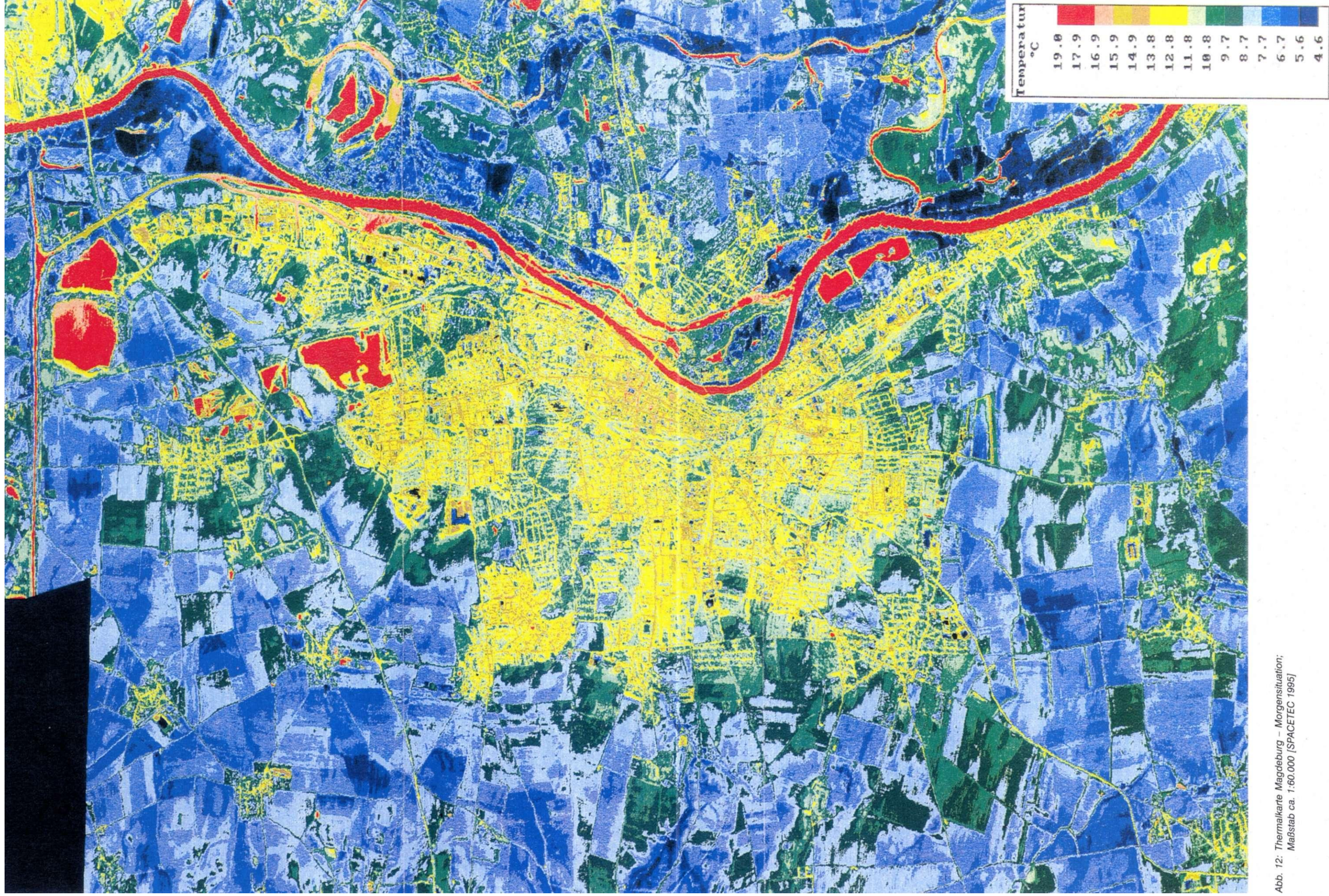


Abb. 12: Thermalkarte Magdeburg – Morgensituation;
Maßstab ca. 1:60.000 [SPACETEC 1995]

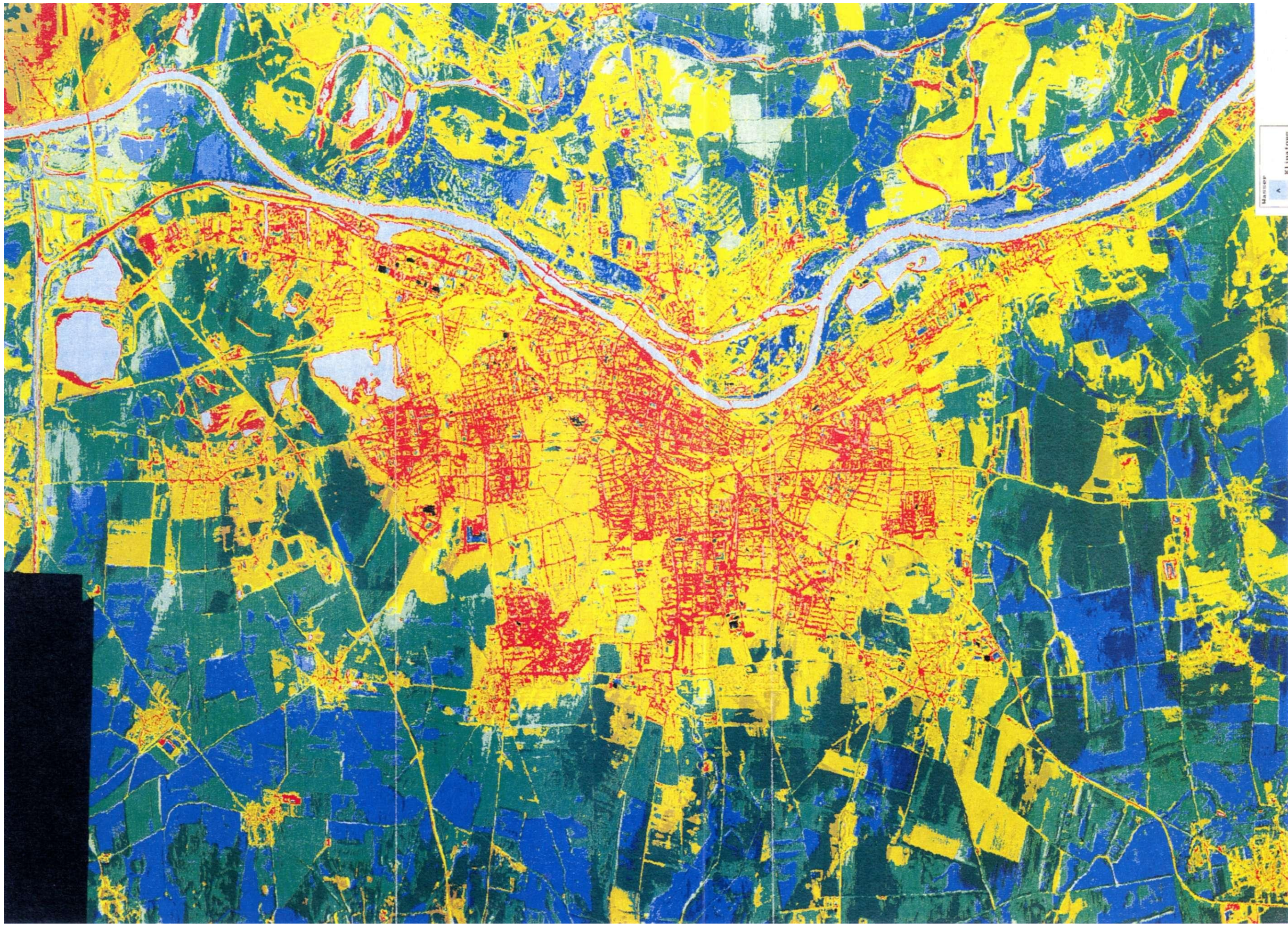


Abb. 14: Klimatopkarte Magdeburg; Maßstab ca. 1:60.000
[SPACETEC 1995]

Tab. 4: Zusammenhang Nutzung - Klimaklassen

Klimatop- klasse	Farbcodierung	Vorkommen
A	sehr helles blau	Wasserflächen
B	dunkel rot	kleine Gewässer; Uferbereiche; Straßen in Innenstädten
C	rot	Straßenzüge in Siedlungen; Autobahnen; Überlandstraßen; kleinere versiegelte Flächen; Wohngebiete in Plattenbauweise
D	hellrot	Straßenzüge in Siedlungen; Autobahnen; Überlandstraßen; größere versiegelte Flächen, bevorzugt in Gewerbe- und Industriegebieten
E	dunkles gelb	Äußere Zone von Straßen-, Wege- und Gewässerrändern; punktuell in Siedlungs-, Landwirtschafts- und Waldflächen
F	gelb	Siedlungsflächen; innerstädtische Parks und sonstige baumbestandene Freiflächen wie Friedhöfe und Kleingärten; Wälder; Ackerflächen; Straßenzüge in unbebauten bzw. locker bebauten Gebieten; innerstädtische Gleisanlagen
G	helles gelb	innerstädtische Gleisanlagen; punktuell in Siedlungsflächen; Wälder; Landwirtschaftsflächen; Straßenzüge in unbebauten bzw. locker bebauten Gebieten
H	dunkelgrün	Landwirtschaftsflächen
I	grün	Landwirtschaftsflächen; vereinzelt innerstädtische Grünflächen mit niedriger Vegetation
J	hellgrün	kleinflächig in Landwirtschaftsflächen
K	dunkelblau	kleinflächig in Landwirtschaftsflächen, bevorzugt in Wiesen und Flußauen; reflektierende Hallendächer (Fehlklassifikation)
L	blau	großflächig in Landwirtschaftsflächen, bevorzugt in Wiesen und Flußauen; punktuell in städtischen Grünflächen; reflektierende Hallendächer (Fehlklassifikation)
M	hellblau	punktuell in Landwirtschaftsflächen, bevorzugt in Wiesen und Flußauen; reflektierende Hallendächer (Fehlklassifikation)
–	schwarz	nicht klassifizierte oder fehlklassifizierte Bereiche

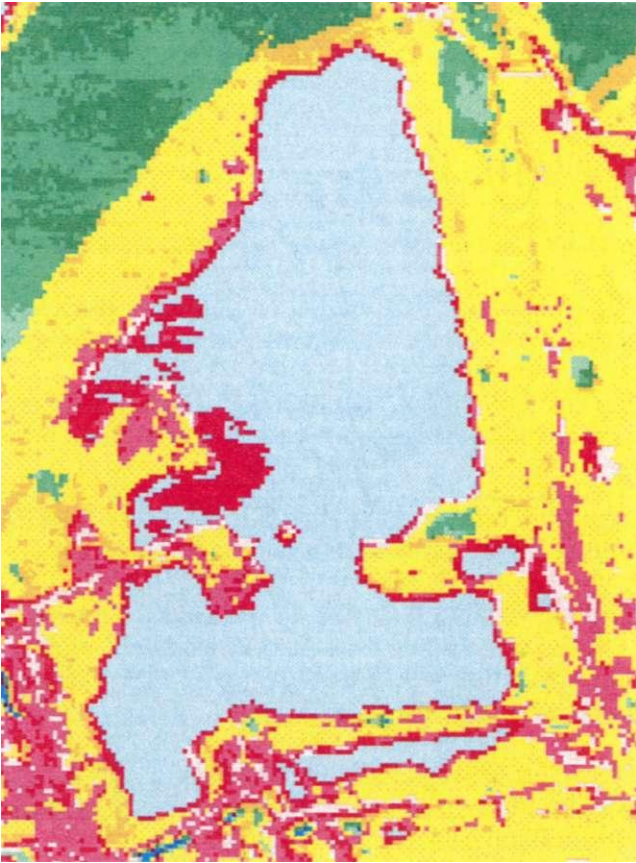


Abb. 15a: Klimatopkartenausschnitt Neustädter See
Maßstab ca. 1:15.000

Abb. 15b: Schrägluftbild Neustädter See'
(nach Norden)



Gewässer

Freie Wasserflächen unterscheiden sich in ihrem thermischen Verhalten deutlich vom Erdboden. Wichtigstes Kennzeichen ist ihr *ausgeglichener Temperaturgang*, d. h. die Schwankungen zwischen Tag und Nacht und auch zwischen den Jahreszeiten sind sehr viel kleiner als beim festen Boden. Verantwortlich dafür sind die folgenden drei physikalischen Besonderheiten von Wasser:

- Kurzweilige Strahlung kann - insbesondere bei klaren Gewässern - bis in große Tiefen vordringen und bleibt nicht auf die Oberfläche beschränkt.
- Wasser kann durch Strömungen und Wind durchmischt werden, so daß die aufgenommene Energie auf ein größeres Volumen verteilt wird.
- Wasser besitzt ein extrem hohes Wärmespeicher- und Wärmeleitvermögen. So kann Wasser 3 bis 10mal soviel Wärme aufnehmen wie das gleiche Volumen Erdboden, bis seine Temperatur um 1 K ansteigt [HÄCKEL 1990].

Die Folge dieser Eigenschaften ist, daß Seen und Flüsse an heißen Sommertagen kühler sind als das viel stärker erhitzte Land, in der Nacht jedoch wärmer. Auf der Klimatopkarte, die ja das nächtliche Oberflächentemperaturverhalten darstellt, sind die Wasserflächen somit die wärmsten Oberflächen und erscheinen überwiegend in sehr hellem Blau. Manche Gewässer, wie z. B. die Alte Elbe oder der Rothenseer Kanal, sind etwas kühler und fallen daher in die roten Klassen. Ursachen dafür sind vermutlich geringere Wassertiefe und erhöhte Trübung.

Landwirtschaftsflächen

Wie eben beschrieben, sind Wärmeaufnahme- und -Speicherfähigkeit beim festen Boden ganz anders als beim Wasser. Die Energieumsätze bleiben auf die obersten Bodenschichten beschränkt, d. h. die Bodenoberfläche erhitzt sich rasch und kühlt auch rasch wieder aus.

Unbewachsener Boden ist somit recht hohen Temperaturschwankungen unterworfen. Wie groß die Schwankungen sind, hängt wesentlich von der Wärmeleitfähigkeit des Bodens ab. Diese wiederum wird von der Bodenart, der Bodenfeuchte und dem Luftgehalt des Bodens bestimmt.

So leitet z. B. Lehm besser als Sand oder Torf, nasser Boden besser als trockener, verdichteter Boden besser als lockerer. Je größer die Wärmeleitfähigkeit, um so kleiner sind die Temperaturschwankungen an der Bodenoberfläche und umgekehrt.

¹ Klimatopkartenausschnitte im folgenden stets genordet.

Neben den Bodeneigenschaften an sich hat das Vorhandensein einer Vegetationsdecke einen großen Einfluß auf das thermische Verhalten von Landwirtschaftsflächen. Da Pflanzenbestände im allgemeinen ein lockeres Gefüge mit einem hohen Luftanteil besitzen, sind sie ausgesprochen schlechte Wärmeleiter und können auch selbst kaum Wärme aufnehmen. Damit wird bewachsenem Boden wesentlich weniger Wärme zugeführt als unbewachsenem. Wiesen und mit Ackerfrüchten bestandene Felder sind daher sowohl tagsüber als

auch nachts kühler als nackter Boden. Insbesondere Wiesen kühlen nach Sonnenuntergang sehr rasch aus. Sichtbares Zeichen dafür ist die Entstehung von Nebelschwaden über den Wiesen, wie sie vermutlich jeder schon mal beobachten konnte.

Diese Ausführungen machen deutlich, weshalb landwirtschaftliche Flächen auf der Klimatopkarte ein recht breites Spektrum an Klimatopklassen aufweisen.

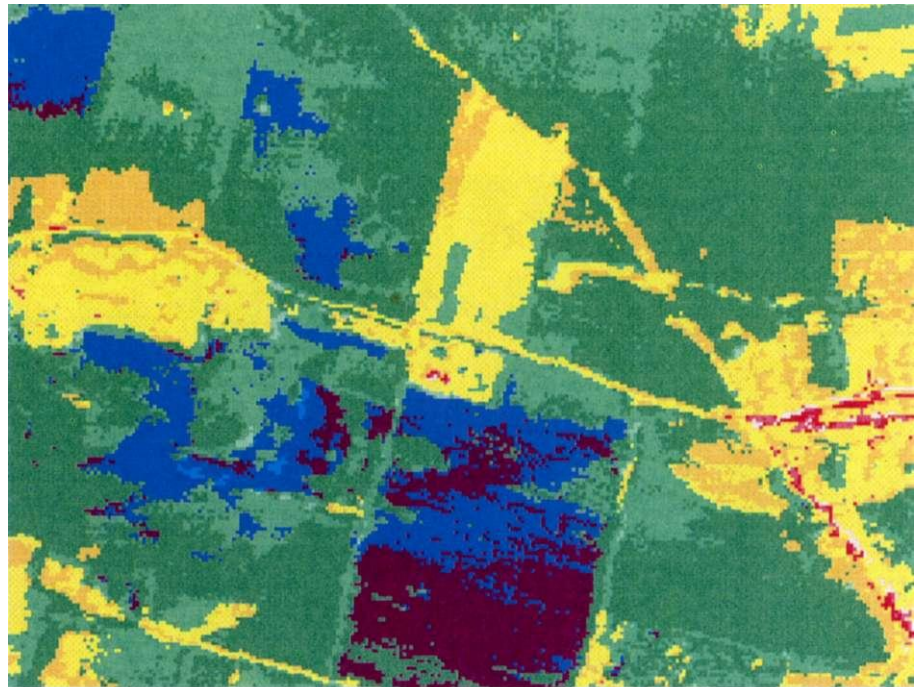


Abb. 16a: Klimatopkartenausschnitt
Niedere Börde im Bereich
Hängeisbreite,
Maßstab ca. 1:15.000



Abb. 16b: Schrägluftbild
Niedere Börde im Bereich
Hängeisbreite
(nach Norden)

Flutwiesen in Talauen

Hierbei handelt es sich um naturnahe Bereiche der Auelandschaft mit einem kleinräumigen Wechsel aus offenen Wiesenflächen, Baumgruppen und Gebüsch. Die Nähe zum Fluß bewirkt einen hohen Grundwasserstand, so daß viel Feuchtigkeit zur Verdunstung zur Verfügung steht. Dadurch heizen sich Aewiesen tagsüber weniger stark auf als trockene Rasenflächen. Durch ihre Lage in einer Geländesenke sind sie außerdem bevorzugte Gebiete für nächtliche Kaltluftansammlungen. Beide Effekte zusammen bewirken, daß Aewiesen auf Thermalaufnahmen sehr kühl erscheinen und auf der Klimatopkarte überwiegend in die blauen Klassen fallen.

Wälder

Wälder stellen die höchste und dichteste Form einer Vegetationsdecke dar. Wie bei einer Wiese oder einem Weizenfeld findet auch hier der Energieumsatz nicht mehr am Boden, sondern an der Oberfläche der Vegetation, also am Kronendach statt. Der Bereich unterhalb der Baumkronen, der sog. Stammraum, wird somit von Ein- und Ausstrahlung weitgehend abgeschirmt, so daß sich hier ein eigenes "Binnenklima" oder Bestandsklima ausbilden kann. Wichtigstes Merkmal dieses Bestandsklimas ist - ähnlich wie beim Wasser - der ausgeglichene Temperaturgang. Im Waldinneren ist es an einem Sommertag tagsüber kühler und nachts

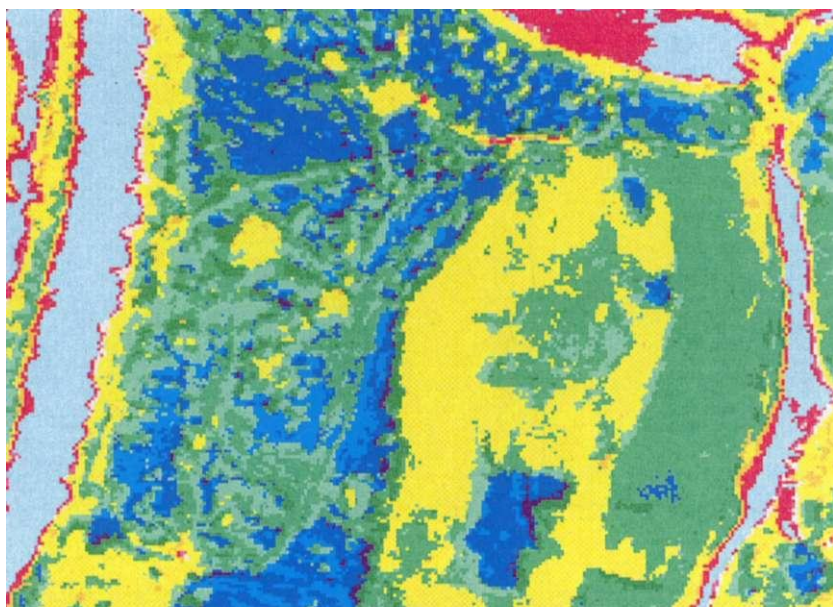


Abb. 17a: Klimatopkartenausschnitt
Wiesenpark/Zuwaohs,
Maßstab ca. 1:15.000



Abb. 17b: Schrägluftbild
Wiesenpark/Zuwachs (nach Norden)

wärmer als im Umland. Weitere Unterschiede zum Freiland sind die stark reduzierte Windgeschwindigkeit, die höhere relative Luftfeuchte und die höhere Verdunstung durch die großen Blattoberflächen.

Auch in Bezug auf die Lufthygiene nehmen Wälder eine Sonderstellung ein. Wälder erzeugen keine Luftverunreinigungen, sie filtern vielmehr einen beachtlichen Teil der festen und flüssigen Schmutzstoffe der Atmosphäre aus. Gasförmige Luftverunreinigungen gehen wie andere Luftmoleküle zwar ungehindert durch den Wald, aber die Rauigkeit der Waldoberfläche verursacht eine stärkere Durchmischung der Luft, so daß die gesamte Konzentration an Luftschadstoffen in der bodennahen Luftschicht herabgesetzt wird.

Wälder besitzen also eine hohe klimatische Gunstfunktion für den Menschen. Auf der Klimatopkarte erscheinen Wälder meist in den gelben oder sogar in den roten, also relativ warmen Klimatopklassen. Ursache dafür ist, daß die am Kronendach abgekühlten Luftmassen in den Stammraum sinken und von dort durch wärmere Luftmassen wieder ersetzt werden. Daher bleibt die **Waldoberfläche** relativ warm und nur diese kann der Scanner vom Flugzeug aus einsehen, der Stammraum bleibt ihm verborgen!

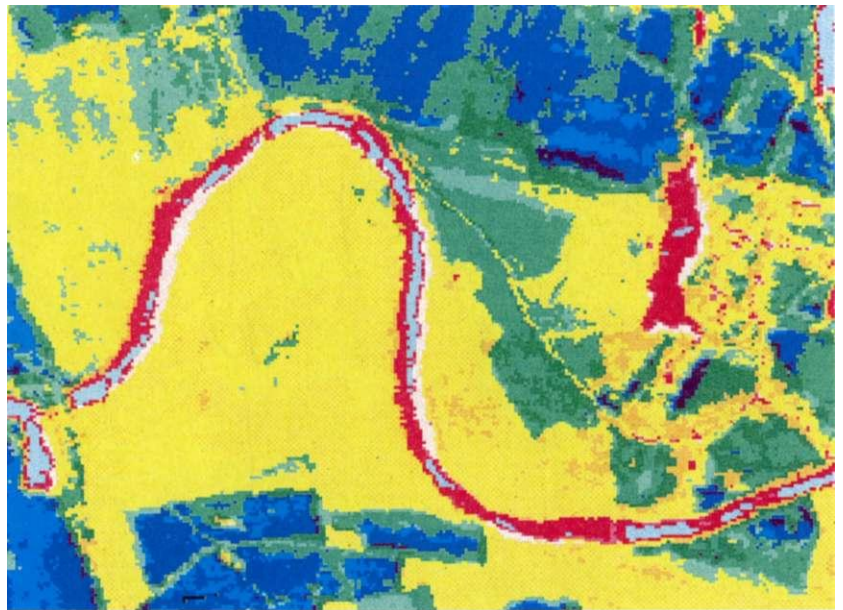


Abb. 18a: Klimatopkartenausschnitt
Auwald Kreuzhorst mit Alter Elbe,
Maßstab ca. 1:15.000



Abb. 18b: Schrägluftbild Auwald
Kreuzhorst mit Alter Elbe
(nach Süden)