



Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung

Vorwort

Die Stadt ist Ausdruck für die Selbstbestätigung des Menschen und Ergebnis seines jahrhundertelangen Kampfes gegen die Naturgewalten. Mit dem wissenschaftlich-technischen Fortschritt, der Massenproduktion von Gütern sowie dem Bau von Industrieanlagen und dem Verkehrswesen ging eine rücksichtslose Ausbeutung der Natur einher, die sich letztlich auch in einer Minderung der Lebensqualität ausdrückt. Der Auszug aus der Stadt zeigt, daß diese nicht immer als der gemäße Raum menschlichen Lebens erfahren wird.

Das anthropogene Siedlungs-Ökosystem Stadt, das in seiner heutigen Form auch als urbanes Ökosystem bezeichnet wird, ist nicht mehr überwiegend durch biologische Strukturen und Vorgänge, sondern vielmehr durch technische Gebilde wie Bauwerke und gewerbliche Aktivitäten geprägt.

Die Überprägung von Ökosystemen durch städtische Entwicklungen hat nicht nur Konsequenzen hinsichtlich der Arten-, Biotop- und Lebensraumausstattung oder der Versickerungsleistung von Niederschlagswasser, sondern in ganz besonderer Weise auch hinsichtlich der Veränderung von lokalen oder regionalen Klimamerkmalen.

Im Rahmen der Veranstaltung "Natur und Stadt" der Sächsischen Akademie für Natur und Umwelt in Lichtenstein soll daher das Thema Stadtklima in den Vordergrund gerückt werden. Am Beispiel der Stadt Görlitz sollen Grundlagen, Untersuchungsergebnisse und Empfehlungen zu lokalklimatischen Belangen der Bauleitplanung gegeben und verallgemeinerungswürdige Ergebnisse für andere Kommunen nutzbar gemacht werden. Ein sehr ausführlicher Grundlagenteil soll dabei der Information einer breiten Öffentlichkeit, insbesondere aber auch der schulischen und außerschulischen Umweltbildungarbeit dienen. Die vorliegende Dokumentation ermöglicht dem Leser, notwendige Sachverhalte zu den stadtklimatischen Besonderheiten nachzuschlagen und wichtige Ergebnisse auf ausgewählte Planungen in andere urbane Ökosysteme zu übertragen.

Möge die vorliegende Dokumentation dazu beitragen, über die vertiefte Betrachtung des Schutzgutes Klima auch die engen Beziehungen zu anderen landschaftlichen Ausstattungskomponenten zu verdeutlichen und ein größeres Verständnis für die Komplexität von Natur und Umwelt zu entwickeln.

Einleitung

Das Deutsche Institut für Urbanistik Berlin (DIFU) als Projektträger förderte bis 1994 Beratungsleistungen u.a. auch zu Fragen der Berücksichtigung klimaökologischlufthygienischer Erkenntisse in der Stadtplanung. Vom Ingenieurbüro Dr. Schulz & Partner GmbH wurde dazu ein Beratungskonzept erarbeitet und durch das DIFU bestätigt. Darauf basierende Beratungsleistungen, die orientierenden Charakter trugen und sich in drei Hauptpunkte

- Zustandsanalyse
- Ermittlung des Handlungsbedarfs
- Darstellung der Handlungsempfehlungen

gliederten, wurden einer Reihe von Kommunen angeboten. Vom Umweltamt der Stadt Görlitz wurde eine derartige Beratung in Auftrag gegeben. Ziel dieser Orientierungsberatung war die Erarbeitung der Strategie für die Stadtklimauntersuchung und die Abstimmung dieser Strategie mit dem Ämtern bzw. Sachgebieten der Stadtverwaltung

- Stadtentwicklung
- Stadtplanung
- Naturschutz
- Immissionsschutz

deren Belange durch die zu erarbeitenden Empfehlungen des Gutachtens berührt sind. Dieser Strategie gemäß erhielt das Ingenieurbüro Dr. Schulz & Partner GmbH den Auftrag, die Stadtklimauntersuchung durchzuführen. Für die Dauer von 12 Monaten erfolgte der Betrieb eines temporären Netzes von meteorologischen Meßstationen. Bei entsprechenden Wettersituationen wurden in dieser Zeit Meßfahrten, Radiosondenaufstiege und eine Thermalbeflie-

gung durchgeführt. Die Durchführung dieser Untersuchungen, ihre Auswertung und die gewonnenen Erkenntnisse zur klimaökologisch-lufthygienischen Situation in der Stadt Görlitz einschließlich detaillierter Empfehlungen für die Stadtplanung und insbesondere der Bauleitplanung sind in einem umfangreichen Abschlußbericht zusammengestellt worden. Dieser Bericht ist ergänzt worden durch die Ergebnisse einer sechsmonatigen Validierungsmessung mit einem reduzierten Meßnetz und der Orientierung darauf, inzwischen eingemeindete Ortsteile zu berücksichtigen. In den folgenden Abschnitten wird versucht, sowohl die wesentlichen, allgemeinen Zusammenhänge, die mit der Stadtklimatologie in Beziehung stehen als auch den Ablauf der Untersuchungen und einige wesentliche Ergebnisse von Görlitz darzustellen. Die Autoren möchten an dieser Stelle insbesondere den Mitarbeitern des Umweltamtes der Stadt Görlitz für die Unterstützung bei der Durchführung der praktischen Messungen danken. Durch den kontinuierlichen Informationsfluß zwischen dem Ingenieurbüro und dem Umweltamt war es möglich, gezielt die Ergebnisse herauszuarbeiten, die von der Stadt benötigt wurden.

Für die Stellungnahme der Stadt Görlitz zur bisherigen Verwendung der Untersuchungsergebnisse (s. Anhang) danken wir ebenfalls herzlich. Nicht zuletzt gebührt unser Dank dem Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung für die Vermittlung dieser Veröffentlichungsmöglichkeit und der Sächsischen Akademie für Natur und Umwelt für die wertvollen redaktionellen Hinweisen.

Karl-Heinz Schulz

Bernd Stiller

Inhaltsverzeichnis

| 1. | Klimaschutz lokal oder global? | 4 |
|------|--|-----|
| 2. | Lokaler Klimaschutz – Klimatische Besonderheiten | |
| | von Städten | - |
| 2.1. | Das Stadtklima | - 5 |
| 2.2. | Ideales Stadtklima | 7 |
| 2.3. | Ausgleich und Wirkung – klimaökologische Funktionszusammenhänge | |
| | zwischen Freiräumen und Bebauung | 7 |
| 2.4. | Die Idealstadt aus klimatisch-lufthygienischer Sicht | |
| 3. | Mögliche Methoden der Klimaanalyse | 9 |
| 3.1 | Die konventionelle oder klassische Methode | 9 |
| 3.2. | Infrarot-Thermographie | 10 |
| 3.3. | Modelluntersuchungen | 13 |
| 4. | Ausgewählte Meßergebnisse in Görlitz | 14 |
| 4.1. | Thermalbildaufnahmen | 15 |
| 4.2. | Flächenhafte Lufttemperaturdifferenzen | 16 |
| 4.3. | Typischer Lufttemperaturgang in sommerlichen Strahlungsnächten | 17 |
| 4.4. | Inversionshäufigkeit | 19 |
| 4.5. | Mittlere Windgeschwindigkeit | 20 |
| 4.6. | Windrichtung | 20 |
| 5. | Klimaökologische Funktionszusammenhänge | |
| | zwischen Freiräumen und Bebauung im Stadtgebiet | |
| | von Görlitz | 24 |
| 6. | Empfehlungen zur Bauleitplanung | 24 |
| 6.1. | Maßnahmen im Bereich der Bauleitplanung und der kleinräumigen Detailgestaltung | 25 |
| 6.2. | Konflikte | 28 |
| 6.3. | Klimaeignung | 28 |
| 6.4. | Chancen | 29 |
| 7. | Schluß | 31 |
| 8. | Quellen und weiterführende Literatur | 32 |
| | Anhang | 33 |

1. Klimaschutz lokal oder global?

Die Aussagen zum Klima in den verschiedenen Gesetzen des Bundes (BauGB, BNatSchG, Sächs-NatSchG, ROG, UVPG) heben vielfach auf lokalklimatische Effekte ab,

z.B. BNatSchG §2: ... "8. Beeinträchtigungen des Klimas, insbesondere des örtlichen Klimas, sind zu vermeiden, unvermeidbare Beeinträchtigungen sind auch durch landschaftspflegerische Maßnahmen auszugleichen oder zu mindern."

oder nehmen nur sehr allgemein auf "das Klima" Bezug.

z.B. BauGB §1 (5): ... "Bei der Aufstellung der Bauleitpläne sind insbesondere zu berücksichtigen ... 5. die Belange des Umweltschutzes ... sowie das Klima, ..."

Der Auftrag zum Klimaschutz ist auch aus der Gesetzgebung des Freistaates Sachsen (SächsLPIG §2 (1), (2), §6 (1); SächsNatSchG § 1) und aus dem LEP, Z. 35 ("... Siedlungsklimatisch wichtige Freiräume, wie Frischluft- und Kaltluftentstehungsgebiete sowie in Siedlungsgebiete hineinführende Frisch- und Kaltluftbahnen, sollen in ausreichender Größe langfristig erhalten werden.") abzuleiten und dabei eindeutig auf das Lokalklima bezogen.

Unter dem Klima eines Ortes oder einer Landschaft versteht man die Gesamtheit aller atmosphärischen Zustände und Vorgänge während eines längeren Zeitraumes. Es wird in Form von Mittelund Extremwerten sowie statistischen Aussagen, wie Häufigkeitsverteilungen beschrieben, die auf Meß- und Beobachtungsergebnissen der einzelnen Klimaelemente beruhen.

Die wichtigsten Klimaelemente sind dabei Lufttemperatur, Luftfeuchte (Wasserdampfgehalt der Luft), Windrichtung und Windgeschwindigkeit, Niederschlag, Sonnenscheindauer, Strahlung und Bewölkung.

Diese werden an einem Ort durch geographische Faktoren geprägt: geographische Breite, Höhe über NN, Neigung des Geländes, Art und Beschaffenheit des Bodens, aber auch Eigenheiten der den Ort beeinflussenden Luftmassen (z.B. Seeluft). Außer diesen natürlichen Faktoren wirken noch Faktoren anthropogenen Ursprungs, wie Bebauung, Verkehrswege, Luftschadstoffe und künstliche Zufuhr von Energie, die in Städten zur Ausbildung eines typischen Stadtklimas führen.

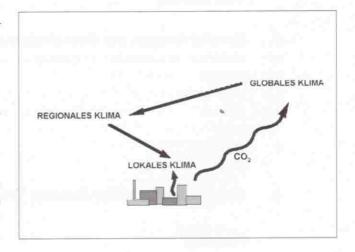
"Der Begriff kommunaler Klimaschutz bezeichnet in der aktuellen öffentlichen Debatte die Handlungen von Städten, Kreisen und Gemeinden, die zur Verminderung von Treibhausgasemissionen beitragen." stellen FIEBIG/KALLEN 1995 fest und bemerken in einer Fußnote:

"In vielen Fällen wird in der kommunalen Umweltdiskussion unter 'Klimaschutz' der lokale Stadtklimaschutz verstanden. Wir verstehen hier den kommunalen Klimaschutz als notwendige Antwort auf die globale Herausforderung. Insbesondere lokale energie- und verkehrstechnische Klimaschutzmaßnahmen haben natürlich auch eine positive Wirkung auf die örtliche, stadtklimatische Situation; vor allem hinsichtlich des Ziels der Emissionsminderung (durch Energiereinsparung) besteht im Grunde keinerlei Zielkonflikt."

Eine Reduzierung des Klimaschutzes auf nur lokale oder nur globale Belange ist unseres Erachtens unzureichend.

Alle relevanten Klimamaßstäbe (Makro, Meso, Mikro) sollten beachtet werden, wobei die Handlungsanforderungen für die verschiedenen klimatischen Größenordnungen aber durchaus unterschiedlich sind.

Einflüsse auf das lokale Klima



Die Klimaschutzziele bzw. Ziele einer klimaverträglichen Planung für die verschiedenen Scales könnten wie folgt aussehen:

 Der globale Klimaschutz verlangt eine wesentliche Reduzierung der Emissionen von Treibhausgasen (besonders CO₂, aber auch CH₄, NO_X, N₂O u.a.) in den Bereichen Verkehr, Energieerzeugung und Industrie.

Die Nutzung regenerativer Energien muß gefördert und der Ressourcenverbrauch reduziert werden. Die zum Abbau stratosphärischen Ozons führenden Emissionen (besonders FCKW, Halone, N₂O) sind drastisch zu minimieren bzw. prinzipiell zu verhindern.

- (2) Mikro- und regionalklimatische Effekte (Kaltbzw. Frischluftentstehungsgebiete, Luftaustauschbahnen, Frischluftschneisen, Modifizierungen des Windfeldes u.a.) sind zur Sicherung bioklimatischer und lufthygienischer Standards in der Planung zu berücksichtigen.
- (3) Mögliche, nicht abwendbare langfristige Änderungen des Mesoklimas sind entsprechend des jeweiligen wissenschaftlichen Erkenntnisstandes in der mittel- und langfristigen Planung zu berücksichtigen (z.B. in der Land- und Forstwirtschaft oder Wasserwirtschaft).

Zweifellos sind die möglichen Auswirkungen globaler Klimaänderungen auch in ihrer Rückwirkung auf das lokale Klima bedeutsamer, als z.B. die Frischluftversorgung eines belasteten Teilraumes einer Stadt.

Andererseits kann der Verzicht des "Bauens auf der grünen Wiese" aus lokalklimatischen Gründen (im Idealfall) mit der Verhinderung eines zusätzlichen motorisierten individuellen Zielverkehrs einhergehen. Nach unserer Erfahrung haben Umweltschutzziele immer dann eine hohe Umsetzungschance, wenn sich mehrere Schutzziele überlagern.

Nicht lokaler oder globaler kommunaler Klimaschutz, sondern beides!

Nur wenn dabei Konflikte beider Schutzziele nicht überwindbar sind, muß bei jetzigem Erkenntnisstand dem globalen Klimaschutz Priorität eingeräumt werden.

2. Lokaler Klimaschutz – Klimatische Besonderheiten von Städten

2.1. Das Stadtklima

Laut WHO (1981) definiert sich das städtische Klima wie folgt: "Das Stadtklima ist das durch die Wechselwirkung mit der Bebauung und deren Auswirkungen (einschließlich Abwärme und Emissionen von luftverunreinigenden Stoffen) modifizierte Klima", SCHIRMER et al. 1987 beschreibt noch etwas detaillierter:

- "Stadtklima ist das gegenüber dem Umland stark modifizierte Mesoklima von Städten und Industrieballungsräumen.
- Es umfaßt das gesamte Volumen der bodennahen Luftschicht oberhalb und in unmittelbarer Umgebung der Stadt ...
- Verursacht wird es durch die Art und Dichte der Bebauung, das Wärmespeichervermögen der Baustoffe, die Versiegelung des Bodens, das Fehlen der Vegetation, durch einen veränderten Wasserhaushalt und die vermehrte Emission von Abgasen, Aerosolen und Abwärme,
- Wechselseitig bedingend ergeben sich daraus markante Phänomene des Stadtklimas, etwa die Entstehung einer Wärmeinsel, erhöhte Lufttrübung (Dunstglocke), reduzierte Windgeschwindigkeit und -zirkulation, vermehrte Niederschläge und verminderte UV-Einstrahlung. Die bioklimatische Belastung durch Luftbeimengungen bzw. Smog und Schwüle kann beträchtlich sein. Positiv wirken sich v.a. Grün- und Wasserflächen innerhalb des Stadtgebietes aus."

Die Erkenntnisse über die Besonderheiten des Stadtklimas haben sich in den letzten Jahrzehnten verbreitert bzw. wurden bei einzelnen Phänomenen vertieft. Untersuchungen zur Wärmeinsel wurden zahlreich von OKE (z.B. OKE 1987) publiziert, eine planungsbezogene Anwendung dieser Erkenntnisse kann am Beispiel der Stadt Münster (KIESE et. al. 1992) studiert werden. Die Bedeutung der stadtspezifischen Windverhältnisse hoben

BARLAG, KUTTLER 1991 hervor. Leichtzugängliche Übersichtsdarstellungen über stadt- und geländeklimatische Probleme, teils in engem Zusammenhang mit Fragen der Lufthygiene, bieten VDI-KOMM. REINHALTUNG D. LUFT 1988, REUTER, BAUMÜLLER, HOFFMANN 1991, BAUMÜLLER, HOFFMANN, REUTER 1993 oder auch STILLER 1993.

Inzwischen liegt auch eine entsprechende VDI-Richtlinie (VDI 3787, Blatt 1 [Entwurf]: Klimaund Lufthygienekarten für Städte und Regionen)
vor. KELLER 1994 untersuchte die Probleme bei
der Umsetzung von Klimainformationen in der
Planung von 32 Städten. Zusätzlich vertieft sich
das Wissen über stadtklimatische Effekte mit jeder
weiteren konkreten Stadtklimauntersuchung, wie
sie inzwischen auch für mehrere Städte des Freistaates Sachsen durchgeführt wurden oder werden
(u.a. Dresden, Leipzig, Chemnitz, Zwickau).

In der Tabelle 2.1 ist der Stadteinfluß auf verschie-

dene Klimaelemente quantitativ dargestellt (vgl. SCHIRMER et al. 1987, BAUMÜLLER/HOFF-MANN 1993). Im Einzelfall können davon jedoch Abweichungen auftreten.

So gibt es in Städten neben nebelfördernden Faktoren, z.B. Aerosolmenge, reduzierte Windgeschwindigkeit – wie in Halle – auch nebelhemmende Faktoren, z.B. anthropogene Wärmeproduktion, reduzierte Evapotranspiration – wie in München oder Berlin (KOEPKE, P., M. SACHWEH 1992). In anderen Städten wurden im Einzelfall im Winter in innenstadtnahen, locker bebauten, aber auch "windgeschützten" Teilräumen gegenüber dem Umland auch etwas tiefere Mitteltemperaturen festgestellt (SCHULZ/STILLER

Ungeachtet dessen gibt diese Tabelle eine Orientierung über den Stadteinfluß, der für einzelne Klimaelemente um die Görlitzer Werte ergänzt wurde.

Tab. 2.1 Stadteinfluß auf verschiedene Klimaelemente (nach SCHIRMER et al. 1987, BAUMÜLLER/HOFFMANN 1993 und SCHULZ/STILLER 1995).

| Element | charakteristische Größen | Anderung gegenüber nichtbebauten Gebieten | Görlitzer Innenstadt gegenüber Freiland |
|-------------------------|---|--|--|
| Strahlung | Globalstrahlung UV (Winter) | bis 20 % weniger | keine Angaben bis 30% weniger |
| | UV (Sommer) Sonnenscheindauer | bis 15 % weniger | bis 5 % weniger |
| Temperatur | Jahresmittel nächtliches Minimum | bis 1.5 K höher bis 12 K höher | bis 1.0 K höher bis 12 K höher |
| | Heizgradtage (Gradtagzahl) Anzahl der Frosttage | bis 10 % weniger bis 25 % weniger | bis 6 % weniger bis 25 %, in einzel- |
| | Bodeninversion | kaum vorhanden | nen Jahren bis 40% weniger deutlich weniger |
| Relative Feuchte | Mittel (Winter) Mittel (Sommer) | bis 2 % geringer bis 10 % geringer | bis 2 % geringer bis 10 % geringer |
| Windgeschwindigkeit | | bis 30 % niedriger bis 20 % häufiger | bis 50 % niedriger teilweise über 50 % häufiger |
| Bewölkung Sichtweite | Bedeckungsgrad Nebelhäufigkeit | bis 10 % höher etwas geringer | keine Angaben etwas geringer |
| Niederschlag | Sicht bis 5 km Niederschlagshöhe | deutlich schlechter bis 10 % größer | schlechter (Dunstglocke) keine Angaben |
| | Tage mit Schneefall Tau | bis 5 % weniger bis 65 % weniger | |
| Luftbeimengungen | | stark erhöht | stark erhöht |

2.2. Ideales Stadtklima

Die Entwicklung eines unumstrittenen Leitbildes für die Behandlung des Klimas im lokalen und regionalen Maßstab ist noch nicht abgeschlossen. Im globalen Maßstab sind sich Klimatologen einig, daß anthropogen hervorgerufene globale Klimaänderungen zu verhindern oder klein zu halten sind, weil u.a. die Ökosysteme (einschließlich der Wechselwirkungen zur Weltbevölkerung mit Ernährungsbedarf, evtl. Wanderungsbewegungen usw.) historisch kurzzeitige Klimaänderungen nicht verkraften.

Bestimmte lokale Klimaänderungen müssen dagegen als gegeben hingenommen werden. Hier steht also weniger die Frage des Verhinderns von, sondern die Frage des Umgangs mit lokalen Klimamodifizierungen. Eine mögliche Antwort gibt die folgende Zielvorgabe der Arbeitsgemeinschaft 'Bioklima in der Stadt' innerhalb des Fachausschusses BIOMET der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft (Workshop-Protokoll, 26. 11. 1988):

"Ideales Stadtklima ist ein räumlich und zeitlich variabler Zustand der Atmosphäre im urbanen Bereichen, bei dem sich möglichst keine anthropogen erzeugten Schadstoffe in der Luft befinden und den Stadtbewohnern in Gehnähe (charakteristische Länge 150 m) eine möglichst große Vielfalt an Atmosphärenzuständen (Vielfalt der urbanen Mikroklimate) unter Vermeidung von Extremen geboten wird".

In dieser Definition des idealen Stadtklimas bezieht sich die Aussage über zu vermeidende Extreme auf bestimmte belastende Situationen. Dagegen kann z.B. eine große Tagesamplitude der Lufttemperatur, hervorgerufen durch starke nächtliche Abkühlung, die einen gewissen Klimareiz ausübt, positiv bewertet werden.

Ausgleich und Wirkung – klimaökologische Funktionszusammenhänge zwischen Freiräumen und Bebauung

Bei Wetterlagen mit geringen horizontalen Druckgradienten und starker nächtlicher Ausstrahlung des Bodens (schwachwindige Hochdruckwetterlagen bzw. austauscharme Wetterlagen; hier als Strahlungstage bezeichnet) überwiegt der Einfluß lokaler und anthropogener Faktoren. Diese können sogar für weite Bereiche bestimmend sein.

Windschwache Strahlungssituationen kommen im ostdeutschen Tiefland im Jahresmittel zu 20...30% der Tage vor, dabei im Sommer durchschnittlich häufiger und in "Rekordsommern" bis 50%. Besonders für diese Wetterlagen stellen sich Fragen der Ventilation, d.h. des Luftaustausches und der Frischluftzufuhr.

Wetterlagen mit höheren Windgeschwindigkeiten zeigen diese Problematik weniger, da in deren Verlauf im Zuge eines intensiveren horizontalen und vertikalen Luftaustausches Frischluft herangeführt wird und in die Atmosphäre gelangte Schadstoffe verdünnt und abtransportiert werden.

Bei austauscharmen Wetterlagen, die häufig mit Bodeninversionen oder tiefliegenden freien Inversionen und schwacher Windbewegung verbunden sind, kommt lokalen Windzirkulationen, die aus der Kaltluftbewegung und dem Luftaustausch zwischen Freiland und Bebauung entstehen, hohe Bedeutung zu, denn sie tragen wesentlich dazu bei, daß durch Zufuhr von "Frischluft" bzw. "Kaltluft" innerhalb der Bebauung die Anreicherung von Schadstoffen vermindert und bioklimatische Belastungen abgebaut werden.

Um die klimaökologischen Auswirkungen einer Nutzungsänderung bewerten zu können, muß der Stellenwert des Raumes im regionalen und lokalen Klimageschehen bekannt sein.

Verschiedene Autoren (z.B. SEITZ 1991) unterscheiden zwischen Ausgleichsräumen (Freiräumen), die klimaökologisch positiv wirken, d.h. klimaökologische Leistungen in Form von Abbau bioklimatischer/lufthygienischer Belastung erbringen und Wirkungsräumen (Bebauung), in welchen durch diese Leistungen bioklimatisch-lufthygienische Negativerscheinungen abgebaut oder vermieden werden können.

· Definition "Wirkungsraum":

Ein Wirkungsraum ist ein bebauter Raum, dem ein oder mehrere Ausgleichsräume zugeordnet sind und in welchem die in den Ausgleichsräumen erzeugten klimaökologischen Leistungen zum Abbau von klimahygienischen und lufthygienischen Belastungen führen.

· Definition "Ausgleichsraum"

Ein klimaökologischer Ausgleichsraum ist ein Freiraum, der einem benachbarten, zur Belastung neigenden Raum (Bebauung) zugeordnet ist, um in diesem Raum klimahygienische und lufthygienische Belastungen aufgrund seiner Lagebeziehung und der zwischen beiden Räumen stattfindenden Luftaustauschprozesse abzubauen oder nicht aufkommen zulassen.

Ausgleichs- und Wirkungsräume stehen über das Luftaustauschgeschehen funktional in Beziehung, wobei vor allem auch lokal begrenzte, bodennah ablaufende Wirkungsmechanismen von Bedeutung sind. Die klimaökologische Wirkung der Ausgleichsräume besteht in ihrem Beitrag zur Intensivierung der Ventilation und in der Verbesserung der Luftqualität sowohl in thermischer als auch lufthygienischer Hinsicht, wobei diese zum einen passiv zum anderen auch aktiv wirken.

- Aktive Wirkung:

Aufgrund topographisch bedingter Temperaturunterschiede entstehen thermisch induzierte Luftaustauschbewegungen sowohl in Form kleinräumiger lokaler als auch in Form vertikal und horizontal weiter reichender regionaler Luftströmungen, die ihre Existenz weitgehender Abkühlung (Kaltluftentstehung) des vegetationsbedeckten Freilandes verdanken. In reliefiertem Gelände entwickeln sich sich aus dem nächtlichen Kaltluftabfluß an Hängen und in Tälern Hangab- und Talabwinde. In relativ ebenen Teilbereichen entwickeln sich Lokalwinde als thermisch induzierte Ausgleichsströmungen zwischen Freiland und Bebauung (Flurwinde).

- Passive Wirkung:

Die im Freiland entstehende Kaltlust wird von der großräumigen Strömung in die Bebauung verfrachtet, wo sie zu verstärkter Abkühlung und Lusterneuerung beitragen kann.

In einigen Stadtklimaunterlagen (vgl. z.B. BAU-MÜLLER, HOFFMANN, REUTER 1993) wird zwar auf das Begriffspaar Ausgleichsraum-Wirkungsraum verzichtet, der eingeführte Begriff Freiflächen mit bedeutender Klimaaktivität = Klimaaktive Freiflächen in direktem Bezug zum Siedlungsraum ist letztendlich ein Synonym für Ausgleichsraum.

2.4. Idealstadt aus klimatisch-lufthygienischer Sicht

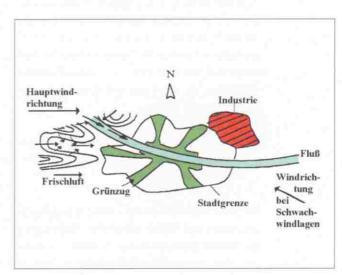
Eine aus stadtklimatischen Gesichtspunkten ideale Stadt hat OVERDIECK 1988 skizziert (vgl. Abbildung 2.1).

Sie weist radial angeordnete Grünzüge auf, die ein Zuströmen von Kalt- und Frischluft aus dem Umland bis ins Stadtzentrum sowohl in Hauptwindrichtung als auch bei autochthonen Wetterlagen, häufig mit Schwachwindlagen aus südöstlicher Richtung gekoppelt ermöglichen. Die Industrie ist im Nordosten angesiedelt und liegt somit nicht im Einflußbereich der Südostwinde, die meist bei austauscharmen Inversionswetterlagen auftreten.

Die meisten unserer Städte lassen heute traditionell gewachsene Grundstrukturen erkennen, so daß die aufgeführten Zielsetzungen in diesem Umfang kaum zu realisieren sind.

Der Forderung nach einer Minimierung bestehender bzw. einem Vermeiden zusätzlicher Belastungen kommt somit eine zentrale Rolle zu (KELLER 1994).

Abb. 2.1 Idealstadt aus klimatisch-lufthygienischer Sicht (Quelle: KELLER 1994)



3. Mögliche Methoden der Klimaanalyse

Derzeit lassen sich etwa 3 unterschiedliche Gruppen von Verfahren beschreiben:

- die "konventionelle" Methode mit einem temporären Meßnetz und Meßfahrten bei Strahlungswetterlagen,
- die Thermalbildauswertung,
- Modellrechnungen bei Vorgabe der (hochaufgelösten) Flächennutzung und Bebauung innerhalb des Stadtgebietes, Windkanaluntersuchungen

Zur Auswahl der geeignetsten Methode sollte zunächst das wissenschaftliche Ziel einer stadtklimatologischen Analyse beachtet werden. Im allgemeinen wird es in der Erfassung der Lufttemperaturverteilung im Stadtgebiet, im Nachweis lokaler Windsysteme und der Erfassung des thermischen Verhaltens der verschiedenen Oberflächen der Stadt (KUTTLER 1993) bestehen.

3.1 Die konventionelle oder klassische Methode

Die konventionelle Methode nutzt ein Netz von meteorologischen Meßstationen (mit elektrischen/ elektronischen Meßwertgebern und Datenspeichereinrichtungen), die über einen längeren Zeitraum kontinuierlich Meßdaten liefern. Durch Meßfahrten kann der Flächenbezug für Temperatur und

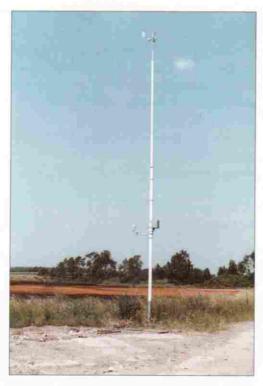


Abb. 3.1 Meßmast mit Datengebern und Data-Logger

Feuchte hergestellt werden. Da Meßfahrten bereits in mittelgroßen Städten mehrere Stunden dauern, müssen nachträglich die gewonnenen Meßwerte einer Trendkorrektur unterzogen werden. Zum Nachweis lokaler Windsysteme hilft der Einsatz von Schwebeballons und Markierungsstoffen (Tracer). Für den quantitativen Nachweis z.B. von Kaltluftströmen können solche Tracer verwendet werden, die als definierte Quellimpulse in die Atmosphäre induziert und im Zielgebiet mittels Gasprobennehmer nachgewiesen werden (KUTT-LER 1993). Gelegentlich problematisch kann für den Nutzer bzw. Auftraggeber dieser Methode der notwendige, längere Meßzeitraum bleiben, der ein

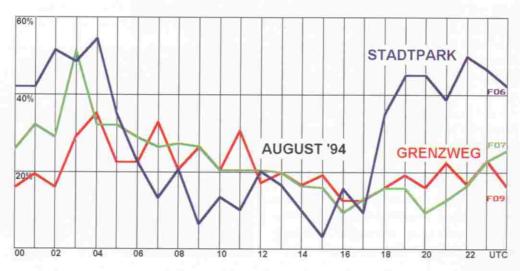


Abb. 3.

Jahr nicht unterschreiten sollte. Dieser Nachteil ist andererseits für die Aussage der Analyse und damit auch für die Umsetzbarkeit in der Stadtplanung sehr vorteilhaft, da in der Auswertung der Daten Zusammenhänge im Temperatur- und Strömungsgeschehen der Stadt nicht verborgen bleiben. Zur Absicherung von Aussagen kann auf mehrere Fallbeispiele zurückgegriffen werden oder mittlere Tagesgänge verschiedener Elemente erstellt werden (vgl. Abb. 3.2).

3.2 Infrarot-Thermographie

Die Thermalbildaufnahme gibt eine Übersicht über eine Temperaturverteilung im Stadtgebiet, die jedoch nicht mit der Verteilung der wirklichen Lufttemperaturen gleichgesetzt werden kann und darf. Sie liefert lediglich Oberflächenstrahlungstemperaturen, außerdem werden Flächen in unterschiedlichen Höhen (Dächer, Straßen) in eine Ebene projiziert. Bei der Infrarot-Thermographie wird von dem physikalischen Prinzip ausgegangen, daß alle Körper entsprechend ihrer Oberflächentemperatur Wärmestrahlung abgeben. Strahlung und Temperatur eines Körpers unmittelbar an seiner Oberfläche stehen in einem funktionalen Zusammenhang, ausgedrückt durch das Stefan-Boltzmann-Gesetz. Dieser Zusammenhang besteht, wenn die Oberflächen annähernd ihr volles Emissionsvermögen (Emissionswert = 1) erreichen.

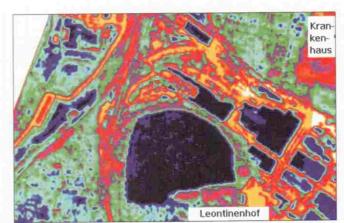
Dies ist für alle wichtigen Oberflächenelemente innerhalb des erfaßten Wellenlängenbereichs von 10,4 bis 12,5 Mikrometer gegeben, so daß der Einfluß der Atmosphäre auf das Emissionsverhalten vergleichsweise gering bleibt. Die Differenz zwischen der vom Flugzeug erfaßten Strahlungstemperatur und der berechneten Oberflächentemperatur ist somit in der Regel vernachlässigbar.

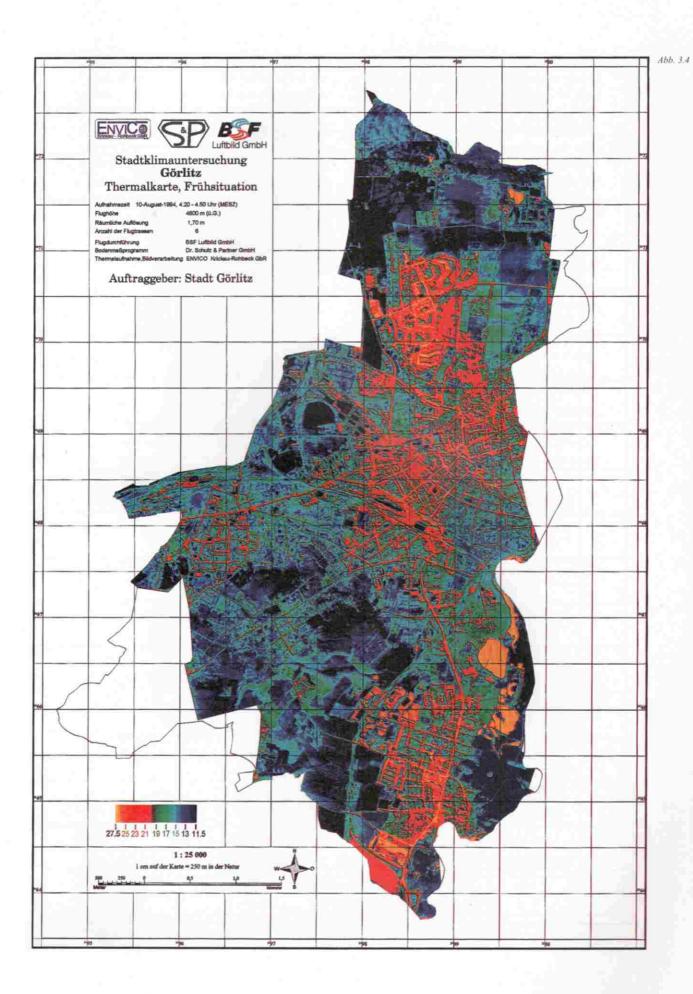
Nur Metalloberflächen, wie sie z.B. bei Flachdächern Verwendung finden, weichen mit Emissionswerten von 0,1 beträchtlich ab und müssen daher auch bei der Interpretation eine Sonderstellung einnehmen (vgl. Abb. 3.3. Die von den Flachdächern ausgehende Wärmestrahlung wird von der Atmosphäre wegen der geringen Emissionswerte wesentlich beeinflußt. Der Scanner erfaßt eine Strahlung, die er einer geringen Strahlungstemperatur gleichsetzt, obwohl in Wirklichkeit die Oberflächentemperatur der Dächer sicherlich höher war). Durch die Infrarot-Thermographie erhält man Hinweise auf siedlungsbedingte Unterschiede von Temperaturstrukturen (z.B. Wärmeinseln, Kaltluftsammelgebiete, Kaltluftabflußgebiete) in einem Stadtgebiet. Die Durchführung von mindestens 2 Überfliegungen (abends und morgens) ermöglicht es, Informationen über das Abkühlungsverhalten einzelner Gebiete zu erhalten. Es sind ferner Hinweise zu erhalten bezüglich klimatischer Vorranggebiete, örtlicher Klimatatsachen, wie z.B. lokale Luftaustauschprozesse, Kaltluftstau oder Konfliktsituationen zu bestehenden Nutzungen BAUMÜLLER/HOFFMANN/REUTER 1993 oder SENSTADTUM 1994).

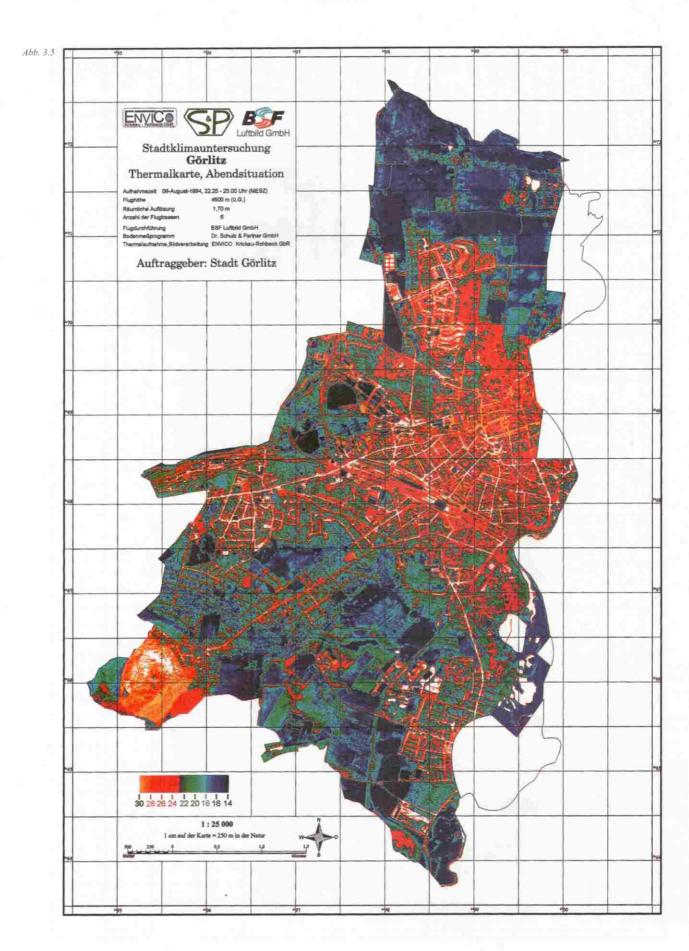
"Infrarotbilder" sind zunächst Graustufenbilder. Zur optischen Aufwertung werden diese Bilder meist "coloriert", den einzelnen Graustufen Farben zugeordnet. Im Detail sind diese Farbkeile manchmal unterschiedlich, im allgemeinen entspricht die gewählte Farbgebung wahrnehmungspsychologischen Gesichtspunkten (rot = warm, blau = kalt). Bei den dunklen Flächen handelt es sich (meist! vergleiche Aussagen zu Metalldächern) um Freiflächen mit niedriger Vegetation; sehr stark abkühlende Oberflächen sind schwarz dargestellt. Als warm fallen beispielsweise die Gewässer und Innerortsbereiche (oder kompakte Wohngebiete und Industrieanlagen) mit den jeweiligen Straßenstrukturen auf. Aussagen zum Strömungsgeschehen innerhalb der Stadt sind aus der Infrarot-Thermographie nur indirekt ableitbar und beschreiben nur die mögliche Ventilation in einem Einzelfall. Zur Häufigkeit lokaler Windsysteme oder zum Jahresgang dieser Windsysteme können keine Aussagen getroffen werden.

Einblicke in lokale Strömungen können durch die Überlagerung der (digitalisierten) Realflächennut- Abh. 3.3. zungs- und Thermalkarte gewonnen werden. Das dächer" zwischen Leon Oberflächentemperaturverhalten der verschiede- nenhof und Parsevalstr.

Kalte Werkhallen-







nen Realnutzungsflächen wird statistisch analysiert, abweichendes Temperaturverhalten einzelner Flächen kann als Einfluß äußerer "Störungen" (z.B. Luftaustausch) gewertet werden.

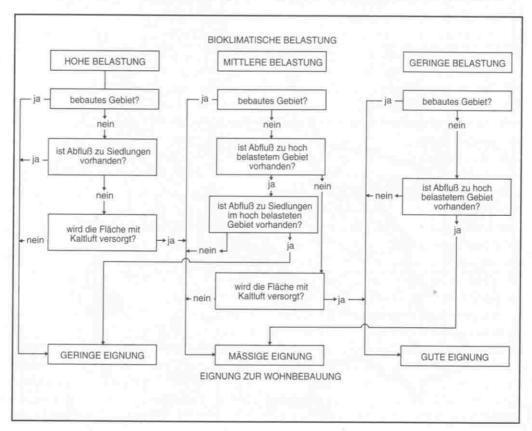
Als zusätzliches Mittel bei den anderen Methoden ist die Thermalbildaufnahme sehr wertvoll. Mit ihr können ähnlich reagierende Flächen zu Klimatopen zusammengefaßt werden und das Meßnetz entsprechend der Klimatopverteilung eingerichtet werden. Die bei Meßfahrten oder Meßgängen unerreichbar bleibenden Flächen können bewertet werden.

3.3 Modelluntersuchungen

Während zur Erfassung des Istzustandes vorhergehende Methoden vorteilhafter (genauer) sind, können Aussagen über den Planzustand bzw. die notwendige Beurteilung verschiedener Bauvarianten am günstigsten mittels Simulation durchgeführt werden. Diese sind durch mathematische Modellrechnungen oder Windkanaluntersuchungen möglich. Jedoch ist auch hier die Anpassung an die "Realität" durch Messungen vor Ort (zumindest an einer beschränkten Anzahl von Meßpunkten) angezeigt, um eine hinreichende Modellgüte zu gewährleisten. Somit bilden "konventionelle" Klimaanalysen eine gute Grundlage für evtl. später notwendige Modellierungen. Eine besondere Bedeutung haben bioklimatische Rechenmodelle, z.B. das "Klima-Michel-Modell" (für einen Durchschnittsmenschen – "Klima-Michel" – werden die Einflüsse unterschiedlicher meteorologischer Bedingungen und unterschiedlicher Landnutzungen auf den menschlichen Wärmehaushalt untersucht, vgl. z.B. JENDRITZKY 1991).

Eine weitere Form der "Modellanwendung" sind die von GERTH 1986 und 1987 exemplarisch entwickelten Klimaeignungskarten für Wohnen, Industrie/Verkehr und Erholung. Sie werden durch Rasterung des Untersuchungsraumes und Berechnung/Zuweisung bestimmter klimatischer Eigenschaften für jedes Rasterelement (z.B. Durchlüftung, bioklimatische Belastung, Kaltluftbewegungen in Strahlungsnächten) und einer mehrfachen Überlagerung dieser Ausgangs"karten" gewonnen. Die Algorithmen zur Bestimmung der Klimaeignung Wohnen in großmaßstäbigen Klimaeignungskarten zeigt die Abbildung 3.6.

Abb. 3.6 Algorithmen zur Bestimmung der Klimaeignung Wohnen in großmaßstäbigen Klimaeignungskarten nach GERTH 1986



Ausgewählte Meßergebnisse in Görlitz

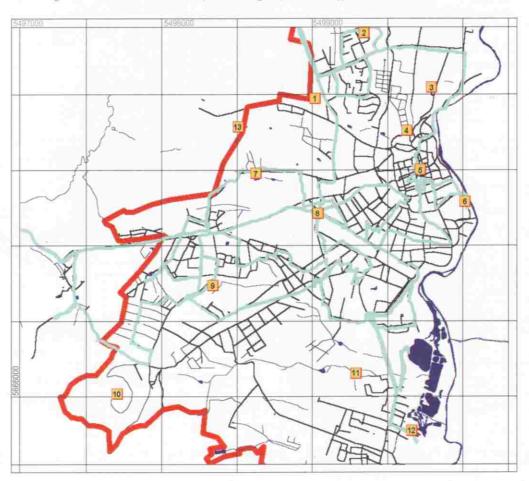
Tab. 4.1 Standortüber stationäre Meßstation und Höhe über NN

In der Erarbeitung der Klimaanalyse für Görlitz wurden zunächst die klassischen Mittel herangezogen: 12 meteorologische Stationen mit Temperatur- und Feuchtegeber in 2 m Höhe und Windgeber in 10 m Höhe aufgestellt in verschiedenen Bereichen der Stadt (einschließlich Landeskronengipfel) speicherten im 15 min-Abstand die aktuellen meteorologischen Werte in Datenloggern, die etwa im 3-Wochen-Abstand ausgelesen wurden. Mit den Messungen wurde im Dezember 1993 begonnen. Ergänzend zum Meßnetz wurden 5 Meßfahrten in Strahlungsnächten und mehrere aerologische Sondierungen durchgeführt.

Zusätzlich lieferten zwei Thermalbefliegungen (1. Nachthälfte und vor Sonnenaufgang) aussagekräftige Datengrundlagen.

| Index | Ort | Höhe |
|-------|-------------------------------|----------|
| F01 | Abendfrische | 224 m |
| F02 | Am Feierabendheim | 223 m |
| F03 | Neugasse | 215 m |
| F04 | Schanze | 207 m |
| F05 | Rathaus c (Überdach) | a. 240 m |
| F06 | Neiße/Stadtpark | 182 m |
| F07 | Helenenbad | 221 m |
| F08 | Brautwiesenplatz | 212 m |
| F09 | Tischlerei (Grenzweg) | 238 m |
| F10 | Landeskrone | 424 m |
| F11 | Feldmühlengraben | 198 m |
| F12 | Pegelmeßstelle (Weinhübel) | 183 m |

Abb. 4.1 Lage des Stationsnetzes und mittels GPS (Satellitennavigation) ermittelte Meßfahrtstrecke am 9. 8. 1994



4.1. Thermalbildaufnahmen

In den Abbildungen 3.4 und 3.5 wurde bereits das abendliche Gesamtbild gezeigt. Die Thermalbefliegung, Thermalbildbearbeitung und -interpretation wurde im Auftrag der Stadt Görlitz zusammen mit der BSF Luftbild GmbH (Berlin-Schönefeld) und der ENVICO Krikau-Rohbeck GbR (Berlin) durch die Dr. Schulz & Partner GmbH realisiert.

Flug- und Meßdaten:

Räumliche Auflösung: 1,70 m

Flughöhe: 4800 m ü. Grund

Anzahl der Flugtrassen: 6

Meßsystem: Scanner

Kanal: Thermisches Infrarot

Aufnahmezeit Abendszene: 09. 08. 94 22.25 – 23.00 MESZ Aufnahmezeit Frühszene: 10. 08. 94 04.20 – 04.50 MESZ

Die Überfliegung fand zum Zeitpunkt fortschreitender Abkühlung statt, die in Abhängigkeit vom Thermalverhalten der einzelnen Strukturen unterschiedlich weit erfolgt war. Der erste optische Eindruck der abendlichen Überfliegung wird von den kältesten Standorten im blau-schwarzen Bereich bestimmt. Dies sind u.a. die Ackerflächen nördlich des Leontinenhofs und südlich des Helenenbades. Ausschlaggebend für die genannten Flächen ist ihre Größe von mindestens mehreren Hektar Fläche sowie ihr hoher und schneller Energieumsatz im Bereich der Grenzschicht Boden/Luft, Es findet kaum oder keine Beeinflussung durch benachbarte Strukturen statt. Die trockenen Böden lassen nur eine geringe Wärmeleitung zu. Diese isolierende Wirkung zeigt sich am deutlichsten bei Sandböden mit besonders hohem Luftquantum.

Im Gegensatz dazu würden Moorstandorte ähnlich der wärmespeichernden Wirkung von Wasserflächen eine geringere Abkühlungsrate aufweisen. Je nach Feuchtigkeitsgehalt ordnen sich feuchtere Ackerböden oder Wiesen zwischen diesen beiden Extremen ein. Die Äcker nördlich Königshufen oder auch südwestlich von Weinhübel sind nur wenig feuchter und deshalb auch sehr kalt. Die Wiesen an der Neiße (östlich von Weinhübel) sind bereits einige Zehntel Grad wärmer, allerdings in der gesamten Temperaturspanne noch eindeutig kalt.



Abb. 4.2 Lage des Waldes am Klinikum bzgl. Struktur und Relief

In der Abstufung zum leicht Wärmeren hin folgen solche Flächen wie die "Intensivobstanlagen" (im Sinne der Karte Biotop- und Nutzungsstruktur des Landschaftsplanes) und Kleingärten.

Bei Kleingärten (und sehr locker bebauten Einfamilienhaussiedlungen) ist auch die jeweilige Lage zum bzw. im Stadtgebiet von Bedeutung. Offen strukturierte, vor allem durch Rasen und kleinkronige Bäume bestimmte Flächen können schneller auskühlen als Grünbereiche mit größerem Baumbestand. Von überwärmten Stadtstrukturen entferntere Kleingärten oder Siedlungsbereiche zeigen eine stärkere Abkühlung als bebauungsnahe (deutlich wird dies bei Kleingärten am Windmühlenweg/Nordring und in Klingewalde).

Grünbereiche mit größerem Anteil an Baumbestand zeigen demgegenüber ein thermisches Verhalten, wie es in den Waldgebieten (am markantesten: Wald an der Landeskrone), jedoch auch schon bei entsprechenden Parkanlagen im Stadtgebiet erkennbar ist: Ausstrahlungsverluste werden bei baumbestandenen Flächen durch die warme Umgebungsluft eingeschränkt (vgl. SENSTADT-UM 1994). Über Wiesenflächen wird relativ schnell eine der Oberfläche aufliegende Kaltluftschicht gebildet, deren Mächtigkeit im Laufe der Nacht zunimmt. Bei weitgehend geschlossenen baumbestandenen Flächen erfaßt die Thermalaufnahme dagegen nicht den Bestandsboden, sondern die Ausstrahlung im Bereich des Kronenraums. In den Abendstunden verhindert zunächst die im Kronen- und Stammbereich gespeicherte Wärme ein schnelles Abkühlen. Im weiteren Verlauf wird zusätzlich aus der Umgebung Warmluft zugeführt, an den Blattoberflächen abgekühlt, in den Stammraum abgeleitet und durch nachströmende Warmluft aus dem Stammraum, aber auch aus der Umgebung oberhalb des Kronenraums ergänzt, die wiederum den abstrahlenden Blattoberflächen Wärme zuführt.

Dieser Prozeß wird erst dann beendet, wenn sich vom Bestandsboden her eine Kaltluftschicht aufgebaut hat, die auch den Kronenbereich erfaßt. Allerdings verzögert sich diese Abkühlung in bewegtem Gelände zusätzlich durch Kaltluftabfluß bzw. Kaltluftsammlung in den Senken. Die hohen Bestandstemperaturen in Kuppenlagen lassen sich dadurch erklären, daß hier der Aufbau einer Kaltluftschicht vom Boden her durch den dem Gefälle folgenden Kaltluftabfluß verhindert wird.

Diese physikalischen Prozesse erklären, weshalb die Grünbereiche mit stärkerem Baumbestand und die (kleineren) Waldgebiete in Görlitz unterschiedliche Strahlungstemperaturen zeigen. Kaltluftabfluß bei der Landeskrone, ebenfalls beim Wäldchen am Klinikum (Abbildung 4.2), wobei hierbei noch der zusätzliche Einfluß der Bebauung zu beachten ist.

Kühler zeigen sich z.B. die Waldflächen bzw. exakter die Kronenräume der Wälder südlich des Steinbergs (an der südlichen Stadtgrenze) und am Wasserwerk. Allerdings sind sie von den Kaltluftflächen (Wiesen, Äcker) noch deutlich unterscheidbar. Die geringe Abkühlung im Bereich Stadtpark ist durch nicht ausreichende Größe und Wechselwirkung mit der umgebenden starken Bebauung erklärbar.

Der Temperaturverlauf in den bebauten Bereichen ist im wesentlichen eine Funktion der Bebauungsstrukturen. Ein hoher Anteil an wärmespeichernden Materialien wie Beton, Stein, Asphalt führt erwartungsgemäß in weiten Bereichen der Innenstadt und der "Plattensiedlungen" zu den höchsten Temperaturwerten nach den Feucht- und Gewässerstandorten. Sie können daher als eine flächenhafte Wärmequelle angesprochen werden, die den größten Einfluß auf die Ausbildung des sogenannten "Wärmeinsel-Effektes" ausübt (vgl. ebenfalls SENSTADTUM 1994). Aus diesen insgesamt überwärmten Bereichen heben sich die Straßen noch deutlicher ab. Dabei fallen Straßenzüge mit hoher und sehr hoher Strahlungstemperatur auf (gelb bzw. weiß). Dies hängt mit dem Ausbauzustand zusammen: Aspaltstraßen sind noch wenige Grad wärmer als Straßen mit Steinpflaster.

4.2. Flächenhafte Lufttemperaturdifferenzen

Die flächenhafte Darstellung einer Thermalaufnahme gestattet keine unmittelbaren Rückschlüsse auf die Lufttemperatur (in 2 m über Grund). Ein

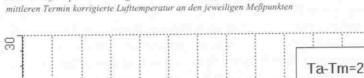
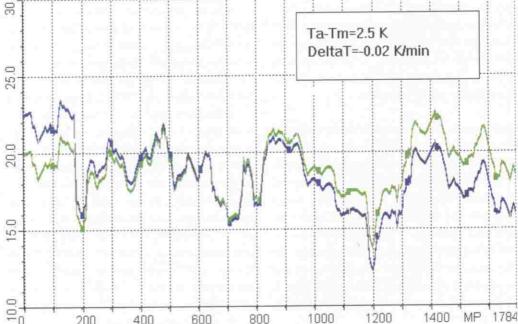


Abb. 4.3 Lufttemperaturmessungen während einer Meßfahrt (1784 Meßpunkte) und auf einen



stationäres Meßnetz mit seinem Vorteil der ununterbrochenen Messung meteorologischer Parameter kann wiederum nur relativ wenige Standorte punktförmig einschätzen. Das notwendige Bindeglied bilden Meßfahrten (oder auch Meßgänge).

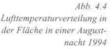
Die Abbildung 4.3 zeigt die von einem Meßfahrzeug festgestellte Lufttemperatur in 2 m Höhe im Verlaufe einer Meßfahrt am 03. 08. 1994 (20.31 – 00.42 MEZ) und eine entsprechende trendkorrigierte Temperatur.

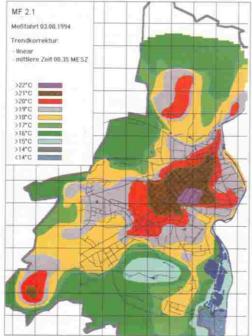
Es ändert sich innerhalb von 4 Stunden auch das allgemeine Temperaturniveau. Deshalb muß zum Beispiel eine Trendkorrektur ("Herausrechnen" des allgemeinen Temperaturrückgangs, vgl. z.B. KUTTLER 1993) erfolgen. Die trendkorrigierte Temperatur ist in den Abbildungen hellblau dargestellt.

Die Abbildung 4.4 zeigt die Lufttemperaturverteilung der Abbildung 4.3 in der Fläche bezogen auf einen mittleren Termin.

Auch in dieser Verteilung, die gegenüber dem Thermalbild allerdings "ausgeglichener" ist, werden die Überwärmungstendenzen in der Innenstadt und im Bereich Königshufen (Komplexwohnungsstandort) sichtbar, die bewaldete Landeskrone kühlt ebenfalls nur zögernd ab.

Die stärkere horizontale Ausgeglichenheit der Lufttemperaturdarstellung ist weniger Folge der notwendigen Interpolation der Meßfahrtdaten, sondern auch Ausdruck der größeren Homogenität der Lufttemperatur in 2 m über Grund im Vergleich zur Oberflächenstrahlungstemperatur, bedingt durch den turbulenten Luftaustausch.





4.3. Typischer Lufttemperaturgang in sommerlichen Strahlungsnächten

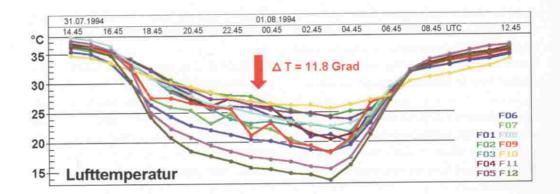
Am 31. 07./01. 08. 94 wurde mit südlicher Strömung Mittelmeer-Tropikluft nach Deutschland geführt, bei sonnigem Wetter traten in Görlitz Temperaturrekordwerte auf (das Tagesmaximum der Lufttemperatur war das höchste seit Aufzeichnungsbeginn 1951 am jetzigen Standort der Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes).

Ein zweiter "Rekord" war die maximale Temperaturdifferenz innerhalb des temporären Meßnetzes (ohne Berücksichtigung der Stationen Landeskrone und Rathausdach) während des Untersuchungszeitraumes von 11.8 Kelvin. Diese Differenz trat um 02 Uhr Ortszeit bzw. 00 UTC auf. Die Abbildung 4.5 zeigt das für verschiedene Räume/Flächen in Görlitz typische Abkühlungsverhalten in dieser Nacht.

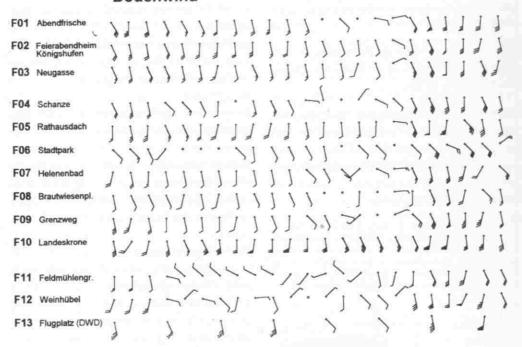
An einzelnen Stationen treten bei wechselnder (insgesamt schwacher) Strömung zusätzliche Temperaturschwankungen auf, die auf kleinräumige Luftaustauschprozesse hinweisen. Die in der Abbildung 4.5 dargestellte Entwicklung der relativen Feuchte zeigt den nahezu inversen Gang der relativen Feuchte zum Temperaturgang.

Dieses Abkühlungsmuster wiederholt sich in allen Strahlungsnächten (wolkenlos oder wolkenarm, geringe Windgeschwindigkeit oder Windstille). In den anderen Nächten (z.B. tiefdruckgesteuerte wolkenreiche Wetterlagen mit hoher Windgeschwindigkeit) bleiben die Temperaturdifferenzen gering. Die Größe der Temperaturdifferenzierung weist einen leichten Jahresgang auf, das ist ein Hinweis darauf, daß die durch die Baukörpermassierung verursachte Wärmeinsel bei starker Sonneneinstrahlung ein wesentlich bedeutenderer Faktor des Stadtklimas ist, als eine eventuelle Abwärmeinsel im Winter.

Weitere Ursachen sind aber auch die unterschiedlichen Luftmasseneigenschaften der Sommer- und Winterperiode. Trockenere sommerliche Luftmassen können sich (über flacher Vegetation) bei entsprechenden Bedingungen abkühlen, ohne Feuchtesättigung zu erreichen, die eine weitere Abkühlung blockiert. Unabhängig von diesen interessanten, jedoch hier unvollständig genannten physikalischen Zusammenhängen bleibt ein deutlicher sommerlicher Wärmeinsel-Effekt konstatierbar.



Bodenwind



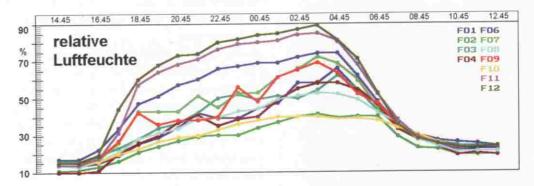


Abb. 4.5 Gang der meteorologischen Parameter Temperatur, relative Feuchte und Wind an 12 verschiedenen Meßpunkten in Görlitz am 31. 7./1. 8. 1994