

DEUTSCHER WETTERDIENST

AMTLICHES GUTACHTEN

über das Stadtklima von Potsdam

Teil II: Untersuchungen zum Lokalklima

mit Empfehlungen für Stadtentwicklungsplanungen



DWD

WETTERAMT POTSDAM

DEUTSCHER WETTERDIENST

-Wetteramt Potsdam-

AMTLICHES GUTACHTEN

über das Stadtklima von

Potsdam

- Teil II: Untersuchungen zum Lokalklima mit
Empfehlungen für Stadtentwicklungsplanungen -

Auftraggeber: Magistrat der Stadt Potsdam

Anzahl der Seiten (gesamt): 88

Anzahl der Tabellen : 4

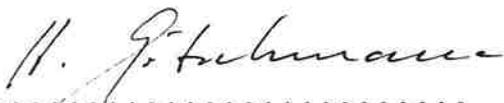
Anzahl der Abbildungen : 22

Anzahl der Bilder : 8

wissenschaftliche Bearbeitung: Dipl.-Met. U. Behrens
Wetteramt Potsdam

Dipl.-Met. W.-P. Gerth
Zentralamt Offenbach/M.

Potsdam, den 30.06.1993



.....
Dipl.-Met. H. Götschmann
Wetteramtsleiter



Dieses Gutachten ist urheberrechtlich geschützt; es darf Dritten, ausgenommen für die Vertretung eigener, sich aus dem Zweck des Gutachtens ergebender Interessen, in vielfältiger Form auch auszugsweise nur mit Genehmigung des Deutschen Wetterdienstes zugänglich gemacht werden.

EDV-Kennung: 531-1500-14-0693

I n h a l t s v e r z e i c h n i s

	Seite	
0	Vorbemerkung	
1	Grundlagen zum Verständnis lokal- klimatischer Besonderheiten	1
1.1	Allgemeine Erläuterungen	1
1.2	Lokalklimatisch bedeutsame Flächen	1
1.3	Windgeschwindigkeit	3
1.4	Atmosphärische Schichtung	4
1.5	Bioklimatische Aspekte	5
2	Klimamodelluntersuchungen	7
2.1	Einführung	7
2.2	Digitale topographische Daten	7
2.3	Methoden zur Erstellung groß- maßstäbiger Klimakarten	9
2.3.1	Das Kaltluftabflußmodell (KLAM)	9
2.3.2	Das Klima-Michel-Modell	10
2.3.3	Statistische Methoden	10
2.3.4	Interpretationshinweise	12
2.4	Ergebnisse	13
2.4.1	Zahl der Tage mit "Minimumtemperatur- inversionen"	13
2.4.2	Mittlere jährliche Windgeschwindigkeit	14
2.4.3	Bodennahe Durchlüftungsverhältnisse	16
2.4.4	Klimaeignung Erholung	18
2.4.5	Freiflächensicherung	22
2.5	Erläuterungen der Ergebnisse	25
2.5.1	Lokalklimatisch bedeutsame Flächen	25
2.5.2	Inversionshäufigkeit und Jahresmittel Wind- geschwindigkeit	26
2.5.3	Bodennahe Durchlüftungsverhältnisse	27
2.5.4	Freiflächensicherung	28
2.5.5	Bioklimatische Verhältnisse	30
2.5.6	Nebelstruktur und Sonnenscheindauer	32
2.5.7	Erholungseignung	33

	Seite
3	Datengewinnung 35
3.1	Meßeinsatz vom 24.-26.5.93 35
3.1.1	Programm des Meßeinsatzes 35
3.1.2	Wetterlage 35
3.1.3	Stationäre Messungen 36
3.1.4	Profilmfahrten 37
3.1.5	Vertikalsondierungen 39
3.1.6	Diskussion der Ergebnisse 41
3.2	Daten aus dem meteorologischen Meßnetz 42
3.2.1	Meßwerte der Wetterstation Potsdam vom 24.-26.5.93 42
3.2.2	Vergleich vieljähriger Meßreihen der Stationen Potsdam (Säkularstation) und Schlaatz 43
4	Zusammenfassung der Ergebnisse 45
5	Empfehlungen für die zukünftige Stadt- entwicklungsplanung 48
5.1	Allgemeine Planungshinweise 48
5.2	Empfehlungen 50
6	Empfehlungen für weiterführende meteorolo- gische Untersuchungen 52
7	Literatur 53
8	Tabellen, Abbildungen, Bilder 55

0 Vorbemerkung

Das Gutachten über das Stadtklima von Potsdam wurde im Auftrag des Magistrates der Stadt Potsdam erstellt. Vereinbarungsgemäß erfolgte die Bearbeitung in zwei Teilen.

Teil I beinhaltet eine allgemeine Beschreibung der im Raum Potsdam vorherrschenden großklimatischen Verhältnisse. Die Datenbasis dazu lieferte die 100jährige Beobachtungsreihe (1893/1992) der Station Potsdam.

Dieser Teil des Gutachtens wurde als Vorablieferung bereits am 15.02.1993 an den Magistrat übergeben.

Teil II des Gutachtens enthält Ergebnisse spezieller lokalklimatischer Untersuchungen im Stadt- und im Stadtrandgebiet von Potsdam.

Auf der Basis von synthetischen Klimakarten, unterstützt durch Messungen der räumlichen Feinstrukturen ausgewählter horizontaler und vertikaler Profile wird eine flächendeckende Klimaanalyse vorgenommen. Die Bewertung der relevanten Eigenschaften des Klimas und des Bioklimas im Stadtgebiet liefert eine Grundlage zur Einbeziehung der klimatischen Gegebenheiten in den städtebaulichen Planungsprozeß.

Das vorliegende Gutachten des Deutschen Wetterdienstes wurde in Zusammenarbeit zwischen den Sachgebieten Allgemeine Klimaberatung/Umweltmeteorologie und Medizinmeteorologie (insbesondere Punkt 2.5.5) des Wetteramtes Potsdam, der Mobilen Meßeinheit des Wetteramtes Essen und der Abteilung Klimatologie im Zentralamt Offenbach erstellt.

Koordinierung:

Dipl.-Met. U. Behrens
(Wetteramt Potsdam)

Redaktionelle Bearbeitung:

Dipl.-Met. B. Petzold
(Wetteramt Potsdam)

1 Grundlagen zum Verständnis lokalklimatischer Besonderheiten

1.1 Allgemeine Erläuterungen

Fragen des Regional- und Stadtklimas mit den meteorologischen Besonderheiten einer durch Bauwerke geprägten Erdoberfläche gehören dem sogenannten Mesoscale an, dessen charakteristische horizontale Erstreckung bei 10 bis 200 km liegt. Beim Übergang zum einzelnen Stadtteil mit dem Geltungsbereich eines Bebauungsplanes oder bei der Begutachtung eines Standortes befindet man sich im "lokalen Scale", dessen typische Maßstabslängen bei 100 m bis höchstens 10 km liegen.

Bei den in unserem Raum häufigen Westwetterlagen mit allgemein windiger und unbeständiger Witterung bestimmen die Eigenschaften der herangeführten Luftmasse das Wetter; lokale Besonderheiten können nur räumlich begrenzt hervortreten.

1.2 Lokalklimatisch bedeutsame Flächen

Das Lokalklima wird wesentlich durch die Topographie beeinflusst. Dazu gehören insbesondere das Relief, die Vegetation, Gewässer und Bebauung.

In wolkenarmen, windschwachen Nächten (Strahlungsnächten) kühlt sich aufgrund der langwelligen Ausstrahlung der Erdoberfläche die bodennahe Luftschicht ab, wobei die Menge der produzierten Kaltluft (neben Jahreszeit, Windgeschwindigkeit und Bewölkungsgrad) auch in hohem Maße von der Bedeckung (Bewuchs) des Erdbodens abhängig ist.

Während in Muldenlagen diese bodennahe Kaltluftschicht an Ort und Stelle verbleibt und einen Kaltluftsee bildet, entwickelt sich an unbewaldeten und unbebauten Hängen ein mehr oder weniger starker Kaltluftfluß, dessen Fließgeschwindigkeit in erster Linie von der Hangneigung und der Bodenrauhigkeit abhängt. Schwach ausgeprägte Kaltluftflüsse von kurzer Andauer können bereits bei Hangneigungen ab 2 Grad beobachtet werden. Bei größeren Hangneigungen und guten Abflußbedingungen im Tal treten stärkere Kaltluftabflüsse auf, die die ganze Nacht hindurch anhalten können.

Kleinere Hindernisse im Talverlauf werden von der abfließenden Kaltluft ohne nennenswerte Staubbildung überwunden. Bei größeren Hindernissen (Wald- oder Siedlungsränder) stellt sich luvseitig ein Kaltluftstau ein, in dem - lokal eng begrenzt - deutlich niedrigere Temperaturen auftreten können als in der Umgebung. In Tälern oder Beckenlandschaften kann sich die von den Hängen abfließende Kaltluft ansammeln. Je nach Kaltluftproduktion und Jahreszeit (Dauer der Nacht) füllen sich zuerst die tieferliegenden Geländeteile mit Kaltluft auf. Im Laufe der Nacht wächst

die Obergrenze der Kaltluftschicht weiter an und erreicht morgens ihre größte vertikale Mächtigkeit. Kaltluftsammlgebiete sind auch bezüglich ihrer horizontalen Ausdehnung recht groß und können ganze Regionen erfassen. Im Gegensatz zu den o.g. lokalen Phänomenen wie Kaltluftseen/Kaltluftstaus, in denen absolute Stagnation herrscht, kann in einem Kaltluftsammlgebiet bei ausreichender Neigung der Talsohle ein Kaltluftabfluß in Form eines Talabwindes stattfinden (SCHIRMER, 1988).

Die hier geschilderten lokalklimatischen Phänomene sind in hohem Maße von menschlichen Aktivitäten abhängig bzw. beeinflussbar: Neu geplante Siedlungsgebiete können u.U. einen Kaltluftstau verursachen, dessen räumliche Lage ganz von den jeweiligen topographischen Gegebenheiten abhängig ist. Durch Abholzungen können eventuell bestehende Kaltluftstaus aufgelöst und die Durchlüftungsverhältnisse verbessert werden. Ausgeprägte Kaltluftflüsse können durch Bebauung oder Aufforstung zerstört werden. Die Palette der hier geschilderten Beeinflussungen des lokalen Klimas ist beliebig erweiterbar.

Für die Planung sind diese lokalklimatischen Phänomene von besonderem Interesse: In Kaltluftsammlgebieten sind die Austauschverhältnisse stark reduziert. Schadgasemissionen können so nicht ausreichend verdünnt werden und zu hohen Konzentrationen um die Quelle beitragen. Insbesondere im Winterhalbjahr reicht die Sonneneinstrahlungszeit aufgrund der kurzen Tageslänge oft nicht aus, um Kaltluftsammlgebiete völlig aufzulösen, so daß eine hohe Immissionsbelastung - auch über einen längeren Zeitraum hin - auftreten kann.

Von planerischem Interesse ist auch der Bereich knapp oberhalb des Kaltluftsammlgebietes (die sogenannte nebelarme, warme Hangzone). Hier herrschen in der Regel bessere Durchlüftungsverhältnisse und gute bioklimatische Bedingungen vor, was diese Region auch für die Planung von Freizeit- und Erholungseinrichtungen interessant macht.

In Gebieten mit stagnierender Kaltluft (Stau/See) ist die Frost- und Nebelhäufigkeit - hauptsächlich in den Übergangsjahreszeiten Herbst und Frühjahr - größer als in den benachbarten, kaltluftfreien Gebieten, was insbesondere für die Landwirtschaft (frostempfindliche Kulturen wie Qualitätsobst und Weinbau) aber auch den Straßenverkehr (Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit durch erhöhte Nebel-/Glatteisgefährdung) von Bedeutung ist. Aufgrund der absoluten Luftstagnation findet in diesen Gebieten eine verstärkte Anreicherung der Luft mit möglichen Schadstoffen statt. Besonders bodennahen Quellen (Verkehrs-, Hausbrandemissionen) kommt hier eine verstärkte Bedeutung zu.

Kaltluftflüsse haben bei der Bewertung eines Raumes nach bioklimatischen Gesichtspunkten eine besondere Bedeutung, da sie an Tagen mit Wärmebelastung einen Abkühlungseffekt hervorrufen. Da diese Luft hauptsächlich über Freiflächen entsteht, ist sie meist gering belastet und kann deshalb als Frischluft bezeichnet

werden. Andererseits können jedoch auch Emissionen (z.B. Geruchsemissionen aus Mülldeponien oder bodennahe Kfz-Emissionen) durch Kaltluftflüsse transportiert werden. Im Einzelfall ist daher immer zu prüfen, welchem Entstehungsgebiet diese Luft zugeordnet ist.

Ähnlich zu bewerten wie die Kaltluftflüsse sind auch Talabwinde. Diesen ist jedoch ein wesentlich größerer Wirkungsraum (ganzes Talsystem) zuzuordnen. Ob Talabwinde bis zum Boden reichen können, oder erst einige Dekameter über dem Erdboden auftreten, hängt ganz von den lokalklimatischen Gegebenheiten und der Landnutzung ab. Dicht bewaldete Gebiete werden vom Talabwind überströmt; das gleiche gilt für Kaltluftstaugebiete. In beiden Fällen reicht die Wirkung des Talabwindes nicht bis zum Erdboden. Günstige Bebauungsstrukturen vorausgesetzt (talparallele Gebäudeausrichtung, breite Straßen, u.ä.) kann der Talabwind auch in dichtere Blockbebauung eindringen und zur besseren Durchlüftung beitragen.

1.3 Windgeschwindigkeit

In Höhen von etwa 1000 m und mehr über Grund weht der Wind nahezu isobarenparallel. Seine Geschwindigkeit ist dort nur abhängig von den horizontalen Luftdruckunterschieden. Man spricht in diesem Falle auch vom geostrophischen Wind. Mit Annäherung an den Erdboden nimmt der Einfluß der Reibungskraft immer mehr zu, so daß eine Verringerung der Windgeschwindigkeit eintritt. Direkt an der Erdoberfläche ist die Windgeschwindigkeit null. Umgekehrt betrachtet nimmt die Windgeschwindigkeit mit der Höhe zu - und zwar recht stark innerhalb der ersten 100 m - bis sie sich in etwa 1000 m über Grund dem geostrophischen Wind angleicht. Neben einer Geschwindigkeitszunahme mit der Höhe ist auf der Nordhalbkugel der Erde eine Rechtsdrehung des Windes zu verzeichnen, so daß z.B. ein bodennaher Südwind in der Höhe mit Südwestwind verbunden ist.

In Bodennähe findet eine zusätzliche Modifikation des Windfeldes durch unterschiedliche orographische Verhältnisse und durch verschiedene Bodennutzungsformen statt. In flachem, ebenen Gelände und über größeren Freiflächen weht der Wind nahezu ungestört. Die Windgeschwindigkeiten sind relativ hoch, da größere Geländehindernisse oder störende Bebauung bzw. Bewaldung nicht vorhanden sind. Freie Kuppenlagen bewirken ebenfalls eine Erhöhung der Windgeschwindigkeit, während in engen Tallagen eine Verringerung der mittleren Windgeschwindigkeit auftritt. In reliefreichem Gelände gibt es demnach eine Reihe von Faktoren, die zu einer Modifikation des Windfeldes führen.

Der Einfluß der Bodennutzung (Wald, Städte) auf das bodennahe Windfeld wirkt sich im Mittel geschwindigkeitsmindernd aus, wenn auch im Einzelfall durch Düsen- oder Eckeneffekte (in Straßenschluchten oder Waldschneisen) die Windgeschwindigkeit durchaus erhöht werden kann.

Die Windgeschwindigkeit ist ein klimatologisches Element, das im Hinblick auf die bioklimatischen Verhältnisse eines Raumes (siehe auch Abschnitt 1.5) für die Planung von großem Interesse ist. Auch im Bereich der Lufthygiene spielt die Windgeschwindigkeit eine große Rolle, da sie ein Maß für die Verdünnung und den Abtransport von Luftbeimengungen darstellt. Insbesondere Schwachwindsituationen oder Windstillen über einen längeren Zeitraum hinweg können (bei entsprechenden Schadgasemissionen) zu einer erhöhten Immissionsbelastung in Bodennähe führen.

1.4 Atmosphärische Schichtung

Die atmosphärische Schichtung ist neben der Windgeschwindigkeit bzw. -richtung eine wesentliche Größe bei der Ausbreitung von Schadstoffen und daher bei lufthygienischen Fragestellungen von großem Interesse.

Meteorologisch gesehen ist sie ein Maß für den Stabilitätszustand der Atmosphäre und wird durch die Änderung der Temperatur mit der Höhe (vertikaler Temperaturgradient) beschrieben.

Bei gut durchmischter Atmosphäre (hohe Windgeschwindigkeit und Turbulenz) stellt sich eine Temperaturabnahme von 1K/100 m ein (indifferente oder neutrale Schichtung). Bei starker Sonneneinstrahlung kann die Temperatur in Bodennähe oft um mehr als 1K/100 m abnehmen (labile Schichtung). Stabile Schichtung tritt auf bei einer vertikalen Temperaturabnahme von weniger als 1K/100 m. Bei extrem stabilen Schichtungen nimmt die Temperatur mit der Höhe zu; in diesem Falle spricht man von einer Inversion.

Das Auftreten und die Andauer von Inversionen ist abhängig von meteorologischen Faktoren (Großwetterlagen), geographischen bzw. topographischen Gegebenheiten (Tal-, Mulden-, Beckenlagen) sowie von der Zeit (Jahres-/Tageszeit). Inversionen lassen sich einerseits unterscheiden nach ihrer Entstehung in:

- Strahlungsinversion (Ausstrahlung und Abkühlung an bestimmten Oberflächen (z.B. Erdboden, Nebel- oder Wolkenobergrenze), während die darüberliegende Luftschicht wärmer ist); Strahlungsinversionen bilden sich überwiegend nachts und erreichen am Morgen ihre größte vertikale Mächtigkeit.
- Absinkinversion (großräumige Absinkvorgänge und damit verbundener adiabatischer Erwärmung vor allem in Hochdruckgebieten); Absinkinversionen sind großwetterlagenabhängig und weisen keinen typischen Tages- oder Jahresgang auf; sie befinden sich meist in Höhenlagen zwischen 800 m und 1200 m über Grund.

Andererseits findet eine Unterscheidung nach ihrer Erscheinungsform statt:

- Bodeninversion (meist Strahlungsinversion, deren Untergrenze der Erdboden bildet); Bodeninversionen sind in den Tallagen des Mittelgebirgsbereiches besonders häufig.
- Abgehobene Inversion (am Boden aufliegende Inversionen werden durch Erwärmung aufgelöst, sind jedoch in der Höhe noch vorhanden).
- Höheninversion (kann in allen Höhenlagen auftreten und entsteht teils als Absinkinversion, teils als abgehobene Inversion).

Der Einfluß der atmosphärischen Schichtung auf die Schadgaskonzentration in Bodennähe ist vielfältig. Bei labilen und indifferenten Schichtungsverhältnissen findet aufgrund der erhöhten Konvektion meist eine rasche Verdünnung der in die Atmosphäre abgegebenen Luftbeimengungen statt. Mit zunehmender Stabilisierung verringert sich dieser Effekt. Bei Inversionswetterlagen schließlich findet kein nennenswerter vertikaler Austausch mehr statt, so daß sich Luftverunreinigungen innerhalb der Inversionsschicht anreichern können.

Insbesondere in Stadtgebieten beobachtet man oft abgehobene Inversionen. Da die Inversionsuntergrenze in diesem Falle wie ein Deckel wirkt, können sich Schadstoffe lediglich in der schmalen Mischungsschicht zwischen Erdboden und Inversion ausbreiten. Im Falle einer längeren Andauer ist - insbesondere in industriellen Ballungsgebieten - die Gefahr zur Ausbildung einer Smogsituation gegeben.

1.5 Bioklimatische Aspekte

Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit des Menschen werden von den meteorologischen Umweltbedingungen in hohem Maße beeinflusst. Da der menschliche Wärmehaushalt davon sehr stark betroffen ist, können über Bioklimakarten Aussagen über die Gunst oder Ungunst des Bioklimas von Orten und Landschaften gemacht werden. Die Anpassung des Menschen an seine Umgebung erfolgt im wesentlichen über das Thermoregulationssystem, welches die Wärmeabgabe über Veränderungen der Durchblutung der Körperschale mit verstärktem Schwitzen bei Wärme bzw. einer Erhöhung des Energieumsatzes z.B. durch Zittern bei Kälte steuert. Die Wärmeregulation belastet also Stoffwechsel, Herz/Kreislaufsystem und Atmung.

Die meteorologischen Bedingungen für das Auftreten von "Wärmebelastung" oder "Kältestress" ergeben sich aus der gleichzeitigen Wirkung von Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwelliger Strahlung (direkte und diffuse

Sonneneinstrahlung, kurzwellige Reflexstrahlung, Wärmestrahlung von Atmosphäre und Oberflächen der Umgebung). Wärmebelastung tritt hauptsächlich bei sommerlichen, strahlungsreichen Hochdruckwetterlagen mit hoher Lufttemperatur, hoher Luftfeuchtigkeit und geringer Luftbewegung auf; Kältereize sind mit niedriger Lufttemperatur, erhöhter Windgeschwindigkeit und meist mit starker Bewölkung verknüpft.

Regional betrachtet spielt die geographische Lage (geographische Länge und Breite) sowie die Höhe über dem Meeresspiegel eine große Rolle bei der Bewertung eines Raumes nach bioklimatischen Gesichtspunkten. Neben diesen großräumigen Abhängigkeiten ergeben sich jedoch auch kleinräumige Modifikationen des Bioklimas, die von Geländeform (Tal-/Kuppenlage) und Landnutzung (Wald-/Stadtgebiete) geprägt werden (JENDRITZKY, 1979 und 1987).

Die bioklimatischen Verhältnisse sind für eine Reihe von Planungsaspekten und anderen Anwendungsmöglichkeiten von großer Wichtigkeit:

- zur Standortplanung von Sanatorien, Erholungseinrichtungen und Naherholungsgebieten gemäß den bioklimatischen Anforderungen
- zur Wohnsitzplanung unter Berücksichtigung individueller Präferenzen
- zur Auswahl eines möglichen Kurortes durch den Hausarzt entsprechend Befindlichkeit und gewohnten Bedingungen des Patienten sowie der Jahreszeit
- als Vorabinformationen im Rahmen der Anerkennung von Kurorten.

2 Klimamodelluntersuchungen

2.1 Einführung

Das Klima eines Ortes wird durch den mittleren Zustand einer Vielzahl von Klimaelementen bzw. klimatischen Phänomenen beschrieben. Für die Planung ist jedoch ein Klimaelement - für sich allein betrachtet - wenig aussagefähig. Aus diesem Grunde werden für einen bestimmten Planungsbereich verschiedene relevante Klimagrößen zu synthetischen "Klimaeignungskarten" verarbeitet (GERTH, 1986 und 1987), die es dem Planer erleichtern, klimatische Gegebenheiten in die Planung mit einzubeziehen.

Die Klimamodelluntersuchungen werden in zwei Teilen dargelegt:

Der erste Teil befaßt sich mit den verwendeten Methoden, um großmaßstäbige Verteilungen von Klimaelementen zu erhalten. Dieser Abschnitt enthält eine Beschreibung der verwendeten mathematisch/numerischen Modelle sowie der statistischen Verfahren, die der Kartenherstellung zugrunde liegen. Da großmaßstäbige Karten zur flächengenauen Betrachtungsweise verführen, klimatische Phänomene oder Größen sich jedoch selten in feste Grenzen einordnen lassen, werden in diesem Abschnitt auch Hinweise zur Problematik des Umganges mit Klimakarten gegeben und Interpretationsmöglichkeiten aufgezeigt.

Im zweiten Teil werden die Ergebnisse der Klimauntersuchung erläutert.

2.2 Digitale topographische Daten

Zur Durchführung von Modellrechnungen, der Erstellung von Klima- und Klimaeignungskarten sowie deren graphischer Darstellung sind hochauflösende digitale topographische Daten nötig. Das bedeutet, daß das zu untersuchende Gebiet in eine Vielzahl von kleinen Rasterpunkten zerlegt werden muß, wobei für jeden Rasterpunkt eine Information über die mittlere Geländehöhe sowie die Erdoberflächenbedeckung (Bewuchs, Bebauung) benötigt wird.

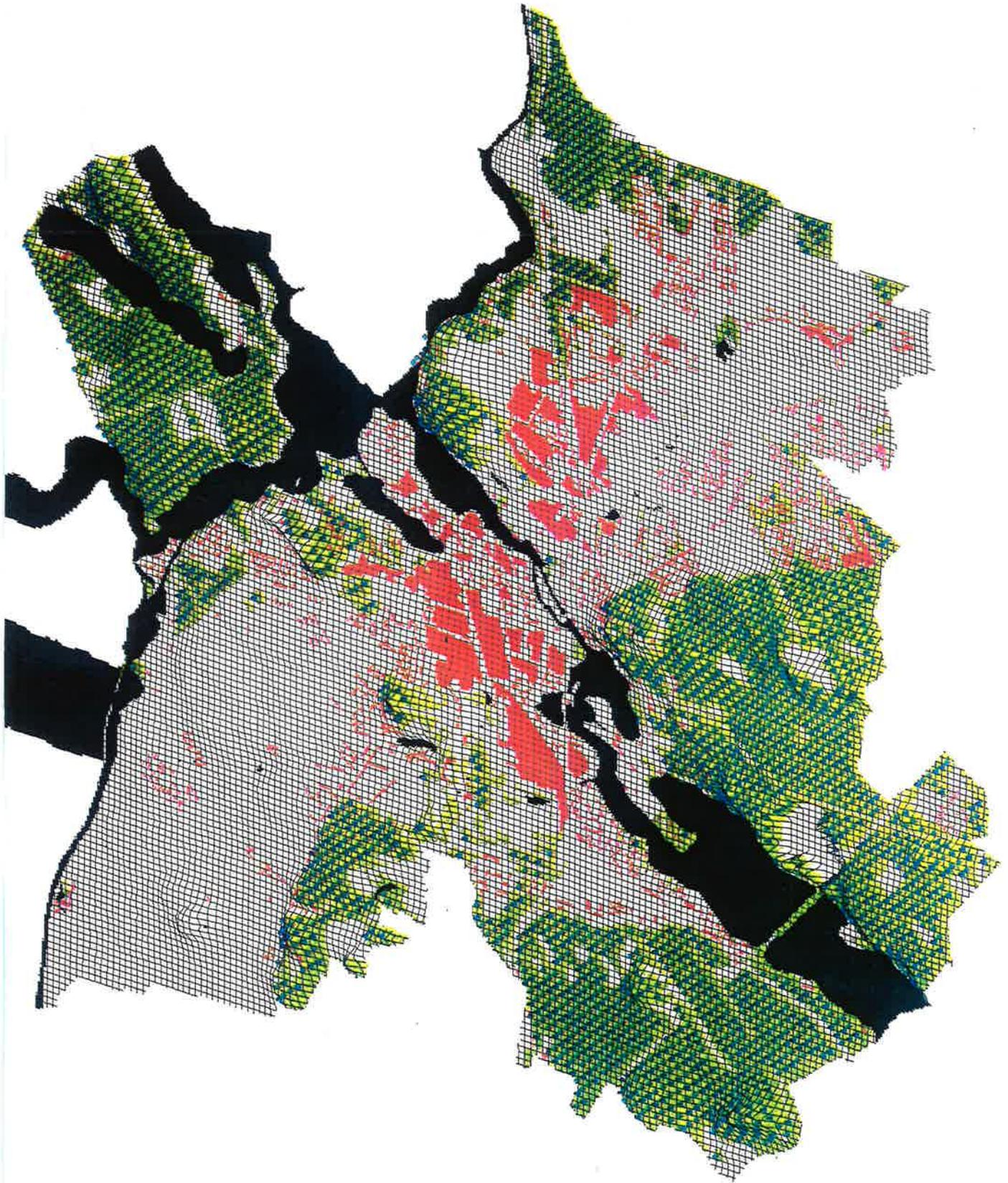
Sowohl die Höhenlinien, als auch die Landnutzungsklassen, wurden aus den zur Zeit verfügbaren topographischen Karten der Ausgabe von 1978 bzw. 1986 (Maßstab 1 : 25 000) digitalisiert und mit Hilfe eines Rechnerprogrammes auf ein 25 m-Raster umgerechnet. Das Untersuchungsgebiet umfaßt etwa 100 km² und reicht von Rechtswert 4565 bis Rechtswert 4580 und von Hochwert 5801 bis Hochwert 5815 des Gauß/Krüger-Koordinatensystems.

Bei den Landnutzungsklassen wurde unterschieden in dichte und lockere Bebauung, Wälder, überwiegend baumbestandene Freiflächen (Parks, Obstgärten, Baumschulen etc.), Gewässer und Verkehrsflächen (Straßen, Gleisanlagen).

Beide Datensätze (Höhe und Landnutzung) wurden anschließend daraufhin überarbeitet, daß zum Beispiel Täler ein Gefälle zum nächsttieferliegenden Talsystem aufweisen, Flüsse auch tatsächlich im Talgrund verlaufen oder größere Seenflächen eine einheitliche Höhe besitzen. Wenn nötig, wurden die Daten an einigen Stellen korrigiert.

In der Abbildung 1 sind die digitalen Höhenwerte und die Landnutzungsklassen "Siedlung", "Wald" und "Gewässer" in dreidimensionaler Form dargestellt.

Abbildung 1 : Höhe und Landnutzung im Raum Potsdam



LEGENDE
STÜCKLAND WALS
WASSER

2.3 Methoden zur Erstellung großmaßstäbiger Klimakarten

2.3.1 Das Kaltluftabflußmodell (KLAM)

Mit Hilfe des Kaltluftabflußmodelles lassen sich die in Abschnitt 1.2 beschriebenen lokalklimatischen Phänomene simulieren. Hierzu werden keinerlei meteorologische Messungen benötigt, sondern nur die in Abschnitt 2.2 erwähnten Höhen- bzw. Landnutzungswerte der digitalen topographischen Daten. Das Modellergebnis ist als ein Mittel über verschiedene Strahlungsnächte aufzufassen (GERTH, 1986).

Den hier dargestellten Ergebnissen liegen folgende Annahmen zugrunde: Die mittlere Höhe von Gebäuden soll 20 m betragen; für Waldgebiete wird eine mittlere Baumhöhe von 25 m angenommen. Die Höhe des Kaltluftsammlgebietes wird für sommerliche Verhältnisse (die Dauer der Nacht soll 9 Stunden betragen) berechnet. Unter dieser Voraussetzung ergibt sich für die Obergrenze des Kaltluftsammlgebietes eine Höhe von 144 m über NN.

Mit den o.a. Annahmen werden die Modellrechnungen durchgeführt. Bei der Kartendarstellung der Modellergebnisse ist die geographische Zuordnung in Form von Rechts-/Hochwerten des Gauß-Krüger-Koordinatensystems am Rand einer Karte eingezeichnet (zusammen mit einem Gitternetz).

Die wesentlichen Oberflächenbedeckungswerte sind als Hintergrundinformation ebenfalls eingezeichnet. Siedlungsgebiete sind gemäß der Legende rot, Waldgebiete grün und Gewässer schwarz ausgewiesen. Weiterhin sind in jeder Karte die Isolinien der Höhe ü. NN (Isohypsen) dargestellt. Der Isolinienabstand beträgt jeweils 5 m, beginnend mit der 35 m-Linie.

Diesen Hintergrundinformationen ist der klimatologische Teil der Karten überlagert: Flächig hellblau werden die Kaltluftsammlgebiete dargestellt. Fällt eine Siedlung oder ein Waldgebiet in das Kaltluftsammlgebiet, so findet eine Farbüberlagerung statt (Siedlungen im Kaltluftsammlgebiet sind violett, Wälder dunkelgrün). Kaltluftstaugebiete bzw. Kaltluftseen (stagnierende Kaltluft) erkennt man an der dunkelblauen Farbe. Kaltluftflüsse, unterschieden nach Richtung und Intensität, sind als kleine schwarze Pfeile gekennzeichnet, wobei die Pfeillängen ein Maß für die zu erwartende Intensität darstellen (kleiner Pfeil = schwache, sporadische Kaltluftabflüsse von kurzer Dauer; großer Pfeil = starker Kaltluftabfluß, der die ganze Nacht hindurch anhalten kann). Talabwinde schließlich sind als sehr dicke schwarze Pfeile dargestellt.

2.3.2 Das Klima-Michel-Modell

Das Klima-Michel-Modell ist ein mathematisches Simulationsmodell, das die wichtigsten Wechselwirkungen zwischen dem Außenklima und dem Wärmehaushalt des Menschen (dem "Klima-Michel") darstellt. Für die menschliche Wärmebilanz wurde die "Behaglichkeitsgleichung" von FANGER (1972) herangezogen, weil sie experimentell in Klimakammeruntersuchungen gut überprüft wurde. Sie berechnet über das sogenannte "Predicted Mean Vote" (PMV) die im Mittel von einem großen Kollektiv von Personen zu erwartende Beurteilung des thermischen Milieus auf einer psycho-physischen Skala. PMV-Werte um "0" stellen thermische Behaglichkeit dar; mit steigenden PMV-Werten steigt auch die Wärmebelastung, während negative PMV-Werte Kaltempfinden signalisieren. Der Grad der Nichterfüllung der Behaglichkeitsgleichung, d.h. die Größe der Abweichung von $PMV = "0"$, kann als Maß für die Anforderungen an das Thermoregulationssystem aufgefaßt werden.

Für eine typische Strahlungswetterlage (geringer Bewölkungsgrad, niedrige Windgeschwindigkeit) werden die in Abschnitt 1.5 genannten meteorologischen Einflußgrößen berechnet und entsprechend der Höhe, der Landnutzung und der Topographie (Tal-/Muldenlage, Hang, Kuppe) modifiziert. Mit diesen Parametern läßt sich dann der o.a. PMV-Wert berechnen und flächendeckend darstellen.

Das Ergebnis dieser Modellrechnung ist der Bioklimakarte zu entnehmen: Gebiete mit geringer Wärmebelastung werden (je nach Intensitätsgrad) durch dunkelblaue bis hellblaue Farbtöne wiedergegeben. Grüne bis gelbe Farben kennzeichnen "mäßige" Wärmebelastung, während Roteinfärbungen die stark wärmebelasteten Gebiete charakterisieren. Kältereize (bei sommerlichen Strahlungswetterlagen) treten im Untersuchungsgebiet aufgrund der geringen Höhenunterschiede nicht auf.

Die Bioklimakarte grenzt also Gebiete voneinander ab, die thermisch unterschiedlich empfunden werden und erlaubt daher jedem - je nach momentanem Empfinden - das Aufsuchen von Orten mit günstigeren bioklimatischen Bedingungen.

2.3.3 Statistische Methoden

Die Grundlage für statistische Untersuchungen sind meistens Stichproben einer (oder mehrerer) Größen. Der Begriff "Stichprobe" besagt, daß es sich um eine begrenzte Auswahl von Daten aus einer größeren (meist unbekannt) Grundgesamtheit handelt. So stellen beispielsweise die Windmessungen an den Windmeßstationen des Deutschen Wetterdienstes (siehe auch Abschnitt 2.4.2) eine Stichprobe aus einem weitaus größeren Kollektiv (der unbekannt, flächendeckenden Verteilung über das gesamte Untersuchungsgebiet) dar.

Das Ziel vieler statistischer Methoden besteht darin, aufgrund einer Stichprobe Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit zu ziehen. Im folgenden werden einige statistische Grundlagen kurz beschrieben, die für diese Klimauntersuchung angewandt werden. Genauere Angaben zu den jeweiligen Themen findet man in jedem statistischen Lehrbuch.

Liegen zwei Stichproben vor (z.B. die mittleren Windgeschwindigkeiten an einigen Stationen und die Höhen dieser Stationen über dem Meeresspiegel), so ist der Korrelationskoeffizient eine Maßzahl für die Strammheit des Zusammenhanges zwischen den beiden Größen. Dieser Korrelationskoeffizient kann zwischen -1 und +1 liegen. Ist er null, so besteht kein Zusammenhang; ein Korrelationskoeffizient von +1 oder -1 deutet auf einen vollständigen (bzw. inversen) Zusammenhang zwischen den beiden Größen hin. Besteht ein solcher Zusammenhang, so läßt sich die Abhängigkeit einer Größe von einer (bzw. mehreren) anderen in Form einer "Regressionsgleichung" darstellen, die im allgemeinen folgende Form besitzt:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + \dots + a_n \cdot X_n$$

Hierin bedeutet "Y" die zu berechnende Größe, X_1 bis X_n sind Variable, von denen "Y" abhängig ist, während die zu bestimmenden Koeffizienten a_1 bis a_n als Regressionskoeffizienten bezeichnet werden. In der Praxis wird zunächst die zu untersuchende Klimagröße ("Y") mit verschiedenen bekannten Variablen ("X"); wie der Höhe, der geographischen Länge, der geographischen Breite usw.) korreliert und die Variablen bestimmt, die in einem Zusammenhang mit dem jeweiligen Klimatelement stehen. Mit diesen Einflußgrößen wird eine Regressionsrechnung durchgeführt und die Regressionskoeffizienten bestimmt. Im Falle des o.a. Beispiels könnte die Windgeschwindigkeit als eine Funktion der Höhe über NN berechnet werden, sofern zwischen beiden ein Zusammenhang besteht.

Da statistische Verfahren in der Regel nie zu absolut sicheren Ergebnissen führen, sondern nur Näherungslösungen darstellen, muß die Güte der berechneten Werte angegeben werden. Hierfür bietet sich die "Streuung" an, die als ein Maß der Abweichung zwischen gemessenen und berechneten Werten angesehen werden kann.

Diese Streuung ist auch für die Wahl der Klassenbreite bei der kartographischen Darstellung des berechneten Klimatelementes von Bedeutung: Auf keinen Fall dürfen Klassenbreiten gewählt werden, die kleiner sind als der Betrag der Streuung, da dann der dargestellte Wertebereich statistisch nicht abgesichert ist und sowohl in die nächsthöhere wie auch nächsttiefere Klasse fallen kann.

Werden z.B. mit einer Regressionsgleichung Windgeschwindigkeiten berechnet, die um ± 0.5 Meter/Sekunde von den gemessenen Werten abweichen, so können in der Kartendarstellung keine Klassenbreiten von 0.1 Meter/Sekunde gewählt werden. In diesem Falle würde die Karte eine Genauigkeit widerspiegeln, die in Wirklichkeit gar nicht gegeben ist. Aus diesem Grunde wird bei der graphischen Darstellung immer eine Klassenbreite gewählt, die mindestens dem zweifachen Betrag der Streuung entspricht.

2.3.4 Interpretationshinweise

Bei der Interpretation der Karten sollte folgendes berücksichtigt werden:

Im Gegensatz zu vielen anderen Karten, die in der Planung Verwendung finden (z.B. Flächennutzungsplan, Raumordnungsplan, Bauungsplan) sind die Grenzen von Klimakarten nicht als fest anzusehen, sondern - gemäß dem Charakter von klimatologischen Größen - als räumlich fließend zu betrachten. Der Übergang von z.B. einer Windgeschwindigkeitsklasse in eine andere ist daher nicht als eine räumlich exakt vorgegebene Grenze zu interpretieren, an der das dargestellte Klimaelement sprunghaft von einer Klasse in die andere überwechselt, sondern vielmehr als der Mittelpunkt eines mehr oder weniger breiten Streubereiches, in dem sich der allmähliche Übergang zwischen den Klassen vollzieht.

Es wäre deshalb falsch, einzelne - auf einen Pixel bezogene - Phänomene überzubewerten. Dies gilt sowohl für die Ergebnisse der Modellrechnungen (z.B. einzelner Kaltluftpfeil im ansonsten abflußlosen Gelände) als auch für die Klimaeignungskarten (z.B. kleinere schlecht durchlüftete Flächen in großräumig gut durchlüfteten Regionen).

Andererseits kann gesagt werden, daß die Kartenaussage um so sicherer ist, je größer ein Gebiet mit einheitlichen lokalklimatischen Verhältnissen ist (z.B. homogene Kaltluftabflußbereiche über ganze Hangbereiche oder schlechte Durchlüftungsverhältnisse in tieferliegenden, engen Talsystemen).

Bei der Interpretation der Ergebnisse des Kaltluftabflußmodelles (lokalklimatisch bedeutsame Flächen) sollte beachtet werden, daß das Modell keine quantitativen Angaben liefert: Kaltluftstaugebiete sind zwar gegenüber der Umgebung kälter, um wieviel Grad jedoch, kann vom Modell nicht berechnet werden.

Ähnliches gilt für die Kaltluftpfeile, deren Größe kein Maß für die Abflußgeschwindigkeit ist. Kaltluftflüsse sind nicht mit einem stetigen Wind zu vergleichen, sondern vielmehr mit einem schubhaften Abtropfen von Kaltluftmassen.

Kleine Pfeile sind daher so zu interpretieren, daß in diesem Gebiet sporadische, kurzandauernde Kaltluftflüsse auftreten, gefolgt von längerandauernden abflußlosen Phasen. Große Pfeile dagegen sollen anzeigen, daß der Kaltluftfluß kräftiger entwickelt ist, länger anhält und nur kurze abflußlose Phasen aufweist. Kaltluftabflüsse dieser Art können bereits kurz vor Sonnenuntergang beginnen, die ganze Nacht hindurch andauern und erst bei Sonnenaufgang versiegen.

2.4 Ergebnisse

2.4.1 Zahl der Tage mit "Minimumtemperaturinversionen"

Gemäß den Erläuterungen in Abschnitt 1.4 benötigt man zur Bestimmung der Inversionshäufigkeit den Temperaturverlauf mit der Höhe (vertikales Temperaturprofil). In der Bundesrepublik Deutschland werden nur an wenigen Orten "Radiosondenaufstiege" durchgeführt, die jedoch keine Übertragung auf den Mittelgebirgsbereich zulassen. Zur Zeit der größten Inversionshäufigkeit (früh morgens) liegen an den Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes tägliche Minima der Lufttemperatur vor. Da dieses Stationsnetz einerseits relativ dicht ist, andererseits genügend Stationen in unterschiedlicher Höhe vorhanden sind, kann für jeden Tag des Jahres ein vertikales "Minimumtemperaturprofil" erstellt werden. Gegenüber den Radiosondenaufstiegen unterscheidet sich dieses Vertikalprofil nur dadurch, daß die Messungen am Boden (jedoch in verschiedenen Höhenlagen ü. NN) erfolgen und nicht in der freien Atmosphäre.

Die folgenden statistischen Auswertungen beziehen sich auf den langjährigen Zeitraum 1980 bis 1989. Insgesamt wurden die täglichen Minima der Lufttemperatur von ca. 100 (sorgfältig ausgewählten) Stationen in unterschiedlichen geographischen Lagen verwendet.

Um lokale Besonderheiten an einigen Stationen auszuschalten oder abzumildern, werden die täglichen Minima benachbarter Stationen in ähnlicher Höhenlage gemittelt und dieser Mittelwert als repräsentativ für die jeweilige Höhe angesehen. Zwischen den Höhenlagen wird dann interpoliert und ein vertikales "Minimumtemperaturprofil" erzeugt. Anschließend wird für jeden Höhenpunkt geprüft, ob die Temperatur in einem 100 m höher liegenden Punkt größer oder gleich (auch Isothermien werden berücksichtigt) ist. Ist dies der Fall, so wird an diesem Tag und in dieser Höhenlage eine Minimumtemperaturinversion (von mindestens 100 m Mächtigkeit) gezählt. Dieses Vorgehen wird für jeden Tag des 10jährigen Bezugszeitraumes wiederholt, so daß schließlich eine vollständige Inversionsstatistik in Abhängigkeit von der Höhe (und der geographischen Lage) vorliegt. Für den Bereich Potsdam ist das Ergebnis dieser Untersuchung in der Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1: Zahl der Tage mit Minimumtemperaturinversionen von mindestens 100 m Mächtigkeit in Abhängigkeit von der Höhe; Bezugszeitraum: 1980-1989

Höhenbereich	Zahl der Tage im Jahr
026 m - 050 m	235
051 m - 075 m	233
076 m - 100 m	221
101 m - 125 m	196
126 m - 150 m	155

Man erkennt, daß in den Lagen zwischen 26 m und 50 m ü. NN an etwa 64 % aller Tage im Jahr mit Minimumtemperaturinversionen von mindestens 100 m Mächtigkeit gerechnet werden muß. Mit zunehmender Höhenlage nimmt die Inversionshäufigkeit zunächst langsam, im Bereich zwischen 126 m und 150 m über NN (Obergrenze des Kaltluftsammlgebietes) jedoch rapide ab.

2.4.2 Mittlere jährliche Windgeschwindigkeit

Da das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit neben der Höhenlage auch von großräumigen Lageparametern wie der geographischen Breite und der geographischen Länge abhängig ist, wurden die Daten von insgesamt 225 Windmeßstationen des Deutschen Wetterdienstes bei der statistischen Untersuchung (s.a. Abschnitt 2.3.3) herangezogen. Diese Stationen unterscheiden sich bezüglich der Landnutzung in der näheren Stationsumgebung beträchtlich voneinander: Einige Windmeßstationen liegen im Innenstadtbereich mit meist hoher Bebauungsdichte.

Die meisten verwendeten Stationen liegen jedoch entweder in Stadtrandlagen und sind somit repräsentativ für die Windverhältnisse im siedlungsnahen Bereich oder sie befinden sich in meist völlig freier, ungestörter Lage (Flughafenstationen (oft militärisch)). Neben den o.a. großräumigen (regionalen) Abhängigkeiten, können daher auch lokale Effekte (Bebauungs-/Bewaldungsdichte) berücksichtigt und statistisch erfaßt werden.

Nur wenige Stationen spiegeln den Einfluß von topographischen Formen (z.B. Tal- oder Kuppenlagen) wider. Da die Topographie jedoch einen starken Einfluß auf das Windfeld ausübt, wurden zusätzlich noch 30 temporäre Windmeßstationen in die Untersuchung mit einbezogen, um die Wirkung von topographischen Formen auf die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit quantitativ zu erfassen.

Die folgenden statistischen Auswertungen beziehen sich ebenfalls auf den langjährigen Zeitraum 1980 bis 1989. Die Geberhöhe (Höhe, in der die Windmessung erfolgt) beträgt 10 m über Grund;

Stationen mit abweichenden Geberhöhen wurden mit Hilfe eines Reduktionsverfahrens (BENESCH, 1978) auf 10 m über Grund umgerechnet.

Die großräumige (regionale) Verteilung der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit läßt sich durch die folgende Regressionsgleichung beschreiben:

WGR =

$$a_0 + a_1 \cdot H + a_2 \cdot H^2 + a_3 \cdot H^3 + a_4 \cdot H^4 + a_5 \cdot \text{GBR} + a_6 \cdot \text{GBR}^2 + a_7 \cdot \text{GBR}^3 + a_8 \cdot \text{GLA} + a_9 \cdot \text{GLA}^2 + a_{10} \cdot \text{GLA}^3$$

mit : WGR = mittlere Windgeschwindigkeit in m/s (gültig für den Bezugszeitraum 1980 bis 1989) bei 50% Hindernisanteil
 GBR/GLA = geographische Breite/Länge in Grad
 H = Geländehöhe in Meter über NN
 a0-a10 = Regressionskoeffizienten

Die Einbeziehung lokaler Effekte erfolgt durch:

$$\text{WG} = \text{WGR} + f(\text{proz}) + f(\text{topo})$$

mit : WG = mittlere Windgeschwindigkeit im Bezugszeitraum unter Einbezug aller Einflußgrößen
 f(proz) = Regressionsfunktion, die den prozentualen Hindernisanteil (Bebauung/Bewaldung) berücksichtigt
 f(topo) = Regressionsfunktion, die über die Geländeneigung topographische Formen berücksichtigt

Wendet man diese Regressionsgleichung auf das Untersuchungsgebiet an (geographische Breite ca. 52° 24'; geographische Länge ca. 13° 04'), so erhält man die in der Tabelle 2 dargestellte Abhängigkeit der mittleren Windgeschwindigkeit von der Höhe. Der Hindernisanteil soll 35% betragen:

Tabelle 2: Mittlere jährliche Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Höhe; Bezugszeitraum: 1980-1989 (Hindernisanteil 35%)

Höhenbereich	Windgeschwindigkeit
026 m - 050 m	2,83 m/s
051 - - 075 m	2,86 m/s
076 m - 100 m	2,88 m/s
101 m - 125 m	2,91 m/s
126 m - 150 m	2,94 m/s

Man erkennt, daß im Höhenbereich zwischen 26 m und 150 m über NN die Höhenabhängigkeit der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit nur schwach ausgeprägt ist. Zwischen dem tiefergelegenen Seengebiet (etwa 30 m ü.NN) und den höchsten Kuppenlagen südlich von Potsdam (Kleiner Ravensberg; etwa 114 m ü.NN) erhöht sich die Windgeschwindigkeit nur um etwa 0.1 m/s.

Dieser Höhenverteilung ist gemäß der o.a. Regressionsgleichung noch der Effekt der geographischen Länge und Breite überlagert, der sich aufgrund der geringen Größe des Untersuchungsgebietes jedoch kaum bemerkbar macht.

Neben diesen großräumigen Einflußfaktoren ist die Windgeschwindigkeit auch in hohem Maße von lokalen Effekten abhängig: Waldgebiete und Siedlungen reduzieren im Mittel die Windgeschwindigkeit, wobei die Reduktionsrate von dem prozentualen Hindernisanteil (Wald oder Siedlung) in der Umgebung der Station abhängig ist. Die in der Tabelle 2 dargestellten Windgeschwindigkeiten gelten für einen Hindernisanteil von 35%. Im Extremfall erhöht sich die Windgeschwindigkeit über ungestörten Freiflächen (Hindernisanteil 0%) um den Faktor 1.3; während dichtbebaute Gebiete (Hindernisanteil 100%) zu einer 55prozentigen Verringerung der mittleren Windgeschwindigkeit führen.

Tal- und Muldenlagen wirken sich (Reduktionsfaktor: "0.79") ebenfalls vermindern auf die Windgeschwindigkeit aus, während sich über Kuppenlagen die Windgeschwindigkeit erhöht (Erhöhungsfaktor: "1.3").

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß durch die lokalen Einflußfaktoren (Bebauungs-/Waldanteil, topographische Formen) das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit im Untersuchungsgebiet wesentlich stärker beeinflußt wird als durch die Geländehöhe. Geplante Nutzungsänderungen werden demnach an der *regionalen* Windgeschwindigkeitsverteilung (gemäß Tabelle 2) nichts ändern; *lokal* können jedoch sehr große Modifikationen des Windfeldes bewirkt werden.

Unter Berücksichtigung aller hier beschriebenen Einflußgrößen erhält man folgende Gütemaße zwischen den Messungen (von insgesamt 255 Stationen) und den mit der Regressionsgleichung berechneten Werten: Der Korrelationskoeffizient liegt mit 0.993 sehr hoch; die Streuung beträgt 0.14 m/s. Das heißt, daß die Abweichungen zwischen den gemessenen und den berechneten Windgeschwindigkeiten im Mittel kleiner sind als +/-0.14 m/s. Die oben angeführten lokalen Effekte (Reduktions- bzw. Überhöhungsraten durch unterschiedliche topographische Formen und Landnutzungen) sind aufgrund des vorliegenden Datenmaterials als statistisch hoch signifikant einzustufen.

2.4.3 Bodennahe Durchlüftungsverhältnisse

Zur Konstruktion der synthetischen Karte "Bodennahe Durchlüftungsverhältnisse" werden die in den vorherigen Abschnitten beschriebenen räumlichen Verteilungen der Inversionshäufigkeit (als ein Maß für den vertikalen Luftaustausch (siehe auch Abschnitt 1.4)) und der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit (als ein Maß für den horizontalen Luftaustausch und die Verdünnung (siehe auch Abschnitt 1.3)) benötigt. Des weiteren gehen - zur Modifikation der Inversionshäufigkeit - die vom Kaltluftab-

flußmodell berechneten Kaltluftstaus/-seen (siehe Abschnitt 1.2) in die Berechnung mit ein. Die verwendeten Grenzwerte betragen bei der Windgeschwindigkeit 3.0 m/s und bei der Inversionshäufigkeit 220 Tage (entsprechend 60% aller Tage pro Jahr).

Tabelle 3 zeigt die Überlagerungskriterien zur Konstruktion der Durchlüftungskarte.

Tabelle 3 : Kriterien zur Konstruktion der Karte "Bodennahe Durchlüftungsverhältnisse"

	geringe Durchlüftung	mäßige Durchlüftung	gute Durchlüftung
Windgeschwindigkeit (WG)	< 3 m/s	alle anderen	≥ 3 m/s
gewichtete Inversionshäufigkeit (I*W)	≥ 220 Tage	Kombinationsmöglichkeiten	< 220 Tage

Die gemäß Abschnitt 2.4.1 erhaltene Inversionshäufigkeit wird in den Gebieten, die in stagnierender Kaltluft (Kaltluftstaus/Kaltluftseen) liegen, um 120 Tage/Jahr erhöht, um dem stark reduzierten Luftaustausch dieser Flächen Rechnung zu tragen. Des Weiteren wird ein Wichtungsfaktor "W" eingeführt, der je nach Windgeschwindigkeitsbereich zu einer Modifizierung der Inversionshäufigkeit führt und folgendermaßen bestimmt wird:

Im Windgeschwindigkeitsbereich zwischen 2.5 m/s und 3.5 m/s (jeweils 0.5 m/s oberhalb bzw. unterhalb des festgelegten Grenzwertes von 3.0 m/s) soll der Wichtungsfaktor "1" betragen. In diesem Bereich - in den der flächenmäßig größte Teil des Untersuchungsgebietes fällt - findet keine Modifikation der Inversionshäufigkeit statt.

Ab 4 m/s ist - ungeachtet der Inversionshäufigkeit - eine recht gute Durchlüftung gegeben. Damit der Einfluß der Inversionshäufigkeit an den Durchlüftungsverhältnissen eines Ortes mit hoher mittlerer Windgeschwindigkeit nicht überbewertet wird, soll zwischen 3.5 m/s und 4.0 m/s der Wichtungsfaktor von 1 auf 0.6 abfallen und bei Windgeschwindigkeiten über 4.0 m/s auf diesem Niveau verbleiben. Der Wert "0.6" kommt dadurch zustande, daß selbst bei 365 Inversionstagen pro Jahr (wird nur in Kaltluftstaus/Kaltluftseen erreicht) der Grenzwert von 220 Tagen für die Inversionshäufigkeit unterschritten wird. Da die o. a. Überlagerungskriterien aus Gründen der Vergleichbarkeit für alle Gegenden der Bundesrepublik Deutschland angewandt werden, spielt diese Wichtung hauptsächlich in der norddeutschen Tiefebene eine Rolle und ist für das hier dargestellte Untersuchungsgebiet nur über größeren Frei- und Wasserflächen relevant, wo Jahresmittel über 3.5 m/s auftreten können.

Eine weitere Modifikation der Inversionshäufigkeit erfolgt im Bereich niedriger Windgeschwindigkeiten: Zwischen 2.5 m/s und 0.0 m/s soll der Wichtungsfaktor von "1" auf "3" linear ansteigen. Der Wert "3" kommt dadurch zustande, daß bei Windstillen keine Durchlüftung mehr gegeben ist. Um dies gemäß den Kriterien von Tabelle 3 zu gewährleisten, muß die Inversionshäufigkeit > 220 Tage sein. In den für die Planung interessanten Höhenbereichen bis etwa 600 m über NN (typische Inversionshäufigkeit um die 75 Tage) können dann auch schlechte Durchlüftungsverhältnisse auftreten (allerdings bei sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten!) weil dann das Inversionskriterium gemäß Tabelle 3 erfüllt ist. Für das Untersuchungsgebiet kommt diese Wichtung jedoch nicht zum Tragen, da die wenigen Kuppenlagen oberhalb des inversionsgefährdeten Bereiches eine höhere Windgeschwindigkeit aufweisen.

2.4.4 Klimaeignung Erholung

Der übergeordnete Begriff Erholung beinhaltet verschiedenartige Erholungsarten wie Naherholung, Wochenenderholung, Urlaub, Sport bis hin zur Kurerholung und Rekonvaleszenz. Entsprechend schwierig ist daher eine einheitliche Bewertung nach klimatischen Gesichtspunkten. Naherholungsgebiete liegen (gemäß ihrer Funktion) meist in der unmittelbaren Umgebung von städtischen Ballungsräumen mit (in der Regel) ungünstigen bioklimatischen Bedingungen, während andere Erholungsarten weitgehend wetterunabhängig sind (z.B. Sporteinrichtungen in geschlossenen Räumen). Es kann daher keine Klimaeignungskarte geben, die all diesen unterschiedlichen Erholungsarten gleichermaßen gerecht wird. Daher soll die Erstellung dieser Karte nach bioklimatischen Gesichtspunkten erfolgen, um dem Erholungssuchenden die Möglichkeit zu geben, Orte mit günstigen klimatischen Bedingungen aufzusuchen.

Unter diesen Gesichtspunkten werden zur Erstellung der Klimaeignungskarte "Erholung" folgende Grundlagenkarten verwendet:

- 1.) Die bioklimatischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet (Ergebnisse des Klima-Michel-Modelles).
- 2.) Die Nebelstruktur, die aus bereits vorliegenden Karten digitalisiert (SCHIRMER, 1970), bzw. als Erfahrungswert für das entsprechende Gebiet angesetzt wird.
- 3.) Die horizontbedingte Reduzierung der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer, die sich aus einem Vergleich der Sonnenbahn mit der Horizontüberhöhung (berechnet aus den digitalen Höhenwerten) im Azimut der Sonne ergibt (GERTH, 1986).

Die bioklimatischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet werden in 3 Klassen aufgeteilt: Zur Klasse 1 gehören diejenigen Gebiete, die eine sehr hohe sommerliche Wärmebelastung aufweisen (PMV-Wert > 2). In der Bioklimakarte handelt es sich hierbei um

die 4 letzten Klassen (violette bis braune Farben). Diese Bioklimastufe umfaßt im wesentlichen größere bebaute Gebiete, siedlungsnaher Freiflächen, windgeschützte Waldränder sowie kleinere Waldlichtungen. Mäßig wärmebelastete Gebiete (in der Bioklimakarte grün bis orange dargestellt) mit PMV Werten zwischen 1 und 2 werden in der Bioklimastufe 3 zusammengefaßt, während die Regionen mit der geringsten Wärmebelastung (dunkelblauer bis grünblauer Bereich) zur Bioklimastufe 2 gehören. In diese Klasse fallen hauptsächlich Gewässer, Waldgebiete, Parkanlagen oder höhergelegene Freiflächen mit verstärkter Windgeschwindigkeit (z.B. Kuppenlagen).

Beim Nebel unterscheidet man zwischen Talnebel und Hoch-/Wolkennebel. Die Entstehung von Talnebel ist sehr häufig mit wind-schwachen Hochdruckwetterlagen verbunden. Sinkt die Lufttemperatur aufgrund der nächtlichen Wärmeausstrahlung bis zum Taupunkt ab, so kommt es zur Ausbildung einer Nebelschicht, deren Untergrenze in Erdbodennähe liegt und deren Mächtigkeit im Laufe der Nacht auf einige Dekameter anwachsen kann.

Hochnebel ist eine oft mehrere hundert Meter mächtige Nebelschicht, die ein größeres Gebiet bedeckt und über einen längeren Zeitraum hinweg erhalten bleiben kann. Die umliegenden Berge ragen meist in die Hochnebelschicht hinein, während die untersten Tallagen frei von Nebel sind.

Von Wolkennebel spricht man, wenn Kuppen und Gipfellenen von Wolken eingehüllt sind und somit die Bedingung für Nebel (Sichtweite kleiner als 1 Kilometer) erfüllt ist (SCHIRMER, 1988).

Zwischen den 2 Nebelbereichen liegt die nebelarme, warme Hangzone, die besonders bei herbstlichen Hochdruckwetterlagen aus dem Talnebelbereich herausragt und aufgrund der meist reinen und trockenen Luft gute Erholungsmöglichkeiten bietet. Regionen im Nebelbereich dagegen - insbesondere in Gebieten mit erhöhten Luftverunreinigungen - können lufthygienisch belastet sein und eignen sich weniger zur Erholung. In diesem Zusammenhang ist der Bereich mit Hoch-/Wolkennebel (trotz größerer Nebelhäufigkeit) als günstiger zu bewerten als der des Talnebels.

Die Sonneneinstrahlung übt hauptsächlich eine psychologische Wirkung auf das Wohlbefinden des Menschen aus. Ihr kommt insbesondere im Winter (bei stark reduzierter Strahlungsintensität) eine verstärkte Bedeutung zu. Die Sonnenscheindauer ist in erster Linie von der großräumigen Wetterlage (Bewölkungsgrad) abhängig und nicht von lokalen Faktoren. Im Mittelgebirgsbereich können jedoch durch topographisch bedingte Abschattungseffekte wesentlich kürzere Sonnenscheindauern auftreten als im Flachland. In Anlehnung an die klimatische Beurteilung von Kurorten sollte die horizontbedingte Reduktion der Sonnenscheindauer kleiner als 10 % (gegenüber völlig flachem Gelände) sein (DEUTSCHER BÄDERVERBAND, DEUTSCHER FREMDENVERKEHRSVERBAND, 1987).

Die Überlagerungskriterien zur Erstellung der Klimaeignungskarte "Erholung" sind auf der nachfolgenden Seite schematisch dargestellt.

Gemäß diesen Kriterien sind die Gebiete gut zur Erholung geeignet, die nicht in die Bioklimastufe 1 (hohe Wärmebelastung) fallen und im Bereich der nebelarmen, warmen Hangzone liegen. Gebiete im Nebelbereich (Tal-/Hoch-Wolkennebel) erhalten nur dann eine gute Erholungseignung, wenn sie in der Bioklimastufe 2 (geringe sommerliche Wärmebelastung) liegen und die geländebedingte Abschattung die Sonnenscheindauer nicht um mehr als 10 % vermindert.

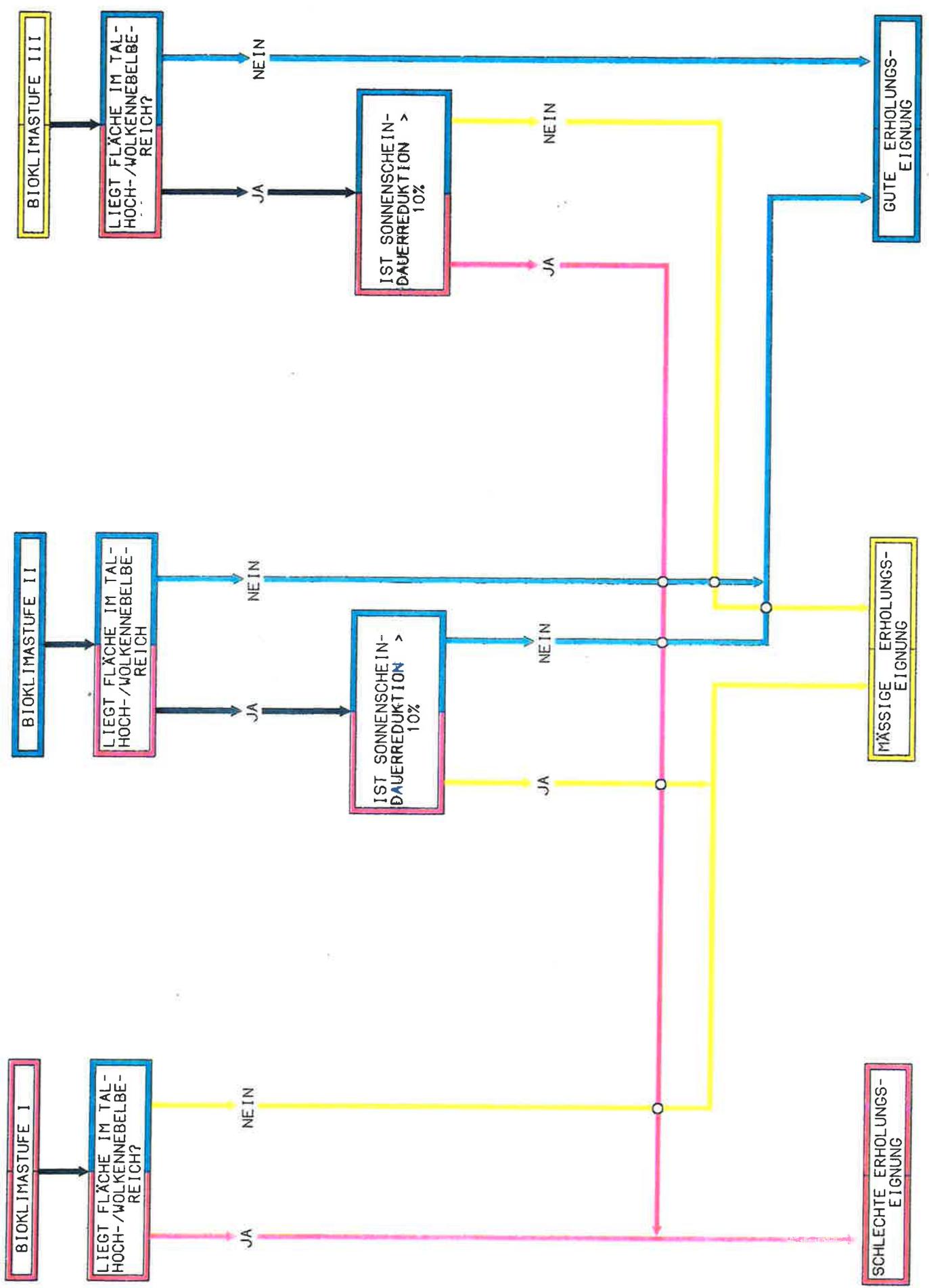
Gebiete mit hoher Wärmebelastung (Bioklimastufe 1), die im Nebelbereich liegen, sind schlecht zur Erholung geeignet. Dies gilt auch für Flächen mit mäßiger Wärmebelastung (Bioklimastufe 3) im Nebelbereich, wenn die effektiv mögliche Sonnenscheindauer (gegenüber ebenem Gelände) um mehr als 10% vermindert ist.

Alle übrigen Kombinationsmöglichkeiten sind gemäß den Überlagerungskriterien nur "mäßig" zur Erholung geeignet.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß mit diesen Kriterien sichergestellt werden soll, daß neu zu errichtende Erholungsgebiete (bzw. Erholungseinrichtungen) in Räumen liegen sollten, die einerseits bioklimatisch dazu geeignet sind und deren Erholungswert andererseits nicht durch Nebel oder reduzierte Sonnenscheindauer geschmälert wird.

Überlagerungskriterien zur Erstellung der Klimaeignungskarte "Erholung"

BIOKLIMATISCHE VERHÄLTNISSE



2.4.5 Freiflächensicherung

Der Karte "Freiflächensicherung" liegt der Gedanke zugrunde, die Freiflächen zu sichern, die für die Durchlüftung eines Ortes von besonderer Bedeutung sind. Die Einteilung in "hoher Freiflächensicherungsgrad" bis "geringer Freiflächensicherungsgrad" ist keinesfalls zu verwechseln mit "schlecht geeignet zur Bebauung" bis "gut geeignet zur Bebauung". Freiflächen mit hohem Sicherungsgrad sind vielmehr für irgendeinen Wirkungsraum (z.B. eine schlecht durchlüftete Siedlung) von großer Bedeutung, so daß eine Nutzungsänderung von Freifläche in Siedlung (aber auch von Freifläche in Wald) die momentanen Durchlüftungsverhältnisse an einer anderen Stelle wesentlich verschlechtern würde.

Diese synthetische Karte ist (im Gegensatz zur Erholung (s.a. vorangehender Abschnitt)) keine Klimaeignungskarte, sondern eine "Klimarestriktionskarte", in der Flächen ausgewiesen werden, die - mit unterschiedlichem Sicherungsgrad - freizuhalten sind, um die momentan bestehenden Durchlüftungsverhältnisse nicht zu verschlechtern.

Zur Konstruktion der Karte "Freiflächensicherung" benötigt man als Grundlagenkarten die in Abschnitt 2.4.3 beschriebenen Durchlüftungsverhältnisse, sowie die Ergebnisse des Kaltluftabflußmodelles (Kaltluftstaus, Talabwinde). Die Überlagerungskriterien zur Erstellung der Karte "Freiflächensicherung" sind auf der nachfolgenden Seite dargestellt.

In Gebieten mit schlechter Durchlüftung wird zunächst abgefragt, ob sich die Freifläche im Einzugsbereich von Talabwinden (jedoch außerhalb von Kaltluftstaus) befindet. Ist dies der Fall, so erhält die Fläche einen hohen Sicherungsgrad. Damit soll verhindert werden, daß kaltluftproduzierende Flächen, die ein Talabwindensystem speisen, nicht verkleinert oder - durch Bebauung bzw. Aufforstung - zerstückelt werden. Ist die schlecht durchlüftete Fläche keinem Talabwindensystem zugeordnet, jedoch dem Einzugsgebiet einer schlecht durchlüfteten Siedlung, so wird sie mit einem mittleren Sicherungsgrad versehen, wenn auf ihr mäßige bis starke Kaltluftabflüsse stattfinden. Bei schwachem Kaltluftabfluß (z.B. in Kaltluftstaus) ist der Freiflächensicherungsgrad gering.

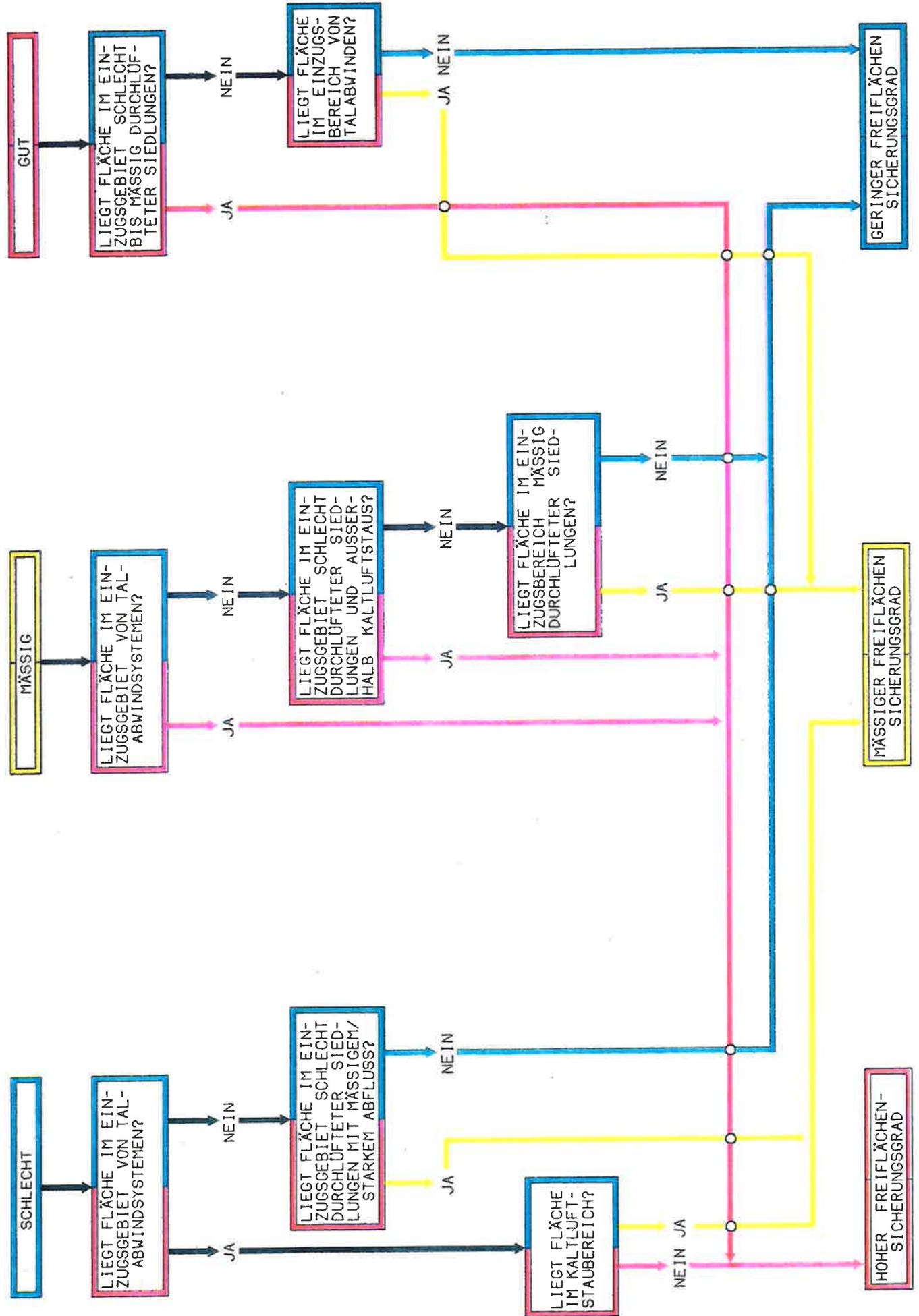
In mäßig durchlüfteten Gebieten wird ebenfalls abgefragt, ob sich die Freifläche im Einzugsgebiet eines Talabwindes befindet und wenn ja - aus den gleichen o.a. Gründen -, mit einem hohen Sicherungsgrad versehen. Ist dies nicht der Fall, so wird ermittelt, ob sich die zu untersuchende Fläche im Einzugsbereich einer schlecht durchlüfteten Siedlung (jedoch außerhalb eines eventuell vorhandenen Kaltluftstaus/-sees) befindet. Um die ohnehin schlechten Durchlüftungsverhältnisse der Siedlung nicht weiter zu verschlechtern, wird die Freifläche in diesem Falle ebenfalls mit einem hohen Sicherungsgrad versehen.

Liegt die Fläche nicht im Einzugsbereich schlecht durchlüfteter Siedlungen, aber im Einzugsbereich einer mäßig durchlüfteten Siedlung, so wird sie mit einem mäßigen Sicherungsgrad versehen. Geringen Schutz erhalten mäßig durchlüftete Freiflächen nur dann, wenn sie weder im Einzugsbereich von Talabwindsystemen, noch von schlecht durchlüfteten oder mäßig durchlüfteten Siedlungen liegen, da in diesem Falle keine schwerwiegenden Folgen für die Durchlüftungsverhältnisse zu erwarten sind.

Gut durchlüftete Freiflächen erhalten einen hohen Sicherungsgrad, wenn sie entweder im Einzugsbereich von schlecht durchlüfteten oder von mäßig durchlüfteten Siedlungen liegen. Ist dies nicht der Fall, so wird daraufhin abgefragt, ob die Fläche im Einzugsbereich eines Talabwindes liegt. Ist dies der Fall, erhält die Fläche - da weder schlecht noch mäßig durchlüftete Siedlungen beeinflußt werden - einen mäßigen Schutz. Ist dies nicht der Fall, so ist der Freiflächenschutz gering.

Überlagerungskriterien zur Erstellung der Karte "Freiflächensicherung"

DURCHLÜFTUNGSVERHÄLTNISSE



2.5 Erläuterungen der Ergebnisse

Da die klimatischen Gegebenheiten eines Raumes bei großen Maßstäben sehr stark von lokalen Effekten geprägt sind - was in den Karten auch deutlich zum Ausdruck kommt -, ist es nahezu unmöglich (und nach den Ausführungen des Abschnittes 2.3.4 auch nicht sinnvoll), auf alle Feinstrukturen eingehen zu wollen, die in den jeweiligen Klima- bzw. Klimaeignungskarten zu erkennen sind.

Deshalb beschränkt sich die textliche Beschreibung der Ergebnisse nur auf die Klimaphänomene oder -eigenheiten, die typisch - bzw. von großer Wichtigkeit - für das zu untersuchende Gebiet sind. Hierzu zählen sowohl großräumige wesentliche Strukturen, als auch lokalklimatische Besonderheiten, die nur in einem bestimmten Bereich auftreten oder zu erwarten sind.

Durch die Beschreibung des *IST*-Zustandes und der vielfältigen Wechselwirkungen zwischen einem Klimaelement und der Topographie bzw. der Landnutzung soll es dem Planer ermöglicht werden, die Folgen einer Nutzungsänderung (*SOLL*-Zustand) auf das lokale Klima abzuschätzen.

2.5.1 Lokalklimatisch bedeutsame Flächen

In klaren, windschwachen Sommernächten liegt das gesamte Untersuchungsgebiet und damit auch die Stadt Potsdam innerhalb des Kaltluftammelgebietes mit seinen schlechten Durchlüftungsverhältnissen (Abb. 2). Die Höhe der Obergrenze des Kaltluftammelgebietes weist jedoch einen typischen Jahresgang auf: Im Winter muß mit einer Obergrenze von etwa 217 m über NN gerechnet werden, während sich in den Übergangsjahreszeiten die Kaltluft nur bis in eine Höhe von 180 m über NN ansammelt.

In dem orographisch wenig gegliederten Gelände im Potsdamer Raum bilden sich nur an wenigen Stellen Kaltluftflüsse aus. So treten an den un bebauten und unbewaldeten Hanglagen der zahlreichen Hügel schwache bis mäßige nächtliche Kaltluftabflüsse auf (z.B. nördlich Bornim im Bereich Großer Herzberg/Pannenberg oder der Fuchsberge), denen jedoch kein Wirkungsraum zugeordnet ist. Lediglich an wenigen Stellen (nördlich des Telegraphenberges, den Westhängen des Pfingstberges oder im Bereich des Ruinenberges) kann die abfließende Kaltluft in locker bebauten Gebiet vordringen.

Der überwiegende Teil des Untersuchungsgebietes kann als abflußlos bezüglich nächtlicher Kaltluft bezeichnet werden. Talabwinde sind aufgrund der geringen Geländegliederung nicht zu erwarten.

Kaltluftstaugebiete kleineren Ausmaßes sind an sehr vielen Stellen im Untersuchungsgebiet zu erkennen. Hierzu zählen Waldlichtungen oder die Schneisen von Verkehrswegen, die durch größere Waldgebiete verlaufen. Hier beobachtet man häufig sehr starke

Temperaturerniedrigungen (SWANTES, 1981) im Vergleich zur Umgebung. Dies trifft vor allem für die Freiflächen (bzw. Jungwaldanpflanzungen) nördlich und südlich von Potsdam zu. Je nach Geländeneigung sind diese Lichtungen entweder vollständig mit stagnierender Kaltluft aufgefüllt, oder (bei stärkerer Hangneigung) nur an den tieferliegenden Stellen, während von den höheren Lagen noch Kaltluft abfließen kann, die den Kaltluftstau ständig speist (z.B. Kleiner Ravensberg).

Auch innerstädtische Freiflächen können den Abfluß von Kaltluft behindern und so zu kühleren Zonen innerhalb des Stadtgebietes beitragen. Im Gegensatz zu den o.a. Waldlichtungen sind die Temperaturunterschiede zur bebauten Umgebung jedoch wesentlich geringer.

Ein langgestreckter, schmaler Kaltluftstau ist im Nuthetal zu erkennen, der durch talabriegelnde Bebauung im Bereich Babelsberg/Potsdamer Bahnhof hervorgerufen wird. Kaltluftseen bilden sich in den Muldenlagen im Nordwesten des Untersuchungsgebietes und in der Sandgrube östlich des Templiner Sees. Auch der von höherem Gelände umgebene Sacrower See, dessen enger südlicher Abfluß durch Waldparzellen und lockere Bebauung beeinträchtigt ist, neigt zur Bildung von Kaltluftseen.

2.5.2 Inversionshäufigkeit und Jahresmittel der Windgeschwindigkeit

Inversionen sind großräumige meteorologische Phänomene, die kaum von lokalen Effekten (Bewuchs, Bebauung) beeinflusst werden. Ähnliches gilt für die in Abschnitt 2.4.1 beschriebene Minimumtemperaturinversionshäufigkeit, die nur von der Höhenlage abhängt und an wenigen Stellen durch lokale Kaltluftstaugebiete modifiziert wird.

Aus diesem Grunde erfolgt auch keine kartographische Darstellung, die nur den Verlauf der Höhenlinien widerspiegeln würde. Die räumliche Verteilung der Inversionshäufigkeit wird daher textlich beschrieben.

Der zur Berechnung der bodennahen Durchlüftungsverhältnisse (siehe auch Abschnitt 2.4.3) relevante Grenzwert von 220 Inversionstagen pro Jahr wird in etwa 84 m über NN unterschritten. Besonders inversionsgefährdet ist damit nahezu das gesamte Untersuchungsgebiet; lediglich die höchsten Erhebungen südlich von Potsdam weisen eine geringere Inversionshäufigkeit auf.

Wie Abb. 3 zeigt, wird das Windgeschwindigkeitsfeld im Untersuchungsgebiet in hohem Maße durch die Seenlandschaft mit ihrer geringen Rauigkeit geprägt: So treten die höchsten Windgeschwindigkeitswerte (mehr als 3.8 m/s) nur in der Mitte größerer Wasserflächen auf.

Zu den Rändern hin nimmt die Windgeschwindigkeit ab, wobei der Gradient der Windgeschwindigkeitsabnahme stark von der Landnutzung in Ufernähe beeinflusst wird: Der von größeren Waldgebieten umgebene Templiner See weist einen stärkeren Rückgang der Windgeschwindigkeit auf als der - überwiegend durch Freiflächen beeinflusste - Fahrländer See.

Ähnlich hohe Windgeschwindigkeiten wie über größeren Wasserflächen treten in Regionen mit einem hohen Freiflächenanteil auf. Hierzu zählen das Nuthetal und einige nordwestlich von Potsdam gelegenen Gebiete. Diese Zonen erhöhter Windgeschwindigkeit werden jedoch immer wieder unterbrochen durch die windgeschwindigkeitsmindernde Wirkung von kleineren, locker bebauten Siedlungen, Einzelgebäuden oder Waldparzellen. Gegenüber der homogenen Windgeschwindigkeitsverteilung der Seeflächen ist über dem Land die Wechselwirkung mit der Umgebung wesentlich stärker ausgeprägt.

Im Bereich der Stadt Potsdam sind die niedrigsten Windgeschwindigkeiten (unter 2 m/s) nur in der dichter bebauten Innenstadt zu erwarten, während die locker bebauten Vorstädte (Babelsberg, Brandenburger Vorstadt) ein deutlich höheres Geschwindigkeitsniveau aufweisen. Über einigen Kuppenlagen im Stadtrandbereich können - lokal eng begrenzt - ähnlich hohe Windgeschwindigkeiten auftreten wie über größeren Freiflächen. Das gleiche gilt für das kaum bebaute Havelufer zwischen der Potsdamer Innenstadt und Babelsberg.

Das höhergelegene Gelände südlich und südwestlich von Potsdam zeichnet sich durch ein vielfältiges Zusammenwirken von Landnutzung und topographischen Formen aus: Die größeren Waldgebiete beidseitig des Templiner Sees bewirken eine starke Verringerung des Jahresmittels der Windgeschwindigkeit. In den bewaldeten Tallagen findet eine weitere Reduktion statt, während die zahlreichen Kuppenlagen eine Erhöhung der Windgeschwindigkeit bewirken. Sehr starke Gegensätze auf engstem Raum erkennt man im Bereich der Sandgrube (östlich des Templiner Sees): Im windgeschützten unteren Teil treten die geringsten Jahresmittel der Windgeschwindigkeit auf (weniger als 1.7 m/s), während die nur wenige Dekameter entfernten Randhöhen Windgeschwindigkeiten über 3 m/s aufweisen.

2.5.3 Bodennahe Durchlüftungsverhältnisse

Aufgrund der geringen mittleren Windgeschwindigkeit in Verbindung mit einer hohen Inversionshäufigkeit ist der überwiegende Teil des Stadtgebietes von Potsdam schlecht durchlüftet. Abb. 4 zeigt, daß lediglich in einigen havelnahen Vorstadtbereichen (Brandenburger Vorstadt, Hermannswerder) oder auf den leicht erhöhten Lagen um Schloß Sanssouci mäßige Durchlüftungsverhältnisse herrschen.

Außerhalb des Stadtbereiches von Potsdam beschränken sich die schlecht durchlüfteten Gebiete vor allem auf die tieferliegenden Waldgebiete beiderseits des Templiner Sees sowie des Sacrower Sees. Auch die waldreiche Gegend um Bornim/Bornstedt und die zu Kaltluftstaus neigenden Freiflächen bzw. Jungwaldanpflanzungen um den kleinen Ravensberg sind schlecht durchlüftet.

Großräumig gute Durchlüftungsverhältnisse sind selten und beschränken sich auf die windstarken Bereiche über dem Templiner See und dem Fahrländer See; auch die von einem hohen Freiflächenanteil geprägten Teile des Nuthetales, der äußerste Nordwesten des Untersuchungsgebietes sowie die höhergelegenen freien Geländeteile nördlich des Ruinenberges sind gut durchlüftet.

Kleinräumig gut durchlüftet sind viele Kuppen- und Kammlagen im Untersuchungsgebiet. Hierzu zählen insbesondere die isolierten Erhebungen südlich von Potsdam, der Babelsberg, der Ruinenberg sowie die höchsten Lagen des Pfingstberges.

Mäßig durchlüftet sind zum einen die Gebiete, die zwar eine hohe mittlere Windgeschwindigkeit aufweisen, jedoch innerhalb des inversionsgefährdeten Bereiches liegen: Hierzu zählen vor allem die seenahen Regionen, weite Teile des Nuthetales sowie der Nordwestteil des Untersuchungsgebietes.

Mäßige Durchlüftungsverhältnisse können - zum anderen - auch durch geringe mittlere Windgeschwindigkeiten oberhalb des inversionsgefährdeten Bereiches zustandekommen (siehe auch Abschnitt 2.4.3). Dies betrifft die bewaldeten Höhenlagen zwischen Telegraphenberg und dem kleinen Ravensberg sowie einige weitere Kuppenlagen mit Höhen über 80 m NN (z.B. Schäfereiberg).

2.5.4 Freiflächensicherung

Talabwinde spielen in orographisch gegliedertem Gelände eine wichtige Rolle, da sie in Strahlungsnächten - mit allgemein geringen Windgeschwindigkeiten - zu einer Verstärkung des Windes im Talbereich führen und auch in der Lage sind, bebaute Gebiete zu durchdringen (siehe auch Abschnitt 1.2). Bei Schwachwindwetterlagen stellen diese lokalen Windsysteme oftmals ein Mindestmaß an Ventilation sicher.

Im Untersuchungsgebiet treten zwar keine Talabwindsysteme auf (Abb. 5); das teilweise gut durchlüftete, in Hauptwindrichtung verlaufende Gewässersystem aus Templiner See, Tiefer See und Havel dürfte jedoch in Strahlungsnächten mit regional niedrigen Windgeschwindigkeiten aufgrund seiner geringen Rauigkeit immer noch höhere Windgeschwindigkeiten aufweisen als die überwiegend bewaldeten Randlagen oder das Potsdamer Stadtgebiet. Dies wird auch bestätigt durch mehrere Untersuchungen (REGIONALE PLANUNGSGEMEINSCHAFT UNTERMAIN, 1977; WIPPERMANN; 1987), die recht

deutlich zeigen, daß größere Fließgewässer neben einer Kanalisierung der Windströmung auch deutlich höhere Windgeschwindigkeiten in der unmittelbaren Flußumgebung aufweisen und sich so als natürliche "Ventilationsschneisen" erweisen. Deshalb sollte der z.Z. nur sehr locker bebaute Uferbereich zwischen Potsdam und Babelsberg in seinem jetzigen Zustand belassen werden. Auch die überwiegend freien Tal- und Hanglagen des Nuthetales sind hoch zu sichern, um die momentanen Durchlüftungsverhältnisse nicht zu verschlechtern.

Während der unmittelbare nördliche Stadtrandbereich von Potsdam einen geringen Freiflächensicherungsgrad aufweist, erkennt man eine bogenförmige Zone mit hohem Freiflächenschutz, die sich vom Ruinenberg zunächst östlich erstreckt, dann nach Norden abbiegt und sich über die unteren Hanglagen des Pfingstberges bis hin zum Jungferensee zieht. Diese mäßig durchlüfteten Hanglagen liegen direkt im Kaltlufteinzugsgebiet eines Siedlungsteiles (oder einer Gebäudeansammlung) und sind für die Durchlüftung des tieferliegenden Ortsteiles von Bedeutung. Ähnliches gilt auch für das nur locker bebaute Gebiet um den Drewitzer Bahnhof und östlich davon, wo der hohe Freiflächenanteil für eine bessere Durchlüftung sorgt als in den nördlich angrenzenden Bereichen (Siedlungsteile mit hohem Anteil an Wald, Parks oder baumbestandenen Gärten).

Größere, zusammenhängende Regionen mit geringem Freiflächenschutz findet man hauptsächlich im Nordwesten des Untersuchungsgebietes. Da sich das Gelände - das nördlich von Potsdam (Bereich Ruinenberg/Pfingstberg) auf Höhen um 45 m ansteigt - nach Nordwesten hin allmählich absenkt, hat es als Kaltlufteinzugsgebiet für die schlecht durchlüfteten Stadtteile Potsdams keine Bedeutung mehr. Lediglich in der Nähe von kleineren Siedlungen, die meist nur aus wenigen Einzelgebäuden bestehen, finden sich kleinräumige Bereiche mit hohem und mäßigem Freiflächenschutz. Derartige - lokal hoch zu sichernde - Freiflächen findet man auch in anderen Teilen des Untersuchungsgebietes, wo besser durchlüftete Flächen das Kaltlufteinzugsgebiet für schlecht durchlüftete kleinere Siedlungen bilden (z.B. der Bereich um den Bahnhof Griebnitzsee oder die Freiflächen um Sacrow).

Kleinräumige Gebiete mit geringem Freiflächenschutz findet man vor allem da, wo durch lokalklimatische Phänomene (Kaltluftstaus mit absoluter Luftstagnation) die ohnehin schon schlechten Durchlüftungsverhältnisse weiter verschlechtert werden, so daß die betreffende Freifläche keinen Beitrag zur Durchlüftung der angrenzenden Siedlung liefert (siehe auch Überlagerungskriterien zur Konstruktion der Freiflächensicherungskarte). Auch absolut ebene Flächen ohne jeglichen Kaltluftabfluß in bebauten Gebiet zählen hierzu. Diese lokalen Flächen geringen Sicherungsgrades findet man meist in unmittelbarer Nähe zu bebauten Gebieten (Parks, baumbestandene Gärten, Straßenzüge, Innenhöfe u.ä.). Auch Waldlichtungen, Straßen die in Wäldern verlaufen oder tiefere Muldenlagen sind kaum in der Lage, die Durchlüftungsverhältnisse von Siedlungsgebieten zu verbessern.

Abschließend sei noch einmal darauf hingewiesen, daß die Klimarestriktionskarte "Freiflächensicherung" den Zweck erfüllt, die Freiflächen zu sichern, die für die DURCHLÜFTUNGSVERHÄLTNISSE EINES ORTES von Bedeutung sind: Die geringen Sicherungsgrade der großräumigen, mäßig durchlüfteten Freiflächen im Nordwesten z.B. sind nicht dahingehend mißzuverstehen, daß sie sich gut zur Bebauung eignen. Das gleiche gilt für innerstädtische Parks und Grünflächen, die zwar kaum einen Beitrag zur Verbesserung der Durchlüftung liefern, aus bioklimatischer Sicht (Verminderung des Wärmeinseleffektes) jedoch eine wichtige Funktion erfüllen (siehe auch Bioklimakarten).

2.5.5 Bioklimatische Verhältnisse

In der Stadt stellt in unserem Klimagebiet die Wärmebelastung das Hauptproblem für den Menschen dar. Damit wird der Grad der thermischen Belastung zum entscheidenden Kriterium für die bioklimatische Bewertung der verschiedenen Stadtstrukturen.

Die Ergebnisse von Untersuchungen zur Wärmebelastung sind in Abb. 6 dargestellt.

Das Bioklima zeigt recht starke Differenzierungen auf engstem Raum und variiert zwischen geringen Wärmebelastungsstufen (PMV-Werte nahe dem Komfort-/Behaglichkeitsbereich (siehe auch Abschnitt 2.3.2)) und hohen thermischen Belastungen.

Die höchsten Wärmebelastungen treten in den dicht bebauten Innenstadtbereichen von Potsdam und Babelsberg auf. Diese sind durch dichte Bebauung und geringen Freiflächenanteil, der überwiegend versiegelt ist, gekennzeichnet. Die höchsten Belastungsstufen sind auf einige kleine Gebiete mit einer Ausdehnung von insgesamt nur wenigen Quadratkilometern beschränkt. Jedoch weist auch der überwiegende Teil der Innenstadt noch relativ hohe Belastungen auf.

Starke Wärmebelastung kommt auch auf allen größeren Freiflächen wie dem Nuthengebiet, dem Kirchsteigfeld, dem Bornstedter Feld und dem Gebiet nördlich von Bornim vor, da hier nur wenig Abschattung vorhanden ist. Einzelne Gebäude oder sehr locker bebaute Siedlungsteile (z.B. die Siedlung Nuthestrand), die sich in solchen Regionen mit Freiflächencharakter befinden, bewirken hier sogar eine Verminderung der Wärmebelastung.

Die Neubaugebiete zeigen eine typische Struktur. Bei insgesamt hoher Belastung sind große Unterschiede auf kleinem Raum vorhanden, die hauptsächlich durch die Schattenwirkung und Windabbremmung der Bebauung zustande kommen.

Weitere Unterschiede, so die stärkere Belastung der Waldstadt und die geringere des Wohngebietes am Schlaatz, sollten nicht überbewertet werden (siehe auch Pkt. 6).

Innerhalb der belasteten Stadtgebiete heben sich deutlich der Babelsberger Park, Kapellenberg und Pfingstberg, Ruinenberg, sowie Teile des Parks von Sanssouci und des Neuen Gartens heraus. Auf Grund der Höhenlage und des Baumbestandes stellen diese Gebiete "Inseln" mit geringer thermischer Belastung dar, die durch ihre Nähe zu den dichtbesiedelten Stadtgebieten einen hohen Stellenwert besitzen. Sie eignen sich besonders für den kurzzeitigen Freiluftaufenthalt und ermöglichen es auch, Personengruppen mit einem geringeren Aktionsradius wie Kleinkindern oder alten Menschen, weniger belastete Gebiete aufzusuchen.

Die geringsten bioklimatischen Belastungen sind jedoch über den größeren Wasserflächen (Templiner See, Fahrländer See) sowie den ausgedehnten Waldgebieten zu erwarten. Der Gegensatz zwischen Wäldern und den umgebenden Freiflächen ist besonders kraß, was auf die weitgehende Abschirmung der direkten Sonneneinstrahlung durch das Blätterdach zurückzuführen ist. Innerhalb des Waldes werden die randnahen Bereiche "kühler" empfunden, da sich hier (wenn auch sehr stark reduziert) noch ein Windeinfluß bemerkbar macht. Insbesondere die seenahen Bereiche (z.B. die Südspitze von Hermannswerder) weisen die niedrigsten Belastungsstufen aus. Bei größeren Wäldern geht mit zunehmender Entfernung vom Waldrand diese Windbeeinflussung rasch zurück, was sich in einer Verstärkung der Wärmebelastung bemerkbar macht. Auch innerhalb von Waldgebieten sind die bioklimatischen Verhältnisse noch differenziert: Kuppenlagen (mit erhöhter Windgeschwindigkeit) sind geringer wärmebelastet als die Umgebung (Ruinenberg, Schäferberg, Kellerberg, Zedlitzberg oder Schwarzer Berg).

Die Teile der Parforceheide, die zum Stadtgebiet von Potsdam gehören, sind wie alle geschlossenen Waldgebiete thermisch gering belastet. Gleiche Bedingungen sind auch für die östlich der Autobahn gelegenen Teile anzunehmen. Damit ist die Parforceheide besonders gut geeignet, den Anwohnern der großen Wohngebiete Am Stern, Drewitz und Kirchsteigfeld als nahegelegenes Erholungsgebiet zu dienen, in dem sie sich der thermischen Belastung entziehen können. Für eine solche Nutzungsmöglichkeit müßten aber weitere Zugänge über die Autobahn für Fußgänger und Radfahrer geschaffen werden.

Bioklimatisch von Bedeutung, sind auch die in Abschnitt 2.5.3 beschriebenen bodennahen Durchlüftungsverhältnisse. In der schlecht durchlüfteten Innenstadt kommt es zur Ansammlung kaltfeuchter Luft, die besonders im Winter auch mit Schadstoffen angereichert sein kann.

Die Uferzonen der Havel und die Nutheniederung sind zwar etwas besser durchlüftet, hier besteht aber ein größeres Feuchteangebot.

Diese Bedingungen wirken sich besonders ungünstig auf Menschen mit chronischen Erkrankungen der Atemwege aus, so daß große Teile des Stadtgebietes für diese Menschen als Wohngegend nicht geeignet sind. Günstigere Verhältnisse finden sich in den höheren Wohnlagen am Brauhaus- und Telegraphenberg, Babelsberg, Pfingstberg und Ruinenberg sowie auf dem Bornstedter Feld.

Zusammenfassend können die bioklimatischen Bedingungen folgendermaßen bewertet werden:

Große Teile der Innenstadt weisen ungünstige bioklimatische Bedingungen auf. Parkanlagen und Waldgebiete sind in großer Zahl und Ausdehnung vorhanden und befinden sich in geringer Entfernung zu den dichtbesiedelten Stadtgebieten. Sie üben damit eine Ausgleichsfunktion aus, die auf Grund der kleinräumigeren Kaltluftflüsse zwar nur in geringerem Maße zur Verbesserung des Bioklimas in der Innenstadt beiträgt, es aber den Bewohnern ermöglicht, sich bei ihrem Freiluftaufenthalt den bioklimatischen Belastungen zu entziehen.

Nicht zuletzt stellen die vielen Wasserflächen ein besonders gutes Erholungspotential dar.

Die für eine spätere Wohnbebauung vorgesehenen Flächen, besonders das Kirchsteigfeld und das Bornstedter Feld weisen bereits in unbebautem Zustand hohe thermische Belastungen auf. Einer Verschlechterung kann durch möglichst lockere Bebauung und durch Anpflanzung von Bäumen begegnet werden.

2.5.6 Nebelstruktur und Sonnenscheindauer

Nebelstruktur und effektiv mögliche Sonnenscheindauer spielen - neben den bioklimatischen Bedingungen - bei der Konstruktion der Klimaeignungskarte "Erholung" eine große Rolle. Auch bei der Planung von ganz speziellen Vorhaben, wie etwa der Errichtung von Krankenhäusern, Sanatorien oder Kureinrichtungen (nach Möglichkeit im Bereich der nebelfreien, warmen Hangzone), der Standortwahl von Freischwimmbädern oder der optimalen Nutzung von Solarenergieanlagen (hohe effektiv mögliche Sonnenscheindauer), sind diese "Phänomene" von Bedeutung.

Weite Teile des Untersuchungsgebietes befinden sich innerhalb des Talnebelbereiches (Abb. 7), dessen Obergrenze bei etwa 65 m über NN (ca. 30 m bis 40 m über dem Niveau der Seeflächen) liegt. Großräumig ragt nur das höhergelegene, walddreiche Gelände um den Telegraphenberg/Kleiner Ravensberg aus dem Talnebelbereich heraus. Im Gebiet der nebelfreien, warmen Hangzone befinden sich weiterhin viele kleinere, isolierte Kuppenlagen wie der Babelsberg, der Ruinenberg, die langgestreckte Kammlage des Pfingstberges, der Windmühlenberg oder der große/kleine Herzberg. Regionen, die im Hoch- bzw. Wolkennebelbereich liegen, treten im Untersuchungsgebiet wegen der zu geringen Höhenlage nicht auf.

In weiten Teilen des Untersuchungsgebietes findet keine wesentliche - durch Horizontabschattung verursachte - Reduktion der effektiv möglichen Sonnenscheindauer statt. Auf einigen (im Talnebelbereich gelegenen) Kuppenlagen kann die effektiv mögliche Sonnenscheindauer sogar etwas größer sein als in ebenem Gelände.

Reduktionsraten von mehr als 10% (gegenüber ebenen Flächen) sind sehr selten. Im Untersuchungsgebiet wird die Sonnenscheindauer nur am Fuße der etwas steileren Hanglagen (entlang dem Ostufer des Templiner Sees sowie an einigen Stellen des Pfingstberges und des Schäfereiberges) um diese Rate reduziert.

Ähnliche Verhältnisse treten auch in einigen wenigen Tal- oder Muldenlagen auf wie dem See bei Bornstedt (leichte Muldenlage und Ostabschirmung durch Ruinenberg) oder dem Talausgang bei Bornim.

Eine Reduzierung der effektiv möglichen Sonnenscheindauer um mehr als 20% tritt fast nur an den Steilhängen der Sandgrube östlich des Templiner Sees auf. Auch sehr steile Hanglagen am Ostufer dieses Sees zeichnen sich durch derartige Reduktionsraten aus.

In der kartographischen Darstellung der Ergebnisse ist die nebelfreie, warme Hangzone grün dargestellt. In diesem Bereich erfolgt keine Berechnung der effektiv möglichen Sonnenscheindauer.

2.5.7 Erholungseignung

Schlecht zur Erholung geeignet sind die hochbelasteten Siedlungsgebiete im Bereich des Talnebels (große Teile von Potsdam und Babelsberg), s. Abb. 8. Innerstädtische Freiflächen wie Parks, Grünflächen oder Gewässer (südlich von Schloß Sanssouci) mit ihren geringeren bioklimatischen Belastungen zeichnen sich durch mäßige (z.T. sogar gute) Erholungseignung aus. Kleinere Waldlichtungen, die Randbereiche von Wäldern und größeren baumbestanden Freiflächen (z.B. im Nordwesten des Untersuchungsgebietes) sowie die Sandgrube im Süden Potsdams sind aufgrund ihrer hohen bioklimatischen Belastungen für Erholungszwecke ebenfalls wenig geeignet.

Die größeren zusammenhängenden Freiflächen im Talnebelbereich (nordwestlich von Potsdam, der Talgrund des Nuthetales und dessen unbebaute Hanglagen) sind nur mäßig zur Erholung geeignet, weil fehlender Schatten und der dadurch bedingte verstärkte Strahlungsgenuß zu erhöhter Wärmebelastung führen. Lediglich einige kleinere Seen bzw. Teiche oder die bewaldeten Stellen im Bereich der Siedlung Waldstadt eignen sich gut zur Erholung. Trotz günstiger bioklimatischer Bedingungen ist der bewaldete Hangbereich am Ostufer des Templiner Sees nur mäßig zur Erholung

geeignet, da hier aufgrund der starken Hangneigung eine beträchtliche Reduktion der effektiv möglichen Sonnenscheindauer stattfindet.

Großflächig gut geeignet für Erholungszwecke sind die großen Seenflächen und deren Uferbereich. Auch die im Bereich der nebelarmen, warmen Hangzone gelegenen Waldgebiete südlich von Potsdam besitzen einen hohen Erholungswert.

In unmittelbarer Nähe zu Potsdam und Babelsberg gelegen, zeichnen sich der Ruinenberg, der Pfingstberg und der Babelsberg kleinräumig durch eine gute Erholungseignung aus.

3 Datengewinnung

3.1 Meßeinsatz vom 24.-26. Mai 1993

3.1.1 Programm des Meßeinsatzes

Zur Verifizierung und gegebenenfalls auch zur Präzisierung der Ergebnisse, die mit der Anwendung der Klimamodelle gewonnen wurden, sind während einer charakteristischen Strahlungswetterlage sowohl stationäre Messungen von Wind, Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte vorgenommen als auch Profilmfahrten und Vertikalsondierungen durchgeführt worden.

Bild 1 zeigt die mobile Meßeinheit am Einsatzort Drewitzer Nuthewiesen. Im Bild 2 ist der Profilmesswagen mit Meßgeräteausrüstung dargestellt.

3.1.2 Wetterlage

Während des Meßeinsatzes vom 24. bis 26. Mai 1993 erstreckte sich eine Hochdruckbrücke vom nördlichen Schottland über das südliche Dänemark nach Südosten. Die Wetterkarte vom 25.05.93, 00 Uhr UTC zeigt, daß die Südflanke der Brücke bis in den Raum Potsdam reichte (Abb. 9).

Am Montag, dem 24.05.93 war es tagsüber wolkelig, teils heiter. Bei einer Sonnenscheindauer von 6,7 Stunden (Δ 42% der astronomisch möglichen) wurde eine Höchsttemperatur von 22,1 °C erreicht. Zum Abend hin klarte es auf, und mit Aufnahme der Messungen zeigte sich der Himmel wolkenlos. Das Satellitenbild (Abb. 10) spiegelt die nächtlichen großräumigen Bewölkungsverhältnisse wider. Der Wind wehte schwach aus südlicher Richtung.

Am 25.05.93 wurde bei geringen Luftdruckgegensätzen ein Tagesmaximum der Lufttemperatur von 24,8 °C erreicht. Die Sonnenscheindauer betrug 12,4 Stunden (Δ 77% der astronomisch möglichen). Zu Beginn der zweiten Meßnacht wehte der Wind aus Nordwest und drehte zum Ende auf Nordost.

Die Nächte zeichneten sich als Strahlungsnächte, wie im Kapitel 1.2 beschrieben, aus; lediglich in der Nacht zum 26.05.93 wurde die Ausstrahlung durch von Norden heranziehende Tiefausläufer und damit verbundener Bewölkung in der Schlußphase beeinträchtigt.

3.1.3 Stationäre Messungen

An folgenden drei Standorten des Untersuchungsgebietes wurden für die Zeit vom 24. bis 26.05.93 temporäre Stationen errichtet.

Standort	Lage zur Stadt	Höhe über NN
Drewitzer Nuthewiesen	im Südosten	ca. 32 m
Bassinplatz	Zentrum	ca. 31 m
Eichenallee/Bornstedt	im Nordwesten	ca. 37 m

Die genaue Lage der Stationen ist der Abb. 11 zu entnehmen. Die Bilder 3 bis 8 geben einen Eindruck von den Standorten.

An den drei Stationen waren vom Mittag des 24.05.93 bis zum Vormittag des 26.05.93 Thermo-Hygrographen für Lufttemperatur- und Luftfeuchtemessungen in 2 m über Grund in Wetterhütten sowie Anemometer für Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsmessungen in 2,5 m Höhe über Grund in Betrieb.

Abb. 12 zeigt den zeitlichen Verlauf der einzelnen meteorologischen Größen während der Meßkampagne.

Bei der Windrichtung entsprechen 360° einem Wind aus Nord; 180° kennzeichnen einen Südwind.

Der Verlauf der Windgeschwindigkeit läßt deutlich einen Tagesgang erkennen. Die nächtliche Stabilisierung der bodennahen Luftschicht führte zur Reduzierung der Windgeschwindigkeit auf nahezu Windstille. Tags wurden die höchsten Werte registriert:

Nuthewiesen: 3,4 m/s
 Zentrum : 1,8 m/s
 Eichenallee: 2,5 m/s

Erwartungsgemäß erreichte die Windgeschwindigkeit auf den frei gelegenen Drewitzer Nuthewiesen die höchsten Werte, und die geschützt liegende Stadtstation im Zentrum registrierte am 24.5.93 von etwa 22.00 Uhr bis etwa 07.00 Uhr am anderen Morgen sogar Windstille. Jedoch lagen die Werte im Zentrum nicht durchweg am niedrigsten, im 2. Teil der Meßkampagne wurde das Minimum in der Eichenallee erreicht. Vermutlich lag das daran, daß durch die Winddrehung auf Nordost die Schutzwirkung der in dieser Richtung vorhandenen Baumgruppe sich auf diese Meßstation auswirkte.

Die bereits erwähnte Winddrehung von anfangs südlichen auf nordwestlich bis nordöstliche Richtungen ist bei allen drei Stationen erkennbar.

Eindrucksvoll sind die großen Tagesschwankungen der Temperatur und der relativen Feuchte an allen drei Stationen. Das tiefste Minimum wurde am Morgen des 25.05.93 auf den Nuthewiesen mit 5,3 °C erreicht. Zum gleichen Termin betrug die Temperatur im Zentrum 10,1 °C und in der Eichenallee 10,0 °C.

Nachmittags wurden sommerliche Werte um 25 °C erreicht.

In der zweiten Nacht, die am Ende bereits von Wolkenfeldern beeinflusst war und somit nicht durchgängig als Strahlungsnacht in Erscheinung treten konnte, sanken die Temperaturen nur noch auf 10,8 °C auf den Nuthewiesen, bzw. 11,0 °C in der Eichenallee und 12,1 °C im Zentrum ab. D. h. die lokalen klimatischen Besonderheiten konnten sich an den drei Standorten nur noch teilweise ausbilden.

Die relative Feuchte als Maß für den Sättigungsgrad der Luft mit Wasserdampf hängt in hohem Maße von der Lufttemperatur ab. Bei gleichem Wasserdampfgehalt ist der Sättigungsgrad bei hohen Temperaturen gering und umgekehrt.

Somit erreichte die relative Feuchte am Morgen ihr Maximum (98 %), was zeitweilig zur Nebelbildung führte; nachmittags dagegen lagen die Werte zwischen 40 und 50%.

3.1.4 Profilmfahrten

Die im vorigen Kapitel beschriebenen stationären Messungen liefern Aussagen über die Verhältnisse in der näheren Umgebung der Meßstellen. Flächenbezogenere Ergebnisse erhält man mit Hilfe von Profil-Meßfahrten. Dazu stand ein spezielles Meßfahrzeug zur Verfügung (s. Bild 2). Registriereinheiten zeichneten während der Fahrt kontinuierlich die Trocken- und Feuchttemperatur auf. Ein mit dem Tachometer gekoppelter Wegstreckenzähler gewährleistete die Zuordnung der gemessenen meteorologischen Parameter zum Meßort, die parallele Druckregistrierung erlaubte die Rekonstruktion des Höhenprofils der Meßstrecke. Aus Lufttemperatur und Feuchttemperatur, gemessen in 2 m über Straßenniveau, wurde das Horizontalprofil der relativen Feuchte berechnet. Die zusätzliche Messung der Lufttemperatur in 0,5 m über Straßenniveau erlaubte darüber hinaus, Bereiche zu finden, in denen zwischen 0,5 und 2 m über Grund eine Temperaturzunahme mit der Höhe und damit eine Inversion mit Kaltluft darunter zu verzeichnen war.

Der Verlauf der Profilmfahrstrecke ist in Abb. 13 eingezeichnet. An dieser Route sind die Fixpunkte A bis Z markiert, die die Zuordnung der gemessenen Werte zum Meßpunkt auf der Profilstrecke erleichtern sollen.

Die Meßstrecke umfaßte insgesamt 42 km und führte rund um Potsdam mit Einbeziehung des Stadtkerns.

Die Abbildungen 14 a,b bis 15 a,b enthalten die Ergebnisse der Profilmfahrten, d. h. die Horizontalprofile von Temperatur und relativer Feuchte in 2 m über Grund, die Differenz der Temperaturen in 0,5 und 2 m über Grund sowie die Höhen über NN. Mit eingezeichnet sind die Fixpunkte A bis Z sowie ausgewählte Orts- und Geländenamen.

Insgesamt wurden in den zwei Nächten (24./25.5.93 und 25./26.5.93) vier Meßfahrten durchgeführt: die erste und die dritte abends, nach Sonnenuntergang, die zweite und vierte morgens, vor Sonnenaufgang.

Wie die Abb. 13 zeigt, begann die Fahrstrecke am Fixpunkt A auf den Drewitzer Nuthewiesen und verlief dann über B, C, D zuerst durch den Ort Drewitz in östlicher, dann in nordöstlicher Richtung über E und F durch die Wohngebiete Drewitz und Am Stern. Von G über H bis I führte die Strecke durch Babelsberg. Von hier aus verlief die Strecke an der östlichen Peripherie des Babelsberger Parks vorbei, über die Glienicker Lake zum Punkt J, auf den man von Klein Glienicke kommend, an der Kreuzung zur Königsstraße traf.

Weiter ging es in westlicher Richtung auf der B1, über die Glienicker Brücke, durch die Berliner Vorstadt bis zum Punkt K. Hier bog die Fahrstrecke von der B1 ab, führte an der Südspitze des Heiligen Sees vorbei zum Punkt L, dem Nauener Tor. Entlang der Pappelallee wurden die Punkte M und N passiert. Der Weg führte dann vorbei an der in der Eichenallee errichteten Station (in der Abb. 13 mit ST bezeichnet), und bog Am Drachenberg (O) nach Süden ab. Auf der Straße Am Neuen Palais, der westlichen Peripherie des Parks Sanssouci wurde am Bahnhof Wildpark der Punkt P erreicht. Vorbei an Q, R, S, dem Gebiet von Potsdam-West, verlief die Fahrt durch die Innenstadt über T zur zweiten Meßstation, die auf dem Bassinplatz stationiert war. Von dort aus wurde über V (Lange Brücke) und W (Friedrich-Engels-Straße) die Siedlung Eigenheim durchfahren. Am Punkt X wurde ins Wohngebiet Schlaatz abgebogen und dieses bis zur Nuthe durchfahren. Dort wendete der Profilmesswagen und die Fahrt endete nach dem Passieren der Waldstadt und des Punktes Z wieder am Anfangspunkt, an der 3. Station auf den Drewitzer Nuthewiesen.

Die Temperatur- und Feuchteverläufe während der 4 Meßfahrten zeigten charakteristische Verteilungsmuster.

Der große Abstand zwischen den zwei Temperaturkurven auf jeder der Abbildungen 14 a,b bis 15 a,b resultierte aus den unterschiedlichen Temperaturniveaus nach Sonnenuntergang und vor Sonnenaufgang. War jeweils zu Beginn der beiden Meßnächte noch ein relativ hohes Temperaturniveau vorhanden, lag es in den 2. Nachthälften im Mittel um 5 K niedriger.

Die Abbildungen weisen die Wohngebiete Drewitz, Am Stern, Babelsberg, Schlaatz, Waldstadt und das Potsdamer Stadtzentrum als relativ warme Gebiete aus, wobei Am Stern und im Zentrum von Potsdam und Babelsberg die höchsten Werte gemessen wurden. Auch eine Mittelbildung über alle 4 Fahrten bestätigte dieses Ergebnis.

In allen Wohngebieten lagen die Temperaturen um 2 bis 4 K höher als in der siedlungsärmeren Umgebung; eine Folge der im Kapitel 1.2 beschriebenen, von der Nutzungsart abhängigen, Kaltluftbildung.

Die niedrigsten Werte wurden auf den Drewitzer Nuthewiesen, in Bornstedt, Klein-Glienicke (in der Nähe der Glienicker Lake - dem Zugang zum Teltowkanal), Am Neuen Palais, in der Teltower Vorstadt und in der Siedlung Eigenheim gemessen.

In Strahlungs Nächten liegen im allgemeinen die Temperaturen in 0,5 m über Grund tiefer als in 2 m Höhe über Grund, da die nächtliche Ausstrahlung zunächst den Erdboden abkühlt. Diese Abkühlung setzt sich dann in den aufliegenden Luftschichten nach oben fort. Deutlich erkennbar ist dieser Vorgang auf den Drewitzer Nuthewiesen: Die Temperaturen in Bodennähe (0,5 m ü. Gr.) lagen durchweg deutlich niedriger als die in 2 m Höhe gemessenen. Nur in Siedlungsbereichen lag die Temperatur am Boden geringfügig höher als die in 2 m, da die tagsüber hier im - häufig versiegelten - Erdboden gespeicherte Wärme länger und in stärkerem Maße die Wirkung der nächtlichen Ausstrahlung kompensiert.

Die relative Feuchte schwankte während der ersten Meßfahrt am 24.5.93 von 21.00 bis 22.45 Uhr zwischen 70 und 90 %, wobei die geringsten Werte Am Stern und im Potsdamer Zentrum registriert wurden. Die feuchtesten Gebiete waren die Drewitzer Nuthewiesen, Raum Bornstedt und die westliche Begrenzung des Parks von Sanssouci. Die zweite Meßfahrt von 03.00 bis 04.44 Uhr am 25.5.93 erfolgte bei Werten über 95 % relative Feuchte im Nebel.

Das Wohngebiet Am Stern und das Stadtzentrum erwiesen sich auch bei den weiteren Meßfahrten als die Gebiete mit den geringsten Feuchtwerten.

3.1.5 Vertikalsondierungen

Um lokalklimatische Eigenarten beschreiben zu können, sind neben den bereits dargelegten Messungen in 2 m Höhe über Grund auch Kenntnisse über die vertikale Verteilung der meteorologischen Größen in der bodennahen Grenzschicht (bis ca. 1 500 m über Grund) notwendig.

Dazu fanden im Meßzeitraum (24. bis 26.5.93) insgesamt 13 Vertikalsondierungen mit Radiosonden (zur Ermittlung von Vertikalprofilen der Temperatur, Feuchte und des Druckes) und Radarwindmessungen (zur Bestimmung der Windgeschwindigkeit und -richtung in der Höhe) statt.

Diese Radiosondenaufstiege wurden insbesondere zwischen Sonnenunter- und Sonnenaufgang durchgeführt, so daß die Messungen die nächtlichen Bodeninversionen erfassen konnten.

Die Ergebnisse der Messungen bis in 500 m Höhe sind in den Abbildungen 16 bis 17 dargestellt. Im linken Diagramm ist jeweils der Temperaturverlauf, im mittleren der Verlauf der relativen Feuchte mit der Höhe zu sehen. Rechts sind die Windpfeile, die Auskunft über Richtung und Geschwindigkeit geben, eingetragen. Die Zeiten geben den Beginn der einzelnen Aufstiege an. Die Sonden wurden auf den Drewitzer Nuthewiesen gestartet (s. Bild 1).

Charakteristisch an den meisten Aufstiegen war, daß vom Boden an die Lufttemperatur zunächst mit der Höhe zunahm und gleichzeitig die relative Feuchte zurückging. Die Obergrenze dieser Bodeninversion lag in den Abendstunden des 24.5.93 bei 70 m über Grund, stieg in der Nacht an bis auf ca. 150 m und reichte in den Frühstunden des 25.5. bis in 212 m Höhe über Grund. Oberhalb der Inversion ist die Abnahme der Temperaturen mit der Höhe erkennbar.

Im Laufe der Nacht wurde die atmosphärische Schichtung in Bodennähe zunehmend stabiler. Es erfolgte am Boden eine rasche Abkühlung von anfangs 12,5 °C auf 5,0°C um 5.30 Uhr. Oberhalb der Inversion war die Temperaturabnahme wesentlich geringer.

Zum Frühaufstieg um 7.00 Uhr hatte sich die Inversion leicht vom Boden abgehoben. Sie begann in 30 m Höhe und reichte bis in eine Höhe von 224 m über Grund.

Die relative Feuchte erreichte an der Inversionsobergrenze jeweils ihren tiefsten Wert und änderte sich oberhalb der Inversionsschicht nur noch wenig. Eine Ausnahme bildete hier ebenfalls der 7.00 Uhr-Aufstieg am 25.5.93. Bis zur Höhe von 30 m, über Grund (Inversionsuntergrenze) stieg die relative Luftfeuchte von 95 auf 98 %; es kam zur Nebelbildung. Oberhalb von 30 m, in der Inversionsschicht, verringerte sich die relative Feuchte auf Werte um 60 %.

Im Bereich der Bodeninversion herrschten bei allgemein geringer Windgeschwindigkeit - sie lag zwischen 0,5 und 4,0 m/s - Winde aus südlichen Richtungen, später südwestlichen und gegen Ende der Nacht aus westlichen Richtungen vor. Oberhalb der Inversion stellte sich meist eine konstante oder sich mit der Höhe nur langsam ändernde Windrichtung ein.

Abb. 17 zeigt die Ergebnisse der Vertikalsondierung der Nacht vom 25. zum 26.5.93. In dieser 2. Meßnacht bildete sich eine flache Bodeninversion bis in etwa 30 m Höhe über Grund aus. Die Temperatur am Boden sank von anfangs 17,2 °C im Verlaufe der Nacht auf 10,8 °C. Zum 7.00 Uhr Termin des 26.5. hatte sich die Bodeninversion aufgelöst.

Die relative Feuchte verhielt sich ähnlich wie in der vorherigen Nacht; sie erreichte in der betrachteten Höhenschicht Werte bis 95 % (7.00-Uhr-Termin).

Im Bereich der Inversionsschicht wurden Windgeschwindigkeiten bis ca. 2,0 m/s gemessen, darüber bis in Höhen von 1 200 m anfangs bis 9,8 m/s, später um 5 m/s mit weiter abflauernder Tendenz.

Die Windrichtung drehte von anfangs Nord auf Nordost.

Die Rechnungen mit dem Modell KLAM ergaben eine Höhe des Kaltluftsammlgebietes von ca. 180 m über NN (s. Kap. 2.5.1) oder etwa 150 m über Grund an der Aufstiegsstelle "Drewitzer Nuthe-wiesen". Die Vertikalsondierungen ergaben jedoch, daß bei der Ausbildung von starken Inversionen in Strahlungs Nächten die Obergrenze der Bodeninversion auch in den Übergangsjahreszeiten höher liegen kann - bis maximal 212 m über Grund. Der Unterschied ergibt sich daraus, daß das KLAM eine Inversionsobergrenze ermittelt, die sich allein aus der Kaltluftproduktionsrate an der Erdbodenoberfläche ergibt. Die Vertikalsondierungen decken zusätzlich Prozesse auf, die die Bildung von Inversionen in der freien Atmosphäre bewirken, wie Warmluftzufuhr in der Höhe und Absinkvorgänge im Bereich einer Zone hohen Luftdruckes.

3.1.6 Diskussion der Ergebnisse

Die Methode der Temperaturaufnahme durch Meßgänge und Meßfahrten vermittelt einen vollständigen Überblick über die zur Zeit der Messung in der Stadt und ihrer Umgebung aufgetretenen Temperaturunterschiede. Dieser Überblick bezieht sich jedoch zunächst nur auf diesen bestimmten Zeitpunkt (also auf ein bestimmtes "Wetter").

Rückschlüsse auf die durchschnittlichen, typischen Verhältnisse, auf das Klima, sind nur mit Vorbehalt möglich.

Am günstigsten ist eine Kombination aus beiden Methoden, d. h. der Aufbau eines Sondernetzes von temporären Stationen, an für das Klima der jeweiligen Stadt besonders typischen Standorten, das für einen längeren Zeitraum (mindestens 1 Jahr, besser 2 Jahre) unterhalten wird.

Eine andere Möglichkeit der Verdichtung der zeitlichen und räumlichen Folge der Messungen besteht darin, die Meßfahrten zu wiederholen. Es kann sich dabei zeigen, daß bei ausgeprägten Unterschieden zwischen Stadt und Umgebung die zufälligen Züge in einer einzelnen Temperaturaufnahme gegenüber den gesetzmäßigen stark zurücktreten, so daß i. a. eine oder nur wenige Meßfahrten in Strahlungsnächten auch für das Stadtklima aussagekräftig sein können.

Die Profilmfahrten, die temporären Messungen und die Vertikalprofile zeigen ein sehr komplexes Bild von den meteorologischen Vorgängen während nächtlicher Strahlungswetterlagen.

Das Hauptgewicht lag in dem Erkennen von gemeinsamen Strukturen. Obwohl nur vier Meßfahrten, und die parallele Erfassung von Temperatur, Feuchte und Wind an 3 temporären Stationen sowie 13 Radiosondenaufstiege für Auswertungen zur Verfügung standen, sind charakteristische Merkmale dennoch gut zu erkennen.

Die Ergebnisse der Klimamodelluntersuchungen wurden durch die Messungen weitgehend bestätigt und noch untersetzt.

Die Simulation mit dem Kaltluftabflußmodell (KLAM) ergab, daß in Strahlungsnächten das gesamte Untersuchungsgebiet innerhalb des Kaltluftsammegebietes liegt, das Höhen bis 180 m über NN erreicht. Die Messungen ergaben, daß sich die Kaltluft sogar bis in eine Höhe von 244 m über NN ansammeln kann. Der vom Modell errechnete Kaltluftstau im Nuthetal spiegelt sich auch in den Meßprotokollen deutlich wider. An einigen Stellen (z. B. Fixpunkt F) bestätigen die Meßergebnisse nicht die simulierten Kaltluftstaugebiete. Zum Teil ist das auf nicht aktuelle topographische Karten zurückzuführen, die der Digitalisierung zugrunde lagen. Andererseits wurden durch die Profilmfahrten und temporären Messungen Kaltluftstaugebiete gefunden, die das Geländeklimamodell nicht simuliert hat. Dies war am Fixpunkt Q in Potsdam-West der Fall.

Diese Gebiete waren zu kleinräumig, um modellmäßig erfaßt zu werden.

3.2 Daten aus dem meteorologischen Meßnetz

3.2.1 Meßwerte der Wetterstation Potsdam vom 24.-26.5.93

Parallel zu dem im vorigen Kapitel beschriebenen Meßeinsatz wurden die meteorologischen Daten routinemäßig an der Wetterstation Potsdam (Säkularstation) erfaßt.

Die Station Potsdam befindet sich am Südrand der Stadt, 600 m vom Stadtrand entfernt, am Nordwesthang des Telegraphenberges in einer Höhe von 81 m über NN. Das Gelände in der unmittelbaren Umgebung ist flach mit mäßig geneigten Anteilen; nach Westen bis Nordwesten stärker abfallend, nach Süden ansteigend und nach Westen bis Nordwesten offen.

Die Station liegt innerhalb eines größeren, im Süden an die Stadt anschließenden Waldgebietes.

Die Abbildungen 18 a,b geben einen Eindruck über den Verlauf der Lufttemperatur und der relativen Feuchte während der Zeit des Meßeinsatzes an der Wetterstation Potsdam und an den drei temporären Stationen. Deutlich treten die lokalklimatischen Effekte, wie sie im Kapitel 1.2 beschrieben sind, in Erscheinung.

Während in der klaren Strahlungsnacht auf den Drewitzer Nuthewiesen ein Temperaturminimum von 5,9 °C gemessen wurde, betrug zur gleichen Zeit der Wert an der Säkularstation 13,5 °C, im Zentrum 10,3 °C und in der Eichenallee 9,6 °C. Das Minimum der zweiten Meßnacht, die bereits von heranziehender Bewölkung beeinflusst war, betrug auf den Nuthewiesen 11,3 °C, an der Säkularstation 12,3 °C, im Zentrum 12,8 °C und in der Eichenallee 11,5 °C. Erwartungsgemäß zeigten sich in der Strahlungsnacht vom 24. zum 25.5.93 die Werte der relativen Feuchte an den drei temporären Stationen höher als an der ca. 50 m höher gelegenen Säkularstation.

Die Werte der nachfolgenden Tabelle bestätigen, daß lokalklimatische Phänomene besonders deutlich in Strahlungsnächten (wie 1. Nacht vom 24. zum 25.5.93) in Erscheinung treten:

Tabelle 4: Maximale Differenzen der Temperaturminima in K an den Stationen

	Säku - Nuthewiesen	Säku - Zentrum	Säku - Eichenallee
1. Nacht	7,6	3,2	3,9
2. Nacht	1,0	-0,5	0,8

Sowie jedoch die nächtlichen Ausstrahlungsbedingungen durch Wolkenbildung o. ä. beeinträchtigt wurden (wie 2. Nacht vom 25. zum 26.5.93) traten die lokalklimatischen Effekte im Untersuchungsgebiet nur noch unwesentlich in Erscheinung.

3.2.2 Vergleich vieljähriger Meßreihen der Stationen Potsdam (Säkularstation) und Schlaatz

In etwa 2,3 km Entfernung in östlicher Richtung von der Säkularstation befand sich von 1969 bis 1984 eine Außenstelle des Potsdamer Observatoriums, die Station "Schlaatz" (s. Abb. 19). Die Station war von feuchten Nuthewiesen umgeben, die vorwiegend als Weideland genutzt wurden. Die nächsten Wohnsiedlungen befanden sich in nördlicher und südlicher Richtung in etwa 1 km Entfernung. Die Stadt Potsdam lag in westlicher bzw. nordwestlicher Richtung in 3 km Entfernung.

Auf Grund von Wohnungsneubauten, die seit 1981 auf den Nuthewiesen entstanden und die die notwendigen Meßbedingungen, wie z. B. die Horizontfreiheit, zunehmend einschränkten, wurde die Station, an der vorwiegend meteorologische Strahlungsmessungen vorgenommen wurden, im Jahre 1984 in die Ravensberge verlegt. Damit wurde auch die bis zu diesem Zeitpunkt vorliegende Meßreihe "Schlaatz" abgebrochen.

Neben den Spezialmessungen der Strahlungskomponenten wurden auch andere Elemente, wie Lufttemperatur und Feuchtegrößen mit aufgezeichnet.

Die Abbildungen 20 bis 22 zeigen einen Vergleich der Jahresgänge von meteorologischen Größen, die im Zeitraum 1970 bis 1984 an der Säkularstation (Säku) und auf dem Schlaatz gemessen wurden.

In der Abb. 20 ist zu erkennen, daß bei der Gegenüberstellung der mittleren Monatsmittel der 13-Uhr-Werte nur geringe Differenzen zwischen den beiden Stationen auftraten. In den Sommermonaten lagen erwartungsgemäß die Mittagstemperaturen an der Säku höher als auf dem Schlaatz. Deutlichere Unterschiede zeigten die mittleren Monatsmittel der 7-Uhr-Werte. Hier repräsentierte die ca. 50 m tiefer gelegene Schlaatz-Station in den meisten Monaten ein kälteres Gebiet als die Säkularstation.

Bei der Betrachtung der gemittelten Extremwerte der Lufttemperatur in Abb. 21 zeigen sich kaum Unterschiede. Die Kurven der absoluten Minima (die erfahrungsgemäß meist in Strahlungsnächten gemessen werden) weisen jedoch darauf hin, daß auf dem Schlaatz in fast allen Monaten die niedrigsten Minima auftraten.

Die Wirkung der feuchten Nuthewiesen ist aus der Abb. 22 erkennbar. Die mittleren Monatsmittel der 13-Uhr-Werte der relativen Luftfeuchte lagen in nahezu allen Monaten wenig höher als die Werte an der Säkularstation. Im Sommer wirkt sich in den Frühstunden der Waldeinfluß an der Säkularstation auf die relativen Feuchtwerte aus. Sie liegen leicht höher als auf dem freien Gelände des Schlaatz.

Der Vergleich 15jähriger Parallelmessungen an der 81 m ü. NN gelegenen Station auf dem Telegraphenberg und an der 33 m ü. NN gelegenen Station Schlaatz auf den Nuthewiesen zeigt, daß unter bestimmten Bedingungen (Strahlungswetterlage) jede der beiden Stationen eine besondere lokalklimatische Lage innerhalb des Untersuchungsgebietes charakterisiert. Die Differenzen werden bei der Betrachtung langjähriger Mittelwerte jedoch verschwindend gering.

Die Verhältnisse der damaligen Schlaatz-Station sind heute auf die noch vorhandenen feuchten Nutheniederungen übertragbar. Nicht zutreffend sind die beschriebenen lokalklimatischen Effekte auf das heutige Wohngebiet "Schlaatz". Durch Aufschüttungen, Bebauung, Versiegelung von Freiflächen wurde hier das ehemals vorhandene Niederungsklima verändert (s. Kap. 3.1.4).

4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Nachdem im Teil I des Gutachtens über das Stadtklima von Potsdam die regional vorherrschenden Klimaverhältnisse in der Stadt und in ihrer Umgebung auf der Grundlage von 100- bzw. 30jährigen Beobachtungsreihen der Wetterstation Potsdam dargelegt wurden, erfolgte im vorliegenden Teil II die Untersuchung der lokalklimatischen Besonderheiten.

Ausgehend von einer allgemeinen Einführung in die Problematik der lokalklimatischen Phänomene wurden die Grundlagen der verwendeten Modelle erläutert und Ergebnisse der Modelluntersuchungen an Hand von Klima- und Klimaeignungskarten dargelegt.

Die Aussagen der Modell-Simulationen wurden mit Sondermessungen - Profilmfahrten, temporäre Stationen, Vertikalsondierungen - verifiziert und präzisiert. Sie fanden während einer Wetterlage statt, die das Erkennen von lokalklimatischen Eigenarten ermöglichte.

Bei den in unserem Raum häufigen Westwetterlagen mit allgemein windiger und unbeständiger Witterung bestimmen die Eigenschaften der herangeführten Luftmasse das Wetter; lokale Besonderheiten können nur zeitlich und räumlich begrenzt hervortreten.

Aber auch im relativ wenig gegliederten Gelände des Untersuchungsgebietes (ca. 30 m bis 114 m ü. NN) traten in Strahlungsnächten deutliche Unterschiede im Lokalklima hervor. In Kurzform stellen sich die Ergebnisse wie folgt dar:

1. In klaren windschwachen Sommernächten liegt das gesamte Untersuchungsgebiet innerhalb des Kaltluftsammlgebietes mit seinen schlechten Durchlüftungsverhältnissen.
2. Die Höhe der Obergrenze des Kaltluftsammlgebietes wurde theoretisch ermittelt:

Sommer	: 144 m ü. NN
Winter	: 217 m ü. NN
Übergangsjahreszeit:	180 m ü. NN

Die Messungen ergaben, daß sich die Kaltluft bis in Höhen von ca. 240 m ü. NN ausbilden kann.

3. Kaltluftstaugebiete kleineren Ausmaßes treten an vielen Stellen, z. B. Waldlichtungen oder Schneisen von Verkehrswegen, die durch größere Waldgebiete verlaufen, auf.
4. Ein langgestreckter, schmaler Kaltluftstau bildet sich im Nuthetal aus.

-
5. In den Lagen zwischen 26 m und 50 m ü. NN muß an etwa 60 % aller Tage im Jahr mit Temperaturinversionen von mindestens 100 m Mächtigkeit gerechnet werden. Mit zunehmender Höhenlage nimmt die Inversionshäufigkeit zunächst langsam, ab Höhenlagen um 150 m ü. NN rapide ab. Damit ist nahezu das gesamte Untersuchungsgebiet besonders inversionsgefährdet; lediglich die höchsten Erhebungen südlich von Potsdam weisen eine geringere Inversionshäufigkeit auf.
 6. Aufgrund geringer mittlerer Windgeschwindigkeiten im Stadtgebiet von Potsdam (< 2 m/s) in Verbindung mit einer hohen Inversionshäufigkeit ist der überwiegende Teil der Stadt schlecht durchlüftet. Die von einem hohen Freiflächenanteil geprägten Teile des Nuthetales, der äußerste Nordwesten des Untersuchungsgebiets sowie das höher gelegene Gelände nördlich des Ruinenberges sind gut durchlüftet.
 7. Das in Hauptwindrichtung verlaufende Gewässersystem aus Templiner See, Tiefer See und Havel erweist sich als natürliche "Ventilationsschneise".
 8. Große Teile der Innenstadt von Potsdam und Babelsberg weisen auf Grund der starken Wärmebelastung ungünstige bioklimatische Bedingungen auf.
 9. Für Erholungszwecke als gut geeignet erweisen sich die großen Seenflächen und deren Uferbereiche, die südlich von Potsdam gelegenen Waldgebiete und die innerstädtischen Park- und Grünanlagen.
 10. Die Ergebnisse der Klimamodelluntersuchungen wurden durch Messungen weitgehend bestätigt und z. T. noch unterschätzt.
 11. Die während des Meßeinsatzes vom 24. bis 26.5.1993 ermittelten Lufttemperaturen wiesen Differenzen zwischen den Stationen Drewitzer Nuthewiesen, Bassinplatz und Eichenallee bis zu 4,8 K auf.
 12. Verglichen mit den zeitgleich durchgeführten Routinemessungen an der Säkularstation Potsdam ergaben sich Differenzen (Säku-Nuthewiesen) bis zu 7,6 K. Zwischen 3,2 und 3,9 K lagen die Differenzen zwischen der Säkularstation und dem Zentrum bzw. der Eichenallee.
-

-
13. Bei Beeinträchtigung der Bedingungen einer windschwachen und wolkenarmen Strahlungsnacht (durch heranziehende Wolkenfelder) wurden die Differenzen unbedeutend und die Messungen der Säkularstation Potsdam repräsentierten sowohl das Stadtgebiet als auch seine Randbereiche gut.

 14. Auch eine Gegenüberstellung von 15jährigen Parallelmessungen an der Säkularstation und an der ehemaligen Station Schlaatz zeigten eine gute Repräsentanz der Werte der Säkularstation für das feuchte Niederungsgebiet. Eine Ausnahme wurde auch hier deutlich: In Nächten mit ausgeprägten Temperaturminima (Strahlungsnächten) bildeten sich die typischen lokalklimatischen Phänomene klar aus.

5 Empfehlungen für die zukünftige Stadtentwicklungsplanung

5.1 Allgemeine Planungshinweise

Für die Ausweisung von Erholungsgebieten, die Planung von Erholungs-/Sporteinrichtungen, Sanatorien oder Krankenhäuser kann die Klimaeignungskarte "Erholung" direkt herangezogen werden. Gleiches gilt für den wichtigen Bereich der Freiflächensicherung, für den entsprechende Klimarestriktionskarten erstellt wurden. Die Regional- bzw. Stadtplanung ist jedoch ein äußerst komplexes Gebiet mit vielen Planungsaspekten, die nicht alle in Form einer Klimaeignungskarte (bzw. Klimarestriktionskarte) berücksichtigt werden können.

Aus diesem Grunde sollen in den folgenden Abschnitten allgemeine Planungshinweise gegeben werden, um eine optimale Nutzung des umfangreichen Kartenmaterials zu gewährleisten und eine Einbeziehung der klimatischen Gegebenheiten in den Planungsprozeß zu ermöglichen.

Bei der Planung von neu zu errichtenden Siedlungsgebieten spielen sowohl die dort herrschenden bioklimatischen Verhältnisse als auch die Durchlüftungsverhältnisse eine große Rolle. Gut durchlüftete Gebiete in Verbindung mit einer guten Erholungseignung sind in der Regel auch für Wohnbebauung geeignet. Lokale Windsysteme (nächtlicher Kaltluftabfluß, Talabwinde) sollten bei der Siedlungsplanung ebenfalls berücksichtigt werden. Neu zu errichtende Wohnsiedlungen, die im Einzugsbereich solcher Windsysteme liegen, sollten sich durch eine aufgelockerte, von Grünflächen durchsetzte Bebauung auszeichnen. Die Ausrichtung von Gebäuden sowie Straßen sollte parallel zur Fließrichtung erfolgen, damit kein Kaltluftstau entsteht und eine hohe Eindringtiefe bzw. ein Durchströmen der Kaltluft/Frischlufte gewährleistet wird. Aus dem gleichen Grund sollte neue Bebauung in Tälern parallel zum Gefälle der Talsohle liegen, wobei der eigentliche Talgrund von jeglichen Hindernissen freizuhalten ist. In keinem Falle jedoch sollten Kaltluftflüsse oder Talabwinde durch querstehende, die Talsohle abriegelnde Blockbebauung behindert werden.

Bei der Ausweisung von Flächen, die zur Bebauung (Wohnen, Gewerbe, Industrie) vorgesehen sind, sind nach Möglichkeit folgende allgemeine Regeln zu beachten (REGIONALE LUFTAUSTAUSCHPROZESSE, 1979):

- Kaltluftproduzierende und -transportierende Flächen sollen um insgesamt nicht mehr als 5% verkleinert werden.
- Kaltluftproduzierende und -transportierende Flächen sollen nicht zerschnitten, zerstückelt oder eingeengt werden.
- Neu auszuweisende Siedlungsgebiete sollen an bestehende bebaute Gebiete anschließen, sofern keine Konflikte mit der "Freiflächensicherung" entstehen.

Auf Fragen nach Bebauungsdichte, Gebäudehöhe, Grünflächenanteil und Versiegelungsgrad lassen sich kaum allgemeingültige Planungsaussagen machen, da dieser Aspekt von einer Vielzahl von Faktoren (Gebäudeausrichtung, Baumaterial, unmittelbare Umgebung usw.) abhängig ist, die nur im konkreten Einzelfall berücksichtigt werden können. Moderne Methoden in der Klimatologie bieten jedoch auch hier Lösungsmöglichkeiten (JENDRITZKY, 1987 und SIEVERS/ZDUNKOWSKY, 1986).

Mit der Errichtung neuer Siedlungs- und Gewerbeflächen, aber auch der Erschließung von Naherholungsgebieten ist ein weiterer Ausbau der Verkehrsflächen eng verbunden. Damit steigen auch die Belastungen durch Luftverunreinigungen (Kfz-Emissionen) und Lärm in der unmittelbaren Nähe der Verkehrsflächen an.

Bei der Planung von Verkehrswegen sollten Dammführungen, die zu einer Aufstauung von Kaltluft führen, vermieden werden. In diesem Falle bietet sich die Schaffung von Durchlässen (Brücken oder Überführungen) an, wenn sich im Anstaubereich des Dammes empfindliche Nutzungen befinden oder ein bislang wirksamer Kaltluftfluß in bioklimatisch hochbelastete Gebiete durch die Aufschüttung unterbunden wird.

Je nach Verkehrsdichte muß sowohl mit bodennahen Schadstoffemissionen als auch mit Lärm gerechnet werden. Planerisch läßt sich dieses Problem durch ausreichende Schutzabstände zu angrenzenden Siedlungen lösen. Ist ein solcher Abstand nicht möglich, muß überprüft werden, inwieweit lokale Windsysteme (etwa der ebenfalls bodennahe Kaltluftfluß) in der Lage sind, verunreinigte Luft in den Siedlungsbereich zu transportieren.

Bezüglich der Verkehrssicherheit sollten neugeplante Straßen nicht durch Muldenlagen führen, die dazu neigen, Kaltluftseen - mit erhöhter Glatteisgefährdung und Nebelhäufigkeit - entstehen zu lassen. Ein weiteres Gefahrenmoment für den Straßenverkehr stellt die Gefährdung durch starken Seitenwind dar.

Hier sind hochgelegene Brücken über tiefeingeschnittenen Tälern besonders zu beachten. Das gleiche gilt bei der Planung von Eisenbahntrassen. Bei Straßen, die in Hauptwindrichtung (etwa West-Ost-Richtung) durch geschlossene Waldgebiete verlaufen, besteht durch mögliche Düseneffekte bei Starkwindwetterlagen eine erhöhte Windbruchgefahr.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß bei der Planung von Verkehrswegen aus klimatologischer Sicht sowohl eine Gefährdung des Verkehrs selbst ausgeschlossen werden muß, als auch mögliche Beeinträchtigungen der Umgebung verhindert werden sollten. Da sich beide Betrachtungsweisen nicht von vornherein ausschließen müssen, sollte bei der Trassenführung eine für beide Aspekte optimale Lösung gefunden werden. Erste Anhaltspunkte bei der Planung von Verkehrswegen können den Karten "Lokalklimatisch bedeutsame Flächen" entnommen werden.

Bei der Planung von Standorten für Industrie und Großgewerbe (aber auch Müllverbrennungsanlagen, Kraftwerke u.ä.) sind hauptsächlich lufthygienische Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Die klimatologischen Anforderungen an diese Nutzungsart konzentrieren sich daher in erster Linie auf die Parameter, die die Austauschverhältnisse beschreiben (Windgeschwindigkeit, Durchlüftungsverhältnisse).

Grundsätzlich ist die Errichtung von Industrieanlagen im Bereich des Kaltluftsammlgebietes zu vermeiden. Auch großflächige Gebiete mit schlechten Durchlüftungsverhältnissen eignen sich nicht als Industriestandorte. Es sollte daher überprüft werden, ob sich ein austauschgünstiger Standort außerhalb dieser Zonen finden läßt. Ist eine solche Lage nicht möglich, sollte durch eine ausreichende Schornsteinhöhe das Kaltluftsammlgebiet durchstoßen werden.

Allgemein sollten Industriegebiete durch ausreichende Abstandsflächen von Wohnbereichen getrennt sein. Die Funktion dieser Abstandsflächen besteht einerseits darin, die Grundbelastung bei "normalen" Austauschbedingungen niedrig zu halten, andererseits in der Ausfilterung von Stäuben oder Aerosolen. Innerhalb dieser Abstandsflächen sollten empfindliche Nutzungen wie Altenheime, Krankenhäuser oder Sanatorien nicht realisiert werden. Zur quantitativen Bestimmung der Größe einer Abstandsfläche können vorläufig die im Abstandserlaß des Landes Nordrhein-Westfalen niedergelegten Entfernungen herangezogen werden.

5.2 Empfehlungen

Für zukünftige Stadtentwicklungsplanungen werden vier wesentliche Empfehlungen gegeben:

1. Die im Untersuchungsgebiet vorhandenen Frischluftschneisen, wie
 - der locker bebaute Uferbereich zwischen Potsdam und Babelsberg
 - und*
 - die überwiegend freien Lagen des Nuthetales

sollten in ihrem jetzigen Zustand belassen werden. Um die momentanen Durchlüftungsverhältnisse der Innenstadtbereiche von Potsdam und Babelsberg nicht weiter zu verschlechtern, sind diese Bereiche mit einem hohen Sicherungsgrad zu versehen.

-
2. Die für spätere Wohnbebauung vorgesehenen Flächen, besonders das Kirchsteigfeld und das Bornstedter Feld weisen in unbebautem Zustand bereits eine hohe thermische Belastung auf. Einer Verschlechterung kann durch möglichst lockere Bebauung und einem hohen Grünflächenanteil begegnet werden.
 3. Der geringe Freiflächensicherungsgrad des im nordwestlichen Stadtrandbereiches von Potsdam gelegenen Raumes Bornstedt/Bornim bietet aus klimatologischer Sicht gute Möglichkeiten für eine zukünftige Stadterweiterung.
 4. Aus bioklimatischer Sicht (Verminderung des Wärmeinseleffektes) sollte in den bestehenden Neubaugebieten der Anteil an innerstädtischen Parks und Grünfläche erhöht werden.

6 Empfehlungen für weiterführende meteorologische Untersuchungen

Die vorliegende Beschreibung des klimatologischen IST-Zustandes des Stadt- und des Stadtrandbereiches von Potsdam und die Darstellung der vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den Klimaelementen und der Topographie bzw. der Landnutzung ermöglichen es dem Planer, die Folgen einer Nutzungsänderung auf das lokale Klima abzuschätzen.

Für weiterführende meteorologische Untersuchungen werden folgende Empfehlungen gegeben:

1. Werden in sensiblen Bereichen des Untersuchungsgebietes, wie z. B. in den Frischluftschneisen, Flächennutzungsänderungen geplant, die zu einschneidenden Auswirkungen auf das Stadtklima von Potsdam führen können, wird empfohlen, für den geplanten (SOLL-)Zustand Klima- bzw. Klimaeignungskarten neu erstellen zu lassen.
2. Um die klimatologische Einordnung der Lage des "Standortes" Potsdam zu anderen Regionen innerhalb und außerhalb des Landes Brandenburg vornehmen zu können, werden weitergehende klimatologische Untersuchungen empfohlen.
3. Der Aufbau eines Sondermeßnetzes von temporären Stationen für die Dauer von mindestens 1 Jahr und/oder Wiederholungen der Profil-Meßfahrten würden eine weitere Herausarbeitung von Gesetzmäßigkeiten des Lokalklimas ermöglichen.
4. Die in der Bioklimakarte (Abb. 6) dargestellten thermischen Belastungen basieren auf digitalisierten Datensätzen im 25 m-Raster mit einer geringen Differenzierung der Bebauungsstruktur. In der Innenstadt und besonders in den Neubaugebieten sind damit nur relativ grobe bioklimatische Aussagen möglich.

Um innerhalb bebauter Gebiete eine differenzierte Bewertung vornehmen zu können, müßten eine Digitalisierung der Flächennutzung im 10 m-Raster, sowie Angaben zu Geländehöhe und -dicke, Versiegelungsgrad und Durchgrünung vorliegen.

Es wird empfohlen, für speziell interessierende Teilgebiete, z. B. Planungsgebiete, eine solche hochauflösende Karte zu erstellen. Die Daten dieser Teilgebiete lassen sich in die bereits existierende Datei einkopieren. Auch Planungsvarianten können berücksichtigt werden. Eine solche Karte könnte bei Vorliegen der entsprechenden Angaben zur Bebauungsstruktur bei Bedarf erarbeitet werden. (Die vorgelegte verkleinerte Kopie des Flächennutzungsplanes ist für die Digitalisierung nicht geeignet).

7 Literaturverzeichnis

BENESCH, W.; DUENSING, G.; JURKSCH, G.; ZÖLLNER, R.:

Die Windverhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland im Hinblick auf die Nutzung der Windkraft
Berichte des Deutschen Wetterdienstes
Nr.147, Offenbach a.M., 1978

DEUTSCHER BÄDERVERBAND, DEUTSCHER FREMDENVERKEHRSVERBAND:

Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen, 1987

FANGER, P.O.:

Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering
Mc.Graw-Hill, New York, 1972

GERTH, W.-P.:

Klimatische Wechselwirkungen in der Raumplanung bei Nutzungsänderungen
Berichte des Deutschen Wetterdienstes,
Nr.171, Offenbach a.M., 1986

GERTH, W.-P.:

Anwendungsorientierte Erstellung großmaßstäbiger Klimaeignungskarten für die Regionalplanung
Berichte des Deutschen Wetterdienstes,
Nr.173, Offenbach a.M., 1987

JENDRITZKY, G.; SÖNNING, W.; SWANTES, H.J.:

Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschaftsplanung (Klima Michel-Modell)
Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Band 28, Hannover, 1979

JENDRITZKY, G:

Mesoskalige Untersuchungen des Orographieinflusses auf die thermischen Umweltbedingungen des Menschen
Abschlußbericht Projekt ZMMF/U3,
Freiburg, 1987

JENDRITZKY, G.: Untersuchungen des Wärmehaushaltes von Strassenschluchten und Innenhöfen unter Einsatz der Bioklimastationen und von Modellrechnungen
Abschlußbericht Projekt ZMMF/8,
Freiburg, 1987

REGIONALE LUFTAUSTAUSCHPROZESSE:

Schriftenreihe "Raumordnung" des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bad Godesberg, 1979

REGIONALE PLANUNGSGEMEINSCHAFT UNTERMAIN:

Lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchungen in der Region Untermain
Abschlußbericht, Frankfurt, 1977

SCHIRMER, H.:

Meteorologische Begriffsbestimmungen in der Raumplanung, Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung
Band 1333, Hannover, 1988

SCHIRMER, H.:

Beitrag zur Erfassung der regionalen Nebelstruktur
Geograph. Inst. FU Berlin, Band 13,
Berlin, 1970

SIEVERS, U.; ZDUNKOWSKY, W.G.:

A microscale urban climate model
Beitr. Phys. Atmosph., Nr.59; 1986

SWANTES, H.J.:

Das Waldklima und seine bioklimatische Wirkung auf den Menschen
Heilbad und Klima 33 9/81, 1981

WIPPERMANN, F.:

Die Kanalisierung von Luftströmungen in Tälern
PROMET 3/4'87, Offenbach, 1987

8 Tabellen, Abbildungen, Bilder

- Tab. 1 Zahl der Tage mit Minimumtemperaturinversionen von mindestens 100 m Mächtigkeit in Abhängigkeit von der Höhe; Bezugszeitraum 1980/89 (im Text, S. 14)
- Tab. 2 Mittlere jährliche Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Höhe; Bezugszeitraum 1980/89 (Hindernisanteil 35 %) (im Text, S. 15)
- Tab. 3 Kriterien zur Konstruktion der Karte "Bodennahe Durchlüftungsverhältnisse" (im Text, S. 17)
- Tab. 4 Maximale Differenzen der Temperaturminima an den Stationen (im Text, S. 43)
-
- Abb. 1 Höhe und Landnutzung im Raum Potsdam (im Text)
- Abb. 2 Lokalklimatisch bedeutsame Flächen im Raum Potsdam
- Abb. 3 Jahresmittel der Windgeschwindigkeit im Raum Potsdam
- Abb. 4 Bodennahe Durchlüftungsverhältnisse
- Abb. 5 Freiflächensicherung im Raum Potsdam
- Abb. 6 Bioklimatische Verhältnisse im Raum Potsdam
- Abb. 7 Effektiv mögliche Sonnenscheindauer im Nebelbereich
- Abb. 8 Erholungseignung im Raum Potsdam
- Abb. 9 Wetterkarte vom 25.5.93, 00 UTC
- Abb. 10 Satellitenbild vom 25.5.93, 00 UTC
- Abb. 11 Lage der temporären Stationen
- Abb. 12 Zeitlicher Verlauf der meteorologischen Größen an den temporären Stationen
- Abb. 13 Profilmehrstrecke
- Abb. 14 a und b
Profilmehrfahrten in der Nacht vom 24./25.5.93
- Abb. 15 a und b
Profilmehrfahrten in der Nacht vom 25./26.5.93

-
- Abb. 16 Vertikalprofile in der Nacht vom 24./25.5.93
- Abb. 17 Vertikalprofile in der Nacht vom 25./26.5.93
- Abb. 18 a Meßwerte der Lufttemperatur an der Säku und an den
3 temporären Stationen z. Zt. des Meßeinsatzes
- Abb. 18 b Meßwerte der relativen Feuchte an der Säku und an
den 3 temporären Stationen z. Zt. des Meßeinsatzes
- Abb. 19 Schematische Darstellung der Lage
der Potsdamer Meßstationen
- Abb. 20 Lufttemperatur 7 und 13 Uhr
Mittlere Monatsmittel Säkularstation - Schlaatz
1970/84
- Abb. 21 Extremwerte Lufttemperatur
Säkularstation - Schlaatz
1970/84
- Abb. 22 Relative Luftfeuchtigkeit 7 und 13 Uhr
Mittlere Monatsmittel Säkularstation - Schlaatz
1970/84
- Bild 1 Die mobile Meßeinheit am Standort Drewitzer Nuthe-
wiesen während des Einsatzes vom 24.-26.5.93
- Bild 2 Profilmesswagen auf dem Gelände der Drewitzer Nuthe-
wiesen im Einsatz
- Bild 3 Die temporäre Meßstation auf den Drewitzer Nuthewiesen
Blick in Richtung Nordosten
- Bild 4 Die temporäre Meßstation auf den Drewitzer Nuthewiesen
Blick in Richtung Südwesten
- Bild 5 Die temporäre Meßstation auf dem Bassinplatz in Potsdam
Blick in Richtung Nordwesten
- Bild 6 Die temporäre Meßstation auf dem Bassinplatz in Potsdam
Blick in Richtung Osten
- Bild 7 Die temporäre Meßstation auf dem Standort Eichenallee in
Bornstedt
Blick in Richtung Osten
- Bild 8 Die temporäre Meßstation auf dem Standort Eichenallee in
Bornstedt
Blick in Richtung Norden
-