

VOLKER KAMINSKE

Bioklimatisch orientierte Stadtplanung und der Nutzwert einzelner Maßnahmen Das Beispiel der Stadt Karlsruhe

1. Klimatische Eigenschaften städtischer Siedlungsräume

Stadtklimaeffekte sind zwar schon seit einigen Jahrzehnten bekannt (vgl. A. Peppler 1929, P. Kratzer 1956²), jedoch wurden die dort gewonnenen Erkenntnisse nur sehr zögernd in den Planungsprozeß von Stadt-, Regional- oder Landesplanung übernommen (z. B. H. Bartels u. a. 1977, F. J. Dreyhaupt 1971, A. v. Hesler 1970, Amtsblatt der Stadt Stuttgart Nr. 19, Klimabeilage 1981).

Als primäre Stadtklimaeffekte gelten hierbei:

- Temperaturerhöhung („Wärmeinsel“) durch eine veränderte Strahlungsbilanz,
- zeitlich verschobene Temperaturmaxima und -minima gegenüber dem Umland wegen verringerter Durchmischungsmöglichkeiten der Luftmassen,
- Verringerung der relativen Luftfeuchtigkeit durch höhere Verdunstungsraten,
- Verringerung der Windgeschwindigkeit durch Reibungswiderstände der Gebäude und
- Erhöhung der Niederschlagsmenge durch Auftriebstendenzen über der Stadt und damit verbundene Kondensation.

Diese Veränderungen sind weitgehend wertneutral und behalten sowohl die Möglichkeit von Vegetationszeitverlängerung und Verringerung der Frostdauer als auch die Gefahr häufigerer Nebelbildung im Vergleich zur ländlichen Umgebung.

Daneben treten sekundäre Stadtklimaeffekte auf, die sich vor allem aus der Konzentration der dort arbeitenden und wohnenden Menschen und ihren Bewegungsvorgängen ergeben und sich zeigen können in:

- Luftverunreinigungen aus Heizungsanlagen (auch Sommerbetrieb!), Industrieanlagen und Kraftwerken sowie aus dem Kraftfahrzeugverkehr, die neben möglichen Direktwirkungen auch einen Einfluß auf die Intensität der Sonneneinstrahlung ausüben;
- Verringerung der Luftfeuchtigkeit durch großflächige Versiegelung und Kanalisierung der Stadtinnenflächen mit der Folge einer ungenügenden Feuchtigkeitsspeicherung und -rückhaltung durch Pflanzen und Böden;
- mangelhafter Frischluftbildung durch Verdrängung von natürlichen Grünzonen und Parks durch Straßen- und Wohnungsbau bzw. Blockierung natürlicher Frischluftschneisen.

Erst die Verbindung primärer und sekundärer Stadtklimaeffekte ergibt, bevorzugt bei ganz bestimmten Wetterlagen, möglicherweise belastende bis schädigende Wirkungen. Am bekanntesten sind darunter die sogenannten Smogwetterlagen. Sie sind meist eng an ein bestimmtes Relief (Becken- oder Senkenlage) geknüpft, das seinerseits sowohl den Luftaustausch als auch die

Windgeschwindigkeit verringert und die Ausbildung flacher Inversionsschichten fördert. Aus Gründen der Verkehrslage, der Wasserversorgung oder historisch bedingter Schutzlage befinden sich viele Städte in beckenähnlicher Lage.

Ergeben sich in solchen Gebieten austauscharme, niederschlagsfreie Inversionswetterlagen, so kann mit der Andauer dieser Wetterlage eine kontinuierliche Zunahme der Schadstoffkonzentration bis hin zur Smogwetterlage beobachtet werden. Als Definition für eine solche Situation gilt eine Inversionsuntergrenze unterhalb 700 m über dem Erdboden, in der Schicht selbst eine Temperaturzunahme von mehr als 2° C und eine Windgeschwindigkeit am Boden von weniger als 1.5 m/sec. (Smogverordnung Stuttgart/Karlsruhe 1983).

Das bedeutet, daß während einer solchen Wetterlage die entstandenen Luftverunreinigungen nicht aufsteigen können, weil darüber mit der Inversion eine wärmere und aufstiegshemmende Luftschicht liegt. Genauso ist ein horizontaler Luftaustausch wegen der zu geringen Windgeschwindigkeit fast völlig unterbunden. Ein Auswaschen durch Niederschläge ist innerhalb solcher Wetterlagen ebenfalls nicht zu erwarten.

Tabelle 1:
Merkmalsunterschiede zwischen dem Klima einer Großstadt
und ihrer ländlichen Umgebung

Luftverunreinigungen	Staubteilchen Schwefeldioxid Kohlendioxid Kohlenmonoxid Stickoxide	10mal höher 5mal höher 10mal höher 25mal höher 10mal höher
Sonneneinstrahlung	gesamt auf horizontaler Ebene ultraviolett/Winter ultraviolett/Sommer	10 – 15 % weniger 30 % weniger 5 % weniger
Bewölkung	Wolken Nebel im Winter Nebel im Sommer	5 – 10 % mehr 100 % mehr 30 % mehr
Niederschlag	Menge Tage mit 5 mm	5 – 10 % höher 10 % mehr
Temperatur	jährlicher Mittelwert Winter (Tiefstwert)	1/2 – 1° C höher 1 – 2° C höher
Relative Luftfeuchte	jährlicher Mittelwert Winter Sommer	6 % weniger 2 % weniger 8 % weniger
Windgeschwindigkeit	jährlicher Mittelwert Böen Windstille	20 – 30 % weniger 10 – 20 % weniger 5 – 20 % öfter
Sichtweite		80 – 90 % geringer

Quelle: nach RPU 1977 b, S. 158.

Da der Vorgang der Verstädterung fast zwangsläufig zur Ausbildung stadtklimatischer Effekte obiger Art führt, liegt heute eine wesentliche Aufgabe der Planungsbehörden darin, durch gezielte Maßnahmen negative Auswirkungen auf den Wohnwert einer Stadt oder Region weitgehend abmildern zu helfen. Da mit dieser Einsicht eine teilweise bis zur Einzelobjektplanung hinunterreichende Einschränkung der freien Planung verbunden ist, sind mögliche Maßnahmen und ihr bioklimatischer Nutzwert zu überprüfen, um den größtmöglichen Wirkungsgrad einer Maßnahme innerhalb der spezifischen Situation erreichen zu können.

2. Der Karlsruher Raum in seiner Eignung für bioklimatische Aussagen

Am Beispiel von Karlsruhe, das durch die Lage in der Oberrheinischen Tiefebene dem Typ beckenartig gelagerter Siedlungen entspricht und das durch Anzahl und Zeitdauer von Inversionsbildungen potentiell smoggefährdet ist, sollen die natürlichen Gegebenheiten und die durch Planung beeinflussbaren Verhältnisse in ihrem Nutzwert für die Stadtplanung nach mehreren Kriterien untersucht werden.

Tabelle 2:
Anzahl der Inversionen in Abhängigkeit von Temperaturgradient und Monat (1963 – 1971)

Monat	Temperaturgradient/100 m (°C)				
	≥ 0.0	≥ 0.5	≥ 1.5	≥ 2.5	≥ 3.5
Januar	189	124	67	19	5
Februar	177	115	58	27	10
März	193	136	73	34	12
April	210	159	90	40	12
Mai	239	192	88	32	6
Juni	237	194	83	21	3
Juli	257	224	127	50	7
August	256	197	111	42	10
September	243	209	132	45	5
Oktober	229	178	107	41	13
November	182	115	57	25	11
Dezember	168	94	34	12	2

Tabelle 3:
Mittlere Gesamtdauer (Std.) der Inversionen in Abhängigkeit von der Temperaturdauer und mittlerer Andauer
(Sommer = So, Winter = Wi)

Mittl. Andauer (Std.)	Temperaturgradient (°C)/100 m									
	≥ 0.0		≥ 0.5		≥ 1.5		≥ 2.5		≥ 3.5	
	So	Wi	So	Wi	So	Wi	So	Wi	So	Wi
1. 5	214	226	235	130	168	88	93	33	9	18
4. 5	382	454	450	256	319	135	112	58	27	9
7. 5	892	435	937	345	667	150	135	75	60	22
10. 5	1743	388	1543	493	399	199	84	115	—	—
13. 5	1957	661	864	553	145	243	—	27	—	—
16. 5	874	957	231	511	—	165	—	—	—	—
19. 5	448	604	78	175	—	58	—	—	—	—
22. 5	90	180	22	45	—	—	—	—	—	—
25. 5	—	76	51	51	—	—	—	—	—	—
28. 5	28	57	—	28	—	—	—	—	—	—
31. 5	31	189	—	63	—	—	—	—	—	—
34. 5	138	69	—	34	—	—	—	—	—	—
37. 5	—	150	—	37	—	—	—	—	—	—
40. 5	—	121	40	121	—	—	—	—	—	—
43. 5	—	127	—	43	—	—	—	—	—	—

Quelle: H. Mayer 1972, S. 157, 159 und 160.

Die überprüfbareren Variablen sind vor allem Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Bewölkung, Strahlung und Luftverunreinigungen. In ihrer Bedeutung gegenüber der Hauptwindrichtung, dem Flurwindsystem, den verschiedenen Hangwindssystemen, dem Straßenverlauf und der unterschiedlichen Bebauungsdichte lassen sich Analogien finden zu Grenzwerten bioklimatischer Stufen (F. Becker 1972) und gleichzeitig Möglichkeiten, die belastenden Umweltfaktoren zu entschärfen.

Die Siedlungsstruktur selbst ermöglicht weitere Differenzierungen im eigentlichen Stadtkörper. Durch die Anlage eines fächerförmigen, sich nach Süden öffnenden Straßennetzes als Ergebnis einer absolutistischen Gründung und Siedlungserweiterungen in W-O- bzw. N-S-Richtung lassen sich Temperaturmuster in Abhängigkeit von Straßenführung und Windrichtung erkennen. Das ist im Zusammenhang mit der Ausbildung von

Flurwinden an sommerlichen Strahlungstagen von Bedeutung. Meist erst dann, wenn durch starke Aufwärmung der Wärmeineffekt am deutlichsten auftritt, kommt es zu einem Zirkulationssystem, das durch eine auf das Stadtzentrum gerichtete Windkonvergenz gekennzeichnet ist. Ein strahlenförmiges Straßensystem erfüllt dabei am ehesten die Voraussetzungen für eine partielle Durchlüftung auch innerstädtischer Bereiche. Ein solches Straßensystem ist in Karlsruhe zumindest teilweise durch die Fächeranlage vorgegeben.

In der Abschätzung von Hangwindssystemen und ihrer Wirksamkeit kann bei Karlsruhe auf die Vorbergzone am Rande der Oberrheinischen Tiefebene zurückgegriffen werden mit einem Höhenunterschied von ca. 130 Metern. Mögliche Aussagen kollidieren nicht mit Aussagen zu Flurwinden, da aufgrund der räumlichen Entfernung Flur- und Hangwinde deutlich zu differenzieren sind.

Abbildung 1:
Übersicht des Untersuchungsgebietes



- a = Kriegstr.
- b = Fritz-Erler-Str.
- c = Kaiserstr.
- d = Ettlinger Str.
- e = Stephanienstr.
- f = Augartenstr.
- g = Reinhold-Frank-Str.
- h = Brauerstr.
- i = Südstadtgrüngürtel

- 1 = Raffinerien
- 2 = Durlach
- 3 = Oberwald
- 4 = Stadtgarten
- 5 = Rüppurrer Tor
- 6 = Albgrün
- 7 = Städt. Klinikum

Die Auswirkung innerstädtischer Grünanlagen in Abhängigkeit von ihrer Flächengröße ist nichts Typisches für diese Stadt, kann aber im Zusammenhang mit der Struktur des Siedlungskörpers und der Ausrichtung von Luftverteilungsbahnen (Straßen, Grünzüge o.ä.) weitere Erkenntnisse für die Stadtplanung erbringen.

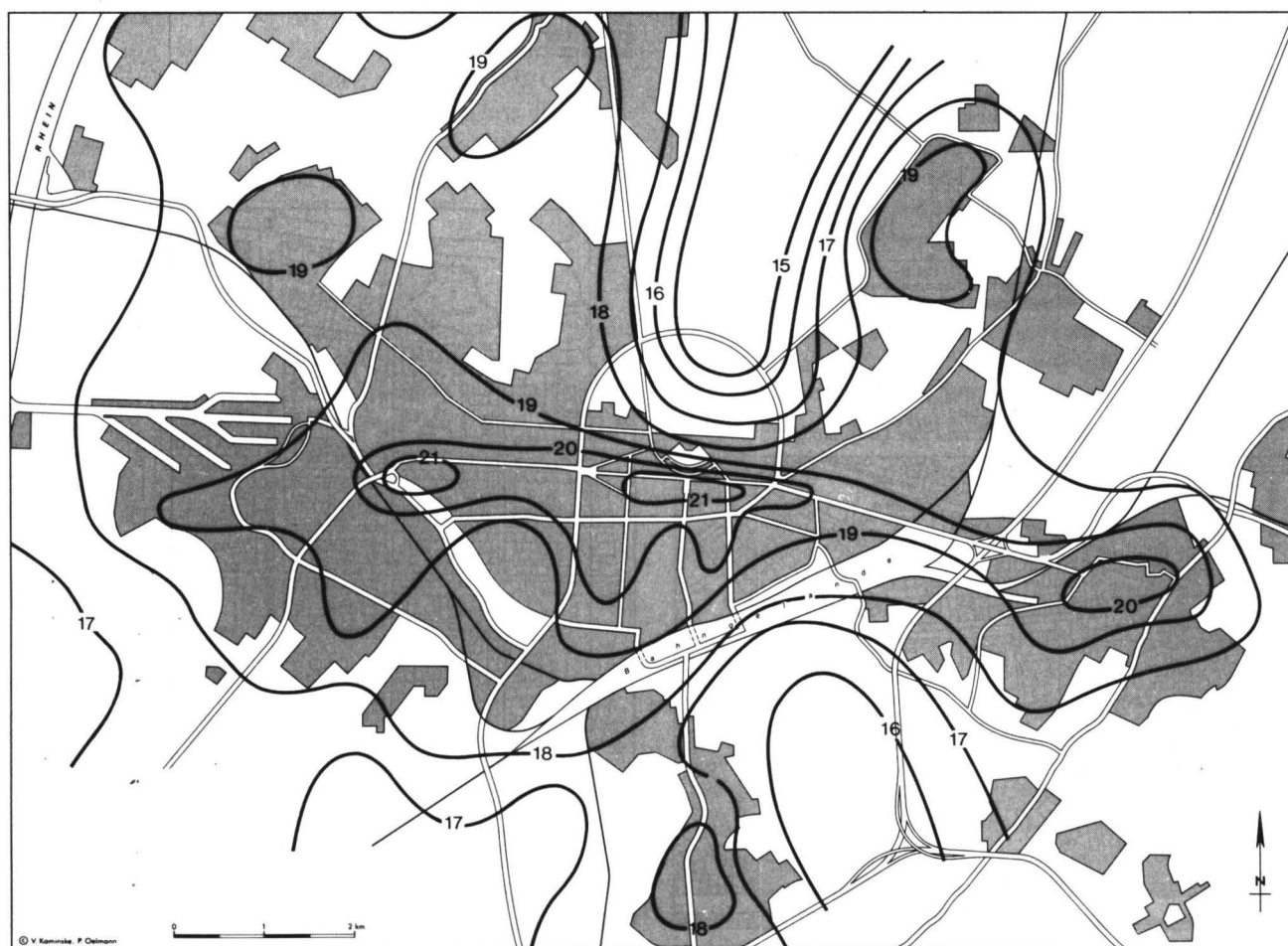
3. Das Temperaturfeld in Karlsruhe

Die unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität verschiedener Materialien einerseits und die Albedo verschiedener Oberflächen andererseits bewirken in der Stadt ein auffälliges Temperaturfeld, das durch den Verlauf von Temperaturisothermen darstellbar und hinsichtlich der Einflußgrößen interpretierbar ist. Erwartete Temperaturdifferenzen zwischen Vegetationsflächen und Baukörper, aber auch zwischen baulich verdichteten Stadtteilen und durchgrünten Randbereichen sind in der Abb. 2 überprüfbar.

Innerhalb des Stadtgebietes fallen mehrere Wärmeinseln auf. Wertmäßig am höchsten liegt dabei das Zentrum. Zum City-

Randgebiet fallen die Werte, wobei sich die Gestalt des Siedlungskörpers auch im Isothermenverlauf wiederfindet. Innerhalb des Cityrandgebietes ist eine weitere Differenzierung nur aufgrund der Karte nicht möglich. Ein Vergleich zweier Stadtteile (a = Südstadt; b = westliche Innenstadt) innerhalb dieses Gebietes soll den Einfluß des Straßenverlaufs, den Einfluß benachbarter Grünflächen (bei a: Oberwald im S, Stadtgarten im W, bei b: Schloßpark) nach Richtung und Reichweite aufzeigen. Die hierzu angestellten Temperaturmessungen (an 5 aufeinanderfolgenden Tagen im Mai 1982, 14.00 Uhr) berücksichtigen das absolute Meßniveau zwischen der westlichen Innenstadt im Fächerbereich und der verdichtet gebauten, blockartigen Südstadt, wollen ausgehend von einer Frischluftzone die Temperaturveränderung feststellen entlang einer normalen Straße und einer bioklimatisch aktiven Linie (Allee, Grünzug). Da die Temperaturverhältnisse Grundlage von Windbewegungen sind, gleichzeitig aber auch Grundlage für das Maß der relativen Luftfeuchte, wird hier der zentrale Faktor innerhalb des Stadtklimakomplexes betrachtet, wobei die anderen Faktoren nicht gesondert aufgeführt werden.

Abbildung 2:
Isothermenverlauf im Stadtgebiet Karlsruhes



Messungen 1972, Sommerhalbjahr, 21.00 Uhr.

Quelle: nach K. Hörschele 1973.

3.1 Die westliche Innenstadt

Der bis in unmittelbare Innenstadtnähe reichende Schloßpark lenkt Frischluft genau zum Scheitelpunkt des Straßenfächers, von dem aus eine optimale Belüftung der Innenstadt ausgehen kann. Zusammen mit dem feststellbaren Temperaturgefälle ergibt sich über ein Druckgefälle eine stadteinwärts gerichtete Windbewegung. Die feststellbaren Temperaturwerte liegen bei gleicher Entfernung zum Stadtrand wie in der Südstadt um 2–3° C niedriger (vgl. Tab. 4). Daß diese Differenz nicht ausschließlich auf Frischluft des Schloßparks zurückgeht, zeigt eine leichte Temperaturverminderung zum Meßpunkt 4: Kriegstraße. Hier scheinen kleinere Zirkulationssysteme imstande zu sein, für eine kleinräumige Verbesserung des Stadtklimas zu sorgen, obwohl sie nicht an ein Flurwindsystem angeschlossen sind. Im genannten Fall entspringen sie innerstädtischen Parkanlagen, die teilweise miteinander in Verbindung stehen (Stadtgarten im S/Parkanlage Landesbibliothek).

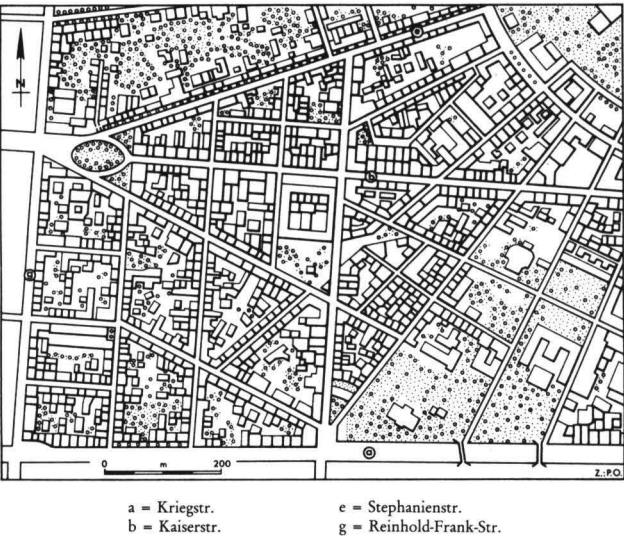
Neben den öffentlichen und halböffentlichen Grünflächen sind zahlreiche Grün- und Gartenanlagen im Hinterhofbereich zu erwähnen, die ebenfalls für eine kleinräumliche Verbesserung des Stadtklimas sorgen, wie später gezeigt wird (vgl. Abb. 3).

Tabelle 4:
Temperaturmessungen im Bereich der westlichen Innenstadt

Meßpunkt	Schatten-seite	Besonnungs-bereich	Temperatur-differenz
1 Östl. Stephanienstr.	12.0°C	16.5°C	4.5°C
2 Westl. Stephanienstr.	13.5	18.5	5.0
3 Kriegstr./Reinhold-Frank-Straße	13.5	19.0	5.5
4 Kriegstr./Parkanlage Landesbibliothek	14.0	19.0	5.0

Für jeden Meßpunkt Durchschnittswerte aus fünf Einzelmessungen aufeinanderfolgender Tage; Meßzeitpunkt jeweils 14.00. Thermometer gegen Direktstrahlung abgeschirmt, Meßhöhe 1.5 m. Quelle: Eigene Messungen.

Abbildung 3:
Die westliche Innenstadt und ihre Grünflächen



Quelle: Eigener Entwurf nach IR-Senkrechtluftbild.

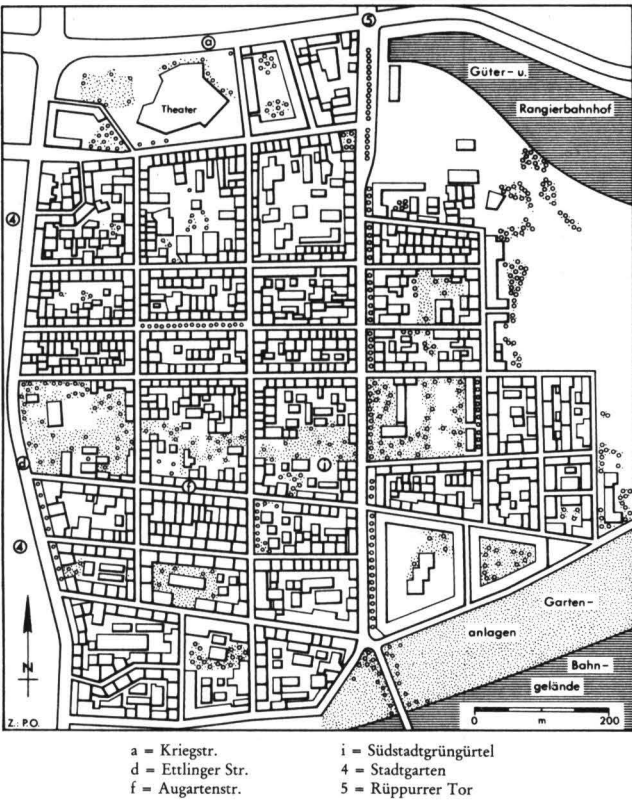
3.2 Die Südstadt

Die Südstadt besitzt ein großes geschlossenes Waldgebiet im Süden (Oberwald) und einen großen Park im Westen (Stadtgarten) zur Nachbarschaft. Ihre Flächenausdehnung entspricht der der westlichen Innenstadt, geht baulich jedoch nicht in andere Stadtteile über, sondern wird durch deutliche Siedlungszäsuren und Straßenschneisen getrennt.

Theoretisch wäre mit Frischluftzufuhr aus südlicher (= Oberwald) und westlicher (= Stadtgarten) Richtung zu rechnen. Die Isothermenkarte zeigt, daß offensichtlich vorhandene Frischluftmassen aus dem Oberwald durch den Gleiskörper der Bundesbahn (Karlsruhe — Mannheim) fast vollständig unwirksam gemacht werden. Durch starke und flächenhafte Aufwärmung dieser Fläche wird im Sommer die vorhandene Frischluft absorbiert oder vertikal abgelenkt. Weiterhin verhindert der Bahndamm einen Lufttransport der physikalisch schweren Luft auch bei nicht so starker Erwärmung durch seine Höhe. Eine Überfließung ist mechanisch kaum möglich.

Auch die Frischluft des Stadtgartens findet mangels geeigneter Verbindungsschneisen, im Gegensatz zur westlichen Innenstadt, kaum einen Weg in den verdichteten Baukörper. Lediglich im Bereich des W-O-verlaufenden Grüngürtels vermag sich nach den Temperaturmessungen ein Frischluftstrom auszubreiten. Seine Breitenwirkung allerdings ist gering. Schon in der nur 100 m südlich verlaufenden Augartenstraße, ebenfalls vom Stadtgarten her kommend, ist ein nennenswerter Temperatureffekt nicht mehr zu bemerken (vgl. Tab. 5).

Abbildung 4:
Die Südstadt und ihre Grünflächen



Quelle: Eigener Entwurf nach IR-Senkrechtluftbild.

Tabelle 5:
Temperaturmessungen im Südstadtbereich

Meßpunkt	Schatten-seite	Besonnungs-bereich	Temperatur-differenz
1 Westl. Augartenstr.	14.5°C	19.0°C	4.5°C
2 Östl. Augartenstr.	15.5	21.0	5.5
3 Westl. Grüngürtel	13.5	18.0	4.5
4 Östl. Grüngürtel	14.0	19.0	5.0
5 Stadtgarten/Zentrum	13.0	17.0	4.0
6 Oberwald/Zentrum	12.0	—	—

Durchschnittswerte aus fünf Einzelmessungen aufeinanderfolgender Tage für jeden Meßpunkt; Meßzeitpunkt jeweils 14.00. Thermometer gegen Direktstrahlung abgeschirmt, Meßhöhe 1.5 m.
Quelle: Eigene Messungen.

3.3 Ergebnis des Stadtteilvergleichs

Zwischen bioklimatisch wirksamen und unwirksamen Bereichen liegt ein Unterschied im Meßniveau vor. Weiterhin können die Differenzbeträge zwischen Besonnungsbereich und Schattenstandort dahingehend interpretiert werden, daß die Temperaturdifferenz mit steigender Entfernung von einer Grünfläche zunimmt. Es steuert also nicht nur die Temperatur den Anteil der relativen Feuchtigkeit, sondern Feuchtigkeit kann durch Verdunstung die Temperatur reduzieren, dies allerdings nur bei wasserverdunstenden Oberflächen.

Die Reichweite von Grünanlagen oder Frischluftzonen ist nur grob abschätzbar. Entlang des Strömungsverlaufs nimmt bei Vorhandensein von Grünflächen die Temperaturzunahme durch Wärmeabstrahlung der Häuser um ca. 0.5 — 1.0°C zu, entlang einer vergleichbaren Linie ohne Vegetation liegt die Zunahme zwischen 1 und 2° C. Bei Abschottung eventueller Frischluftströme aus der Nachbarschaft liegen die Temperaturzunahmen pro Kilometer um 2° (Schattenseite) und 2.5° bis 4° (Schattenseite).

3.4 Wirkung dezentraler Grünflächen

Für das thermische Verhalten einer Stadt sind aber auch die Einflüsse privater Grünflächen erheblich, wie im Bereich der westlichen Innenstadt gezeigt werden konnte und was auch Untersuchungen aus Mannheim bestätigen (F. Fezer u. a. 1977). Tab. 6 gibt die Temperaturdifferenzen von Grünfläche und Umgebung als Funktion der Flächengröße an. Selbst kleine Grünflächen vermögen danach den Effekt der Wärmeinsel ein wenig zu reduzieren.

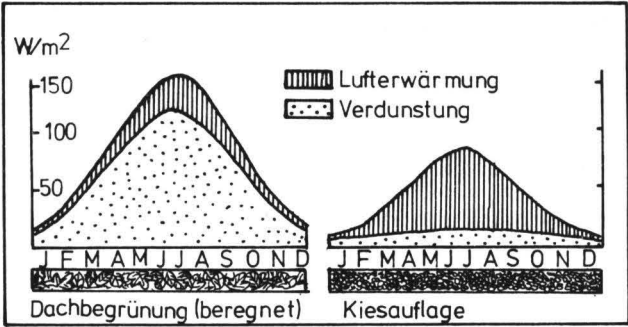
Tabelle 6:
Größe von Grünflächen und ihre Nachttemperatur

Fläche (ha)	Lufttemperatur (16. 8. 1974, 4.00 Uhr)	
	Parkmitte	Differenz zur Umgebung
250	17.0°C	3.0°C
50	18.0	2.5
12	18.9	1.5
3.6	19.6	1.4
1.5	21.5	1.0
0.5	21.8	1.0
0.2	24.0	0.5

Quelle: F. Fezer u. a. (1977): Empfehlungen zur Gestaltung von Baukörpern, Verkehrs- und Grünflächen, S. 230.

Wie Höschele/Schmidt 1974 am Beispiel der Dachflächen des städtischen Klinikums nachwiesen, sind weitere Klimafaktoren positiv einflußbar und quantifiziert, wenn Flachdächer mit Kiesauflage begrünten Flachdächern gegenübergestellt werden (vgl. Abb. 5).

Abbildung 5:
Temperaturverhalten von Dächern mit Grünflächen gegenüber Dächern mit Kiesabdeckung



Quelle: nach K. Höschele / H. Schmidt 1974.

Als Nahwirkung ergibt sich eine Erniedrigung der Wandflächen- und Lufttemperaturen in den Räumen um ca. 5° (Sommer) und eine erhebliche Herabsetzung in der Anzahl von Tagen mit hoher Wärmebelastung. Daneben kommt es zur Verbesserung der Luftqualität und Herabsetzung in der Konzentration von Abgasen. Der Lärmpegel wird verringert.

Als Fernwirkung kann ab 100 m Entfernung wegen vorhandener Vertikal- und Horizontaldurchmischung kein nennenswerter Effekt der Begrünung mehr ausgemacht werden.

Mit dem Einsatz von Dachbegrünungsmaßnahmen kann im mikroklimatischen Bereich immerhin ein kleiner Ausgleich für den starken Aufwärmeeffekt einer hohen Baudichte in der Stadt erreicht werden.

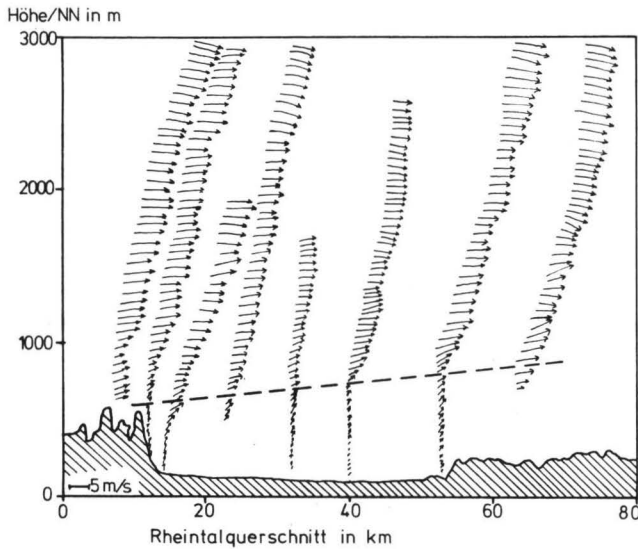
4. Das Windfeld in Karlsruhe

In diesem Abschnitt geht es darum, die Bedeutung und Ausrichtung bestehender Windsysteme festzustellen, die als Transportmittel von Frischluft in Frage kommen bzw. deren Transport verhindern können.

4.1 Hauptwindrichtung

Die Hauptwindrichtung in der Oberrheinischen Tiefebene verläuft etwa WSW—ONO. Die Höhenströmung führt dabei in ca. 300 m Höhe über die Tiefebene hinweg und ist nur minimal an einer Durchmischung örtlicher Luftmassen beteiligt. Die bodennahen Winde folgen ebenfalls der durch den Rheingraben vorgegebenen Richtung und bringen der Stadt aus den umgebenen Freiflächen Frischluft (vgl. die kesselähnliche Lage von Rheintalsiedlungen in Abb. 6).

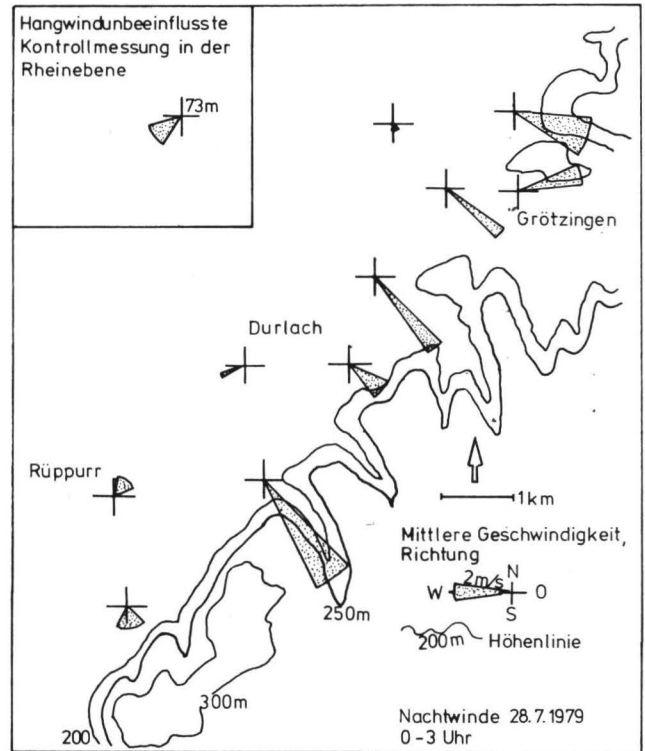
Abbildung 6:
Luftströmungen im Querprofil des Oberrheingrabens



Vertikalsondierungen am 17. 9. 1979, 12.00 Uhr; die angegebenen Pfeile stellen den Horizontalwind dar: d. h. Westwind = Pfeil nach rechts, Südwind = Pfeil nach oben, usw.

Quelle: verändert nach F. Fiedler 1983.

Abbildung 7:
Räumliches Vorkommen von Hangwinden (Nachtwinde)



Quelle: K. Hörschele 1980.

4.2 Flurwinde

Schon im Zusammenhang mit der Isothermenkarte wurde auf Flurwinde aus dem Schloßpark und dem Oberwald hingewiesen. Nach dem Landschaftsplan (Landschaftsplan Karlsruhe 1982, K.4.5) kann grundsätzlich aus jeder Richtung ein Flurwind ins Zentrum Karlsruhes erwartet werden. Meistenteils verliert sich die Wirkung schon in Vororten oder am Stadtrand. Lediglich in weit stadteinwärts reichenden Schneisen (Schloßpark, Alter Flugplatz und Beiertheimer Feld) kommen sie in Zentrumsnähe. Ebenfalls stadteinwärts kommen sie, wenn durch mehrere kleinere Grünflächen ein Weg schon „gebahnt“ ist (Rintheim, Weiherfeld).

4.3 Hangwinde

Hierbei kommt es zu Kaltluftabfluß durch Berg- und Hangabwinde. Die Hangwinde beruhen auf der Ausbildung kleinräumiger Zirkulationssysteme mit starker Hangerwärmung und Luftaufstieg während des Tages und einer Abwärtstendenz durch unterschiedlich starke Abkühlung entlang des Hangprofils während der Nacht. Entscheidend für das Ausmaß solcher Luftströmungen sind Größe und Höhenlage der Entstehungsflächen gegenüber dem Hangfuß. Flächige Hangabwinde treten im Gebiet kaum nennenswert in Erscheinung. Große Bedeutung erlangen sie, wenn sie in Taleinschnitten gesammelt werden und in die Ebene abfließen. Ihre Mächtigkeit bedingt dann eine Windumkehr im Bereich der Talmündungen (vgl. Abb. 7). Ihre Reichweite bei Fließgeschwindigkeiten von 2 – 5 m/sec beträgt mehrere Kilometer, womit Hangwinde bioklimatische Bedeutung für die östlichen Stadtteile erlangen können, wenn sie nicht zuvor blockiert werden (K. Hörschele 1980).

5. Prinzipien für bioklimatisch geleitete Stadtplanung

Nach den Ausführungen über ableitbare Folgen von Lage, Bauungsdichte, Orientierung zur Windrichtung oder Abschottung von Frischluft, lassen sich für die Stadtplanung Richtlinien aufstellen, die in ähnlicher Form auch auf andere Siedlungen übertragbar sein dürften.

Zunächst ist zwischen Neuerschließungsplanung und Sanierungsplanung zu unterscheiden. Der Planungsspielraum ist im zweiten Fall erheblich eingeschränkt. Die Auswahl anzustrebender und verwirklichter Ziele muß sich dieser Situation bewußt sein.

Zur Verbesserung des Temperatur- und Feuchtigkeitsverhaltens, aber auch zur Absorption von festen und gasförmigen Luftverunreinigungen sind Frischluftzonen (Parks, Grünanlagen) innerhalb der Stadt am wertvollsten. Dabei gilt, je größer die Gesamtfläche und je geschlossener die Grünfläche ist, desto besser ist die Wirkung auf die benachbarten Wohnflächen in Reichweite und Wirkungsdauer.

Die Einbindung einer Stadt in das nichtverstädtete Umland bringt über Flurwindssysteme, manchmal auch über zusätzliche Hangwinde ebenfalls eine Luftauffrischung durch stadteinwärts strömende Frischluftmassen. Somit ist unabdingbar, eine weitergehende Bebauung des Umlandes daraufhin zu untersuchen, ob hier solche Frischluftströme unterbunden werden könnten.

Ob die natürlich vorgegebene und historisch gewachsene Situation hingenommen werden kann und nur gegenüber Neuplanungen Vorsicht geboten ist oder ob eine Stadt aktiv in ihrer Grünflächenplanung vorgehen sollte, ergibt eine Analyse, welche Notwendigkeit für Frischluftzufuhr durch die Anzahl von austauschungsarmen Inversionswetterlagen besteht und welches Ausmaß der Höhenunterschied zwischen der Stadt und dem angrenzenden Umland besitzt. Je mehr Inversionswetterlagen auftreten und je geringer der Höhenunterschied der Stadt zum Umland ist, desto breiter sollten auch die freizuhaltenen Frischluftschneisen und -räume sein. In N-S-Richtung in den Stadtkörper hineinreichende Frischluftströme können über die weitgehend vorherrschende Windrichtung aus Westen östlich liegende Stadtteile mit Frischluft versorgen. Frischluft aus westlichen und östlichen Richtungen besitzt dagegen oft nur geringe Tiefenwirkung wegen der Überfließungstendenz (Westwinde) und der Blockierung (Ostwinde). Ausnahmen stellen hier etwaige Hangwindssysteme dar, wenn die physikalisch schwerere Kaltluft nicht breitflächig, sondern in Taleinschnitten gesammelt dem Siedlungskörper zufließt. Dabei können nicht selten mehrere Kilometer Reichweite auftreten, was im jeweiligen Fall vom Höhenunterschied zwischen Hangfläche und Stadtniveau, der Mächtigkeit des entstehenden Kaltluftkörpers und der Oberflächenbeschaffenheit der Fließebene abhängt. Hangbebauung ist demnach daraufhin zu überprüfen, ob solche Hangabwinde blockiert oder umgelenkt werden, und falls eine Bebauung unvermeidbar ist, sollte der Baukörper den geringstmöglichen Windwiderstand bieten. Die Ausrichtung sollte längs der vorherrschenden Frischluftströmung erfolgen mit einer leichten Abweichung zur Verhinderung von Düseneffekten. Die Baukörperhöhe sollte gering bleiben, um Windturbulenzen im Lee zu verringern (E. Plate 1972).

In den meisten Fällen trifft auch außerhalb Karlsruhes die Tatsache zu, daß Frischluftschneisen durch Verbauung blockiert sind, egal ob sie einem Hang- oder Flurwindsystem entstammen. Innerstädtische Grünanlagen können ihre Aufgaben nur dann übernehmen, wenn die — meist geringen — Temperatur- und Feuchtigkeitsunterschiede gegenüber benachbarten Wohngebieten nicht sofort aufgezehrt werden. Als Leitlinien des innerstädtischen Luftaustausches sollten daher Alleen in größerem Umfang als bisher eingeplant werden, um die bestehende Grünflächenwirkung besser nutzen zu können. Nicht nur wegen ihres temperaturbeeinflussenden Verhaltens, ihrer Rolle als Wasserverdunster, sondern auch in ihrer Dämmwirkung gegenüber Straßenlärm ist die Bedeutung von Alleen nicht zu unterschätzen. Bereits eine einfache Baumreihe entlang einer Straße erzielt durch Absorption der hohen Frequenzen bereits eine deutlich bemerkbare Minderung des Lärms.

Da die verfügbaren Grünanlagen innerhalb einer Stadt nicht beliebig vermehrbar sind und zugebaute Freiflächen nicht mehr ohne weiteres wiederherstellbar sind, sind Bestrebungen einer Stadtklimaverbesserung durch Ausweitung zentral gelegener, großflächiger Grünanlagen enge Grenzen gesetzt. Obwohl nur große Grünflächen tatsächlich ausstrahlende Wirkung besitzen, trägt trotzdem jede vegetationsbedeckte Fläche dazu bei, den ungünstigen Wärme- und Feuchtigkeitshaushalt eines Stadtgefüges vorteilhaft zu beeinflussen, indem ein großer Teil der Strahlungs-

energie zur Verdunstung aufgebraucht wird und dadurch Abkühlung eintritt. Das kann bei der Installierung von Grünanlagen auf Garagen, Flachdächern oder auf der Betondecke von Tiefgaragen durch Dachbegrünungsmaßnahmen berücksichtigt werden.

Qualitativ sind Grünflächen aber von unterschiedlicher Bedeutung. Die bisher erwähnten Wirkungen der Wasserverdunstung, der Sauerstoffproduktion, aber auch der Beschattung im Sommer und der Ausfilterung von Straßenstaub beziehen sich hauptsächlich auf Grünflächen mit Bäumen, Sträuchern und Kräutern. Weitverbreitet ist die Ansicht, daß schon Rasenflächen genügen, um den gleichen Effekt hervorzurufen. Bei starker Sonneneinstrahlung, geringer Luftfeuchtigkeit und hohen Temperaturen, also genau dann, wenn Grünanlagen eine klimatisch entlastende Wirkung hervorbringen sollen, sind Rasenflächen biologisch inaktiv und kleinklimatisch unwirksam (K. Hörschle u. H. Schmidt 1974). Mit anderen Worten: Auch die Rasenflächen erfüllen ihre Aufgaben in der Nachbarschaft und im Schutz von Gehölzen länger und besser als isoliert. Das ist etwa bei der Installierung von Grünanlagen ohne natürlichen Untergrund zu berücksichtigen, etwa bei Dachbegrünungsmaßnahmen. Ist die Grünfläche vom natürlichen Untergrund abgeschnitten, sollte eine von der Dicke des Auflagesubstrates abhängige Mischung verschiedener Kräuter und Sträucher die durchgehende Transpiration der Vegetationsfläche erhalten (immergrüne Pflanzen!). Die Installierung von Fassadenbegrünung an freistehenden Hauswänden und großflächigen Verkehrsanlagen ist weitgehend problemlos gegenüber den technischen und kostenintensiven Vorausbedingungen einer Dachbegrünung, da oft nur wenige Pflanzkübel benötigt werden.

Insgesamt ergibt sich für die Stadtplanung:

1. Zur Vermeidung lokaler Wärmeinseln sollten durchgehend bebaute Bereiche auf eine Ausdehnung von 1 — 2 km begrenzt werden.
2. Gleichzeitig sollten möglichst große zusammenhängende Vegetationsflächen erhalten werden, um Flurwinden ein Eindringen in die Stadt und eine dortige Durchmischung der Luftmassen zu ermöglichen.
3. Auch innerhalb der Stadtteile sollten breite Frischluftschneisen freigehalten werden, bevorzugt für die bodennah wehenden Winde aus SW und NO, die Flurwinde, Hangwinde und Lokalwinde aus Grün- und Freiflächen.
4. Bestehende Luftzirkulation sollte nicht durch Verbauung zerstört oder blockiert werden. Das ist vor allem im Hangbereich der Vorbergzone zu befürchten wegen der Nachfrage nach klimatisch bevorzugten Wohnstandorten.
5. Die Energiebilanz der Oberflächen kann im Stadtgebiet durch verdunstende Flächen verringert werden, etwa durch Dachbegrünung, Fassadenbegrünung, aber auch durch wasserdurchlässige Pflasterung von Parkplätzen.
6. Die Möglichkeit einer Verringerung von Wärmeemittenten kann durch Installierung neuer Energiesysteme (Fernwärme!) unterstützt werden.

6. Zusammenfassung

Bioklimatische Veränderungen durch den Verstädterungsvorgang sind in jedem Falle eine starke Belastung für die menschliche Gesundheit (vgl. A. Köhler 1976, R. Reinke 1977). Angesichts steigender Probleme mit Emissionen jeglicher Art ist vor allem in den besonders gefährdeten Ballungsgebieten, aber nicht nur dort, besonderer Wert auf die Erhaltung einer möglichst natürlichen Umwelt zu legen.

Stadtplanung kann hierbei eine treuhänderische Aufgabe in der Erhaltung und Bewahrung des stadtklimatischen Status quo übernehmen (Schutz von Frischlufträumen, Alleen, Freihaltung von Frischluftbahnen usw.). Es wurde jedoch gezeigt, daß sekundäre Stadtklimaefekte trotzdem eine Verschlechterung des Stadtklimas herbeiführen können. In diesem Fall ist von der Stadtplanung Eigenaktivität gefordert. Durch Neuanlage von möglichst zentral gelegenen Grünanlagen und davon ausgehenden Leitbahnen (Alleen), durch Ermutigung zu dezentralen, auch privaten Grünflächen, durch entsprechende Verpflichtung in Bauverordnungen zu Dachbegrünung bei Flachdachbau usw. können spürbare Erleichterungen geschaffen werden.

Die jeweils zur Debatte stehenden Maßnahmen sind, wie vorhin ausgeführt, in ihrer Wirkung jedoch immer von der Stadtgröße, dem Verdichtungsgrad und der räumlichen Lage abhängig und werden weiterhin durch ihre Lage im Windfeld der Stadt und durch die vorhandenen kleinräumigen Verhältnisse der Siedlungsstruktur modifiziert. Insofern stellen diese Ausführungen nur Orientierungsrichtlinien dar, die in jedem Einzelfall zu überprüfen sind.

Schrifttum

Bartels, H.; Rudolf, B.; Swantes, H.; Vent-Schmidt, V.: Klima als Faktor der Regionalplanung. In: RPU Abschlußbericht, Frankfurt 1977, S. 15 — 61.

Bartels, H.; Fuchs, H.; Jurksch, G.; Melchior, J.; Süßenguth, G.: Klimatologische Beschreibung des Oberrheingebietes im Hinblick auf Abwärmeprobleme. Abwärmeprojekt Oberrheingebiet Teil I. — Offenbach 1982 (= Berichte d. Dt. Wetterdienstes Nr. 160), S. 5 — 32.

Becker, F.: Zur Landschaftsbewertung für die Erholung. Akad. f. Raumf. Bd. 76, Hannover 1972, S. 45 — 61.

Bernatzky, A.: Grünplanung in Baugebieten. Dt. Fachschriftenverlag Wiesbaden, 1972.

Das Stadtklima von Stuttgart. Beilage des Amtsblattes der Stadt Stuttgart Nr. 19, Mai 1981.

Dreyhaupt, F. J.: Luftreinhaltung als Faktor der Stadt- und Regionalplanung. Schriftenreihe Umweltschutz Bd. 1, Köln 1971.

Eichler, H.: Planungsfaktor Hitzestreß. Studie zu material- und baukörperbedingten Überhitzungsphänomenen am Beispiel des Bundesdemonstrationsvorhabens Heidelberg-Emmertgrund. In: Fezer, F.; Seitz, R. (Hrsg.): Klimatologische Untersuchungen im Rhein-Neckar-Raum. — Heidelberg 1977 (Heidelberger Geogr. Arb. H. 47) S. 182 — 216.

Emissionskataster Mannheim-Karlsruhe. Hrsg. vom Ministerium f. Arbeit, Gesundheit u. Sozialordnung Baden-Württemberg. Stuttgart o. J.

Fezer, F.; Friese, B.; Jasinski, K.-J.; Seitz, R.: Empfehlungen zur Gestaltung von Baukörpern, Verkehrs- und Grünflächen. In: Fezer, F.; Seitz, R. (Hrsg.): Klimatologische Untersuchungen im Rhein-Neckar-Raum. — Heidelberg 1977 (Heidelberger Geogr. Arb. H. 47), S. 217 — 233.

Fiedler, F.: Einige Charakteristika der Strömung im Oberrheingraben. In: Wiss. Ber. d. Meteorolog. Inst. d. Univ. Karlsruhe Nr. 4, 1983, S. 113 — 123.

Hesler, A. v.: Die lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchung, ein Teil des Regionalen Raumordnungsplanes. In: RPU Arbeitsbericht Frankfurt 1970, S. 4 — 9.

Hörschele, K.: Klimatologische Unterlagen für die Stadtplanung Karlsruhe. Gutachten f. d. Stadtplanungsamt. — Karlsruhe 1973.

Ders.: Konkurrierende Gesichtspunkte der Zielvorstellungen für das Stadt- und Landschaftsklima. In: Annalen d. Meteorologie (NF) Nr. 12, 1977, S. 197 — 200.

Ders.: Einfluß charakteristischer Geländestrukturen auf die Strömung am Ostrand des Oberrheintales. In: Annalen d. Meteorologie (NF) Nr. 16, 1980, S. 72 — 74.

Hörschele, K.; Schmidt, H.: Klimatische Wirkungen einer Dachbegrünung. In: Garten und Landschaft 1974, H. 6.

Kleiss, M.: Inversionen in der unteren Troposphäre im Raum Karlsruhe-Stuttgart. In: Ber. d. Dt. Wetterdienst Nr. 90, Offenbach 1963, S. 3 — 16.

Köhler, A.: Über die Häufigkeit von Atemwegserkrankungen im 2. Halbjahr 1970 bei AOK-Versicherten in drei Städten des Rhein-Main-Neckar-Raumes. In: Staub-Reinhalt. Luft 36, 1976 Nr. 2, S. 63 — 65.

Kratzer, P.: Das Stadtklima. Die Wissenschaft, Bd. 90, Braunschweig 1956².

Landschaftsplan, hrsg. durch Stadt Karlsruhe. — Karlsruhe 1982.

Layer, H.-G.: Der Albtalwind. In: Beitr. naturk. Forsch. SW-Deutschland, Bd. XXI, H. 1, 1962, S. 19 — 31.

Mayer, H.: Inversionen in der bodennahen Atmosphäre über Karlsruhe. In: Meteorolog. Rdsch. 25, 1972, S. 157 — 160.

Miess, M.: Umweltökologische Aspekte städtischer Siedlungsräume. In: Meyer, F. H. (Hrsg.): Bäume in der Stadt. Ulmer Verlag, Stuttgart 1978, S. 46 — 83.

Niemz, G.: Das Klima des Rhein-Main-Gebietes unter besonderer Berücksichtigung der Umweltproblematik und der Bedeutung für die Regionalplanung. In: Frankfurter Beitr. z. Didaktik d. Geographie, Bd. 4, Frankfurt 1981, S. 209 — 232.

Peppeler, A.: Das Temperaturfeld von Karlsruhe. In: Deutsches Meteorolog. Jahrbuch Baden 1929, S. 59/60.

Plate, E.: Berücksichtigung von Windströmungen in der Bauleitplanung. In: Seminarber. Rahmenthema „Umweltschutz“, Inst. f. Städtebau u. Landesplanung Karlsruhe 1972, S. 201 — 229.

Regionale Planungsgemeinschaft Untermain (RPU): Lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchung in der Region Untermain. Abschlußbericht 1977 b — Frankfurt 1977.

Seitz, R.: Winde und Temperaturen in Mannheim-Ludwigshafen. In: Fezer, F., Seitz, R. (Hrsg.): Klimatologische Untersuchungen im Rhein-Neckar-Raum. Heidelberger Geogr. Arb., H. 47, Heidelberg 1977, S. 150 — 180.

Smogverordnung für Stuttgart und Karlsruhe vom 13. 12. 1982. In: Gesetzblatt Baden-Württemberg 1983, H. 1 vom 25. 1. 1983, S. 2 — 6.