

# AUGSBURGER GEOGRAPHISCHE HEFTE

Schriftenreihe des Lehrstuhls für Physische Geographie  
der Universität Augsburg

Herausgegeben von K. Fischer

HEFT NR. 8

Klaus Fischer

## BEITRÄGE ZUR PHYSISCHEN GEOGRAPHIE DES RAUMES AUGSBURG

Augsburg 1990

Im Selbstverlag des Lehrstuhls für Physische Geographie der Universität Augsburg

AUGSBURGER GEOGRAPHISCHE HEFTE NR. 8

Alle Rechte vorbehalten

---

ISBN 3-922481-07-8

**NEUERE DATEN UND FAKTEN ZUM STADTKLIMA VON AUGSBURG****Jucundus Jacobeit****I. EINFÜHRUNG**

Stadtklimatologische Forschung umfaßt sowohl Untersuchungen zur räumlich differenzierten lufthygienischen Situation in städtischen Siedlungsgebieten als auch Studien zur Modifikation klimatologischer Felder unter dem Einfluß städtischer Baukörper. Für den Raum Augsburg ist der erstgenannte Aspekt bereits früher ausführlicher behandelt worden (JACOBET, 1986) und neuerdings im Emissionskataster/Immissionskataster des Bayerischen Landesamts für Umweltschutz (1988) umfassend zur Darstellung gelangt. Diese jüngste Erhebung zeichnet sich vor allem durch aktualisierten Datenbestand und eine differenzierte Auffächerung nach einzelnen Schadstoffen aus (insbesondere im schwer zugänglichen Bereich genehmigungsbedürftiger Anlagen), vermag jedoch bei der flächenhaften Darstellung auf der Basis von rund 200 1km x 1km Rasterquadraten nicht den räumlichen Auflösungsgrad zu erreichen, wie er in der älteren Studie auf planungsrelevanter Grundlage von ca. 1700 Baublöcken zu realisieren war. Das Hauptaugenmerk nachfolgender Datenerhebungen und Auswertungen richtete sich jedoch auf die klimatischen Verhältnisse im Raum Augsburg, die nicht nur auf lufthygienische Situationen Einfluß nehmen (insbesondere über die Wind- und Ausbreitungsverhältnisse), sondern gleichermaßen Berücksichtigung im stadtplanerischen Handeln verlangen (etwa in der Standort- und Flächennutzungsplanung). Hinsichtlich der städtischen Wind-, Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse sollen im folgenden einige Ergebnisse vorgestellt werden, die ausnahmslos auf neueren Datenerhebungen aus den 80-er Jahren beruhen.

**II. WINDVERHÄLTNISSE****2.1. Ausbreitungsklassen**

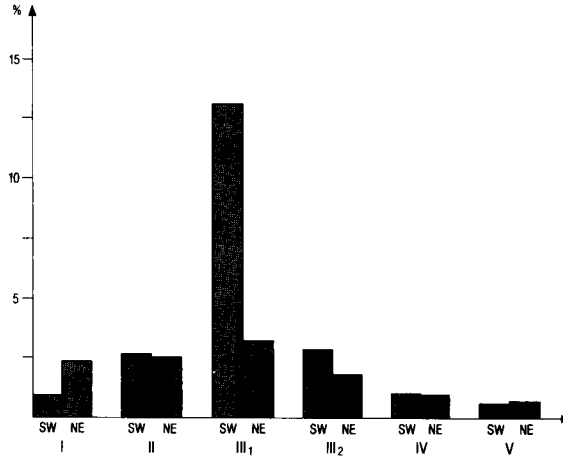
Besonderes Gewicht für Standortentscheidungen emissionsträch-

tiger Großanlagen besitzen die horizontalen und vertikalen Austauschprozesse in der unteren Atmosphäre, die sich mittels horizontaler Windrichtung und sog. Ausbreitungsklassen approximativ erfassen lassen. Dabei beschreibt die erste Größe die vorherrschende Richtung horizontaler Schadstoffverfrachtung, die zweite Größe in klassifizierter Form die ausbreitungsrelevanten Parameter der vertikalen Temperaturschichtung und des turbulenten Luftmassenaustauschs. Nach KLUG/MANIER erhält man in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit, Bewölkungsgrad, Wolkenhöhe sowie Tages- und Jahreszeit folgende sechs Ausbreitungsklassen (vgl. MANIER, 1971): nur nachts und bei geringen Windgeschwindigkeiten treten die Klassen I und II auf, wobei in Klasse I zusätzlich noch ein geringer Bewölkungsgrad gegeben ist; in der unteren Atmosphäre sind beide Klassen vorwiegend mit stabiler Temperaturschichtung verbunden (I: sehr stabil; II: stabil). Die Klassen IV und V treten nur am Tag bei ebenfalls geringeren Windgeschwindigkeiten auf, Klasse V sogar nur um die Mittagszeit sommerlicher Monate; die vertikale Temperaturschichtung in der unteren Atmosphäre ist überwiegend labil (IV: labil; V: sehr stabil). Die Klassen III<sub>1</sub> und III<sub>2</sub> schließlich treten bei höheren Windgeschwindigkeiten bzw. großem Bewölkungsgrad auf und zeigen im allgemeinen eine indifferente Temperaturschichtung in der unteren Atmosphäre (III<sub>1</sub>: indifferent - leicht stabil; III<sub>2</sub>: indifferent - leicht labil).

Im Raum Augsburg hat der Gesichtspunkt der Ausbreitungsverhältnisse insofern besondere Bedeutsamkeit erlangt, als der Standort der geplanten Müllverbrennungsanlage im Nordosten der Stadt vorgesehen ist, also im Lee der westsüdwestlichen Hauptwindrichtung, gleichzeitig jedoch im Luv des sekundären Häufigkeitsmaximums mit ostnordöstlichen Windrichtungen. Eine Gegenüberstellung der Auftrittshäufigkeiten der KLUG/MANIER'schen Ausbreitungsklassen für diese beiden primären und sekundären Hauptwindrichtungssektoren hat jedoch schon in der früheren lufthygienischen Studie (JACOBET, 1986, S. 78 ff.) ergeben, daß der allgemeine Häufigkeitsunterschied zwischen südwestlichen und nordöstlichen Windrichtungen sich nur (und

dann meist sogar verstärkt) bei der austauschgünstigen windstarken Ausbreitungsklasse  $III_1$  reproduziert, während sich die Unterschiede bei den windschwächeren stabilen und labilen Ausbreitungsklassen weitgehend nivellieren. Daraus ist folgerichtig eine im Nordosten der Stadt gleichermaßen hohe Ungunst für Standorte von Großemittenten wie im Südwesten abgeleitet worden. Zweifel an dieser Argumentation regten sich in öffentlichen Anhörungen vor allem auf Grund des älteren Datenmaterials aus den fünfziger Jahren sowie der räumlichen Lage der damaligen Wetterstation im Westen der Stadt. Nach ihrer Verlegung an die nordöstliche Peripherie (Verkehrslandeplatz Augsburg-Mühlhausen) im Sommer 1979 steht nunmehr jedoch eine aktuelle (Zeitraum 1980-1988) und in der unmittelbaren Umgebung der geplanten Müllverbrennungsanlage erhobene Ausbreitungsklassenstatistik zur Verfügung, die erneut für die beiden vereinfacht als Südwest bzw. Nordost bezeichneten Hauptwindrichtungssektoren von 230 bis 270 bzw. 50 bis 90 Grad vergleichend gegenübergestellt werden soll (Abb. 1). Dabei zeigt sich erwartungsgemäß, daß bei den meist windstärkeren austauschgünstigen Ausbreitungsklassen  $III_1$  und  $III_2$  (Tab. 1) ein deutliches Übergewicht von SW gegenüber NE existiert (vor allem bei Klasse  $III_1$  mit einem Faktor größer als 4), also lufthygienisch günstige Ausbreitungsverhältnisse eher mit primärer als mit sekundärer Hauptwindrichtung einhergehen. Die labilen Ausbreitungsklassen IV und V sind dagegen im südwestlichen und im nordöstlichen Windrichtungssektor etwa gleich stark repräsentiert, mit einer schwachen Tendenz zu relativem Überwiegen nordöstlicher Richtungen bei steigendem Labilitätsgrad (Abb. 1). Die Bedeutsamkeit labiler Temperaturschichtung liegt in der turbulenten Durchmischung der labilen Luftschicht, die entweder bis in größere Höhen reichen oder durch eine Höheninversion auf die untersten Atmosphärenschichten begrenzt sein kann. In jedem Fall erfolgt eine Herabmischung von Rauchgasfahnen bis in Bodennähe, wobei die resultierende Immissionskonzentration von der Mächtigkeit der turbulent durchmischten Schicht und von der horizontalen Windgeschwindigkeit abhängen wird. Da labile Ausbreitungsbedingungen vorwiegend mit geringen Windgeschwindig-

Abb. 1: Prozentuale Aufttrittshäufigkeiten von Winden aus den beiden Hauptwindrichtungssektoren SW (230-270°) und NE (50-90°) differenziert nach den Ausbreitungsklassen (I-V) von KLUG/MANIER (DWD-Station Augsburg-Mühlhausen, Zeitraum 1980-1988).



Tab. 1: Prozentuale Aufttrittshäufigkeiten von Windgeschwindigkeitsklassen differenziert nach Ausbreitungsklassen (DWD-Station Augsburg-Mühlhausen, Zeitraum 1980-1988).

v in Knoten 1kn=0.51m/s	Ausbreitungsklassen (nach KLUG/MANIER)					
	I sehr stabil	II stabil	III <sub>1</sub> indifferent, leicht	III <sub>2</sub> indifferent, leicht	IV labil	V sehr labil
0	5.50	2.85	0.21	0.29	0.73	0.25
1-2	6.61	5.79	0.79	0.95	2.07	1.27
3-4	5.98	6.89	2.54	2.36	1.65	1.15
5-6		5.20	5.44	3.59	1.24	0.96
7-8			6.28	3.38	0.87	0.56
9-10			6.51	1.44	0.36	0.15
11-12			4.89	0.57	0.15	0.03
13-14			3.00	0.29	0.07	0.01
15-16			1.81	0.14	0.03	
17-18			1.07	0.06	0.01	
19-20			0.61	0.01		
> 20			0.77			

keiten einhergehen (Tab. 1), bedeutet das Auftreten der Klassen IV und V eine erhöhte Wahrscheinlichkeit der Herabmischung von Rauchgasfahnen in größerer Emittentennähe, und nordöstliche Windrichtungen sind in ähnlicher Häufigkeit mit derartigen Bedingungen verbunden wie solche aus dem südwestlichen Hauptwindrichtungssektor.

Bei den stabilen Ausbreitungsklassen I und II zeigt sich im sektoralen Vergleich ebenfalls eine starke Repräsentanz nordöstlicher Windrichtungen, vor allem bei gesteigertem Stabilitätsgrad (Klasse I) mit rund 2.5-fach höherer Auftrittshäufigkeit gegenüber südwestlichen Richtungen (Abb. 1). Stabile Temperaturschichtungen sind durch substantielle Beeinträchtigung turbulenter Durchmischung gekennzeichnet und führen bei geringen Windgeschwindigkeiten, wie sie in den Klassen I und II ganz überwiegend auftreten (Tab. 1), zu einer lufthygienisch besonders ungünstigen Anreicherung emittierter Schadstoffe in den unteren Luftschichten. Lediglich bei Obergrenzen der stabilen Luftschicht unterhalb der effektiven Quellhöhe tragen derartige Emissionen nicht zur lokalen Schadstoffanreicherung im Atmungsbereich bei; allerdings ist im Alpenvorland auch nur in rund 3% aller Fälle, die die extrem stabil geschichtete Ausbildungsform einer Inversion zeigen, mit Inversionsobergrenzen unterhalb von 150 m zu rechnen. Folglich repräsentieren die stabilen Ausbreitungsklassen vorwiegend ungünstige Austauschverhältnisse in der örtlichen Umgebung, und nordöstliche Windrichtungen treten dabei sogar häufiger auf als solche aus dem südwestlichen Hauptwindrichtungssektor.

Zusammenfassend läßt sich also feststellen, daß der Nordosten Augsburgs ein denkbar ungeeigneter Großemittentenstandort für die Stadt ist, da bei relativ günstigen Austauschverhältnissen südwestliche Windrichtungen mit der nordöstlichen Stadtperipherie in Leelage dominieren, bei relativ ungünstigen Austauschverhältnissen jedoch nordöstliche Windrichtungen mit der nordöstlichen Stadtperipherie in Luvlage entweder

vergleichbar häufig oder im Falle sehr stabiler Temperaturschichtung sogar wesentlich häufiger auftreten als Winde aus dem südwestlichen Hauptwindrichtungssektor. Die bereits in der früheren Studie aus klimatologischen Überlegungen formulierten Bedenken gegen Großemittentenstandorte im Nordosten der Stadt müssen also auf der Grundlage der neueren Daten nachhaltig bekräftigt werden.

## 2.2. Lokale Windsysteme

Zirkulationen, die unabhängig von der großräumigen ('synoptischen') Strömung entstehen, gehen im wesentlichen auf baukörperbedingte Veränderungen des lokalen Temperaturfeldes oder auf spezielle topographische Gegebenheiten der näheren Umgebung zurück. Bei den geringfügigen Reliefunterschieden im Raum Augsburg ist zwar nicht mit der Ausbildung eines kräftigen topographischen Lokalwindsystems zu rechnen, aber eine gewisse Leitwirkung der einige Zehnermeter in ihre Umgebung eingetieften Lech-Wertach-Ebenen auf die erdoberflächennäheren Luftströmungen läßt sich nicht generell ausschließen. Thermisch induzierte Lokalzirkulationen im Einflußbereich der Stadt werden vor allem in Gestalt eines sog. Flurwindsystems postuliert, bei dem im Gefolge einer relativ zum umgebenden Freiland stärker erwärmten Stadt flache Strömungsäste vom Umland in Richtung bebauten Gebiet entstehen. Zur Beurteilung möglicher Lokalzirkulationen im Raum Augsburg stehen für den fünfjährigen Zeitraum von September 1983 bis August 1988 die stündlichen Windaufzeichnungen von drei Stationen an verschiedenen Peripherien des Stadtgebietes zur Verfügung: i) Die Station Deuringen (universitärer Wölfle-Windschreiber auf dem Dach der Waldhausklinik) am westlichen Stadtrand liegt nicht mehr in den Lech-Wertach-Ebenen, sondern bereits am Rand der sich anschließenden westlichen Wälder im Bereich des südlichen Rauhen Forsts. ii) Die Station Hochzoll (universitärer Wölfle-Windschreiber auf dem Dach des Rudolf-Diesel-Gymnasiums) am südöstlichen Rand des bebauten Stadtgebietes liegt zwischen Lech und dem Anstieg zum Tertiärhügelland weiter im Osten. iii) Die Station Mühlhausen (amtliche Wetterdienststation am Verkehrslandeplatz) liegt in der



Friedberger Au an der nordöstlichen Stadtperipherie, rund 8 km von der Station Hochzoll entfernt, so daß bei den nicht übermäßig voneinander abweichenden Stationsdistanzen (Deuringen-Hochzoll: ca. 10 km, Deuringen-Mühlhausen: ca. 11 km) sowohl Schwerpunkt als auch In- und Umkreismittelpunkt des von den drei Stationen aufgespannten Dreiecks in das zentrumsnahe Industriegebiet zwischen Lech und Wertach zu liegen kommen (Schwerpunkt unweit der Kreuzung Sebastian-/Stadtbachstraße).

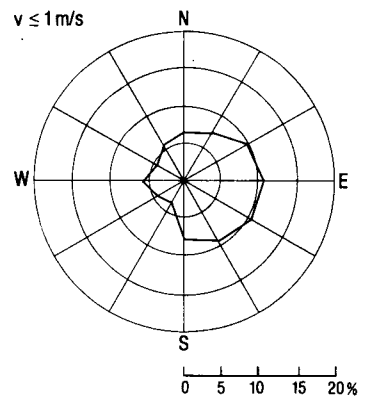
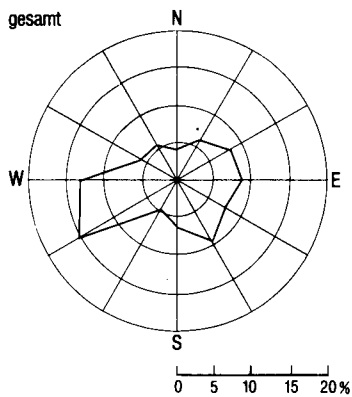
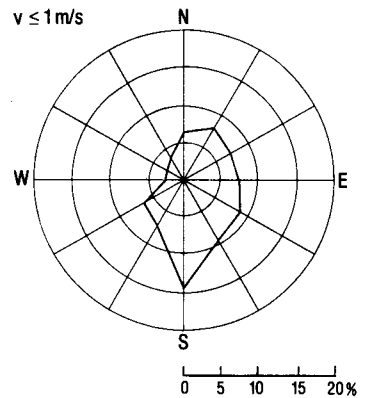
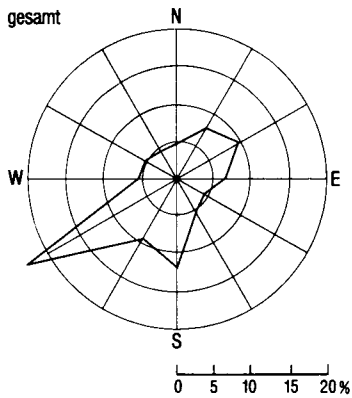
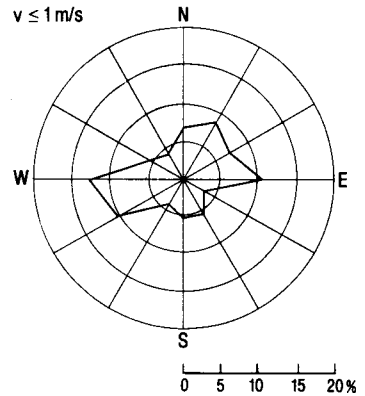
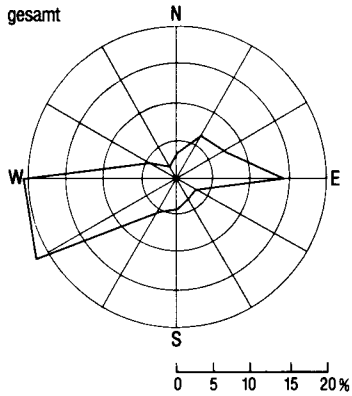
Abb. 2 zeigt auf stündlicher Beobachtungsbasis die Windrichtungsverteilungen an den drei genannten Stationen zum einen für die mehr als 40000 Einzelwerte umfassenden Gesamtkollektive, zum anderen für die ausgesprochen windschwachen Wetterlagen mit Windgeschwindigkeiten bis höchstens 1 m/s, die zwischen 16 und 24% der Gesamtkollektive umfassen. Man erkennt im ersteren Fall erwartungsgemäß die westsüdwestliche Hauptwindrichtung mit einem entgegengesetzt gerichteten Sekundärmaximum, wobei die Häufigkeitsachse bei der westlichen und der nordöstlichen Station näher an der zonalen West-Ost-Achse zu finden ist, bei der südöstlichen wie auch einer vom Bayerischen Landesamt für Umweltschutz im Süden der Stadt betriebenen Station (vgl. BLU, 1988, S.16) weiter von ihr entfernt. Möglicherweise äußert sich darin ein gewisser Ablenkungseffekt unter dem Einfluß erhöhter städtischer Oberflächenrauigkeit mit der Konsequenz einer kleinen Konfluenzkomponente über dem Stadtgebiet. Auffällig ist überdies je ein weiteres Sekundärmaximum in den Windrosen der beiden Flußniederungsstationen, bei südlichen Richtungen in Hochzoll und südsüdostwärts verschoben in Mühlhausen. In dieser Richtungsver-schiebung ist der Effekt topographischer Strömungskanalisation zu erkennen, denn nach etwa süd-nördlichem Grenzverlauf zwischen Lech-Wertach-Ebenen und Tertiärhügelland auf der Breite von Hochzoll vollzieht diese Grenze gerade in unmittelbarer Nachbarschaft von Mühlhausen eine zwischenzeitliche Drehung auf südöstlich-nordwestliche Verlaufsrichtung. Die Ursache dieser zusammengehörigen Sekundärmaxima dürfte in einem schwachgradientigen tagesperiodischen Lokalwindsystem zu suchen sein, bei dem in Abwesenheit stärkerer überörtli-

Abb. 2: Prozentuale Windrichtungsverteilungen im Zeitraum September 1983 bis August 1988 (linke Hälfte: Gesamtkollektive der stündlichen Aufzeichnungen; rechte Hälfte: Teilkollektive für geringere Windgeschwindigkeiten bis 1 m/s).

Oben: Station Deuringen

Mitte: Station Hochzoll

Unten: Station Mühlhausen



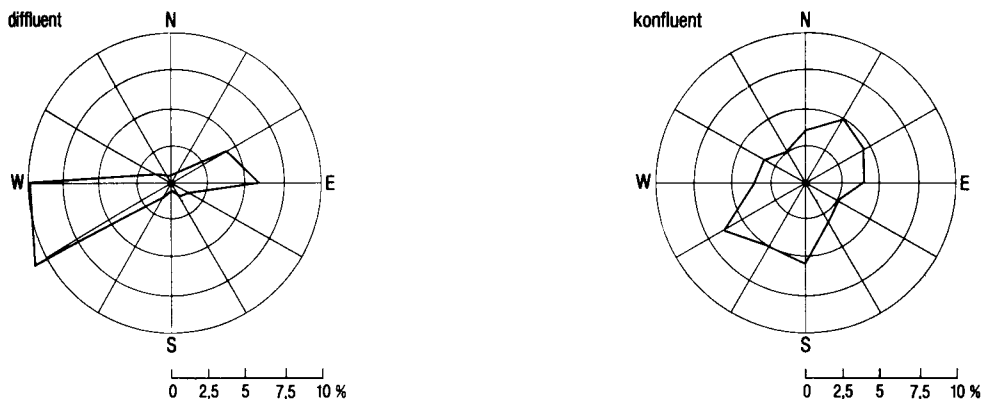
cher Strömungen nächtliche Temperaturkontraste zu einem langsamen talabwärtigen Abfließen relativ kühlerer Luftmassen aus höher gelegenen Bereichen des Hinterlandes führen. Hinweise darauf ergeben sich aus den Windrosen für Schwachwindverhältnisse (Abb. 2): hier steigen die südlichen Winde in Hochzoll sogar bis zum primären Maximum an, in Mühlhausen zeigt sich zwar eher eine generelle Zunahme der Winde mit östlichen Komponenten, aber die Richtung um  $150^\circ$  gerät unter Hinzunahme der etwas höheren Geschwindigkeiten bis 2 m/s auch hier ins primäre Maximum. Gleichzeitig bestätigt der ausgeprägte Tagesgang dieser südlichen bzw. südsüdöstlichen Winde mit 5-10-fach höheren Auftrittshäufigkeiten während der Nacht als am Tage den Charakter einer schwachen nächtlichen Ausgleichsströmung. Ein analoges Windsystem ist auch von BRÜNDL et al. (1986, S. 165 ff.) für die gesamte Münchner Ebene als wirksam geschildert worden. Allerdings scheint sich die nächtliche Ausgleichsströmung doch auf niedriger gelegene Bereiche, hier also die von Iller-Lech-Schotterplatten und Tertiärhügelland eingefassten Lech-Wertach-Ebenen zu konzentrieren: so fehlen südliche Maxima in Deuringen am Rande der westlichen Wälder auch bei den Schwachwindlagen. Statt dessen bildet sich hier, im Unterschied zu den beiden Talstationen mit stark reduzierten westlichen Häufigkeiten, im Sektor der westsüdwestlichen Hauptwindrichtung auch das Schwachwindmaximum aus. Da auch diese Winde einen deutlichen Tagesgang zeigen (rund 5-fach höhere nächtliche als tägliche Häufigkeiten), liegt die Vermutung nahe, daß dabei thermische Kontraste zwischen der Stadt und den westlich anschließenden Wäldern im Sinne eines Flurwindsystems eine Rolle spielen könnten.

Flurwinde bilden sich nach BARNER (1983, S. 61) dann aus, wenn bei nahezu windstillen Verhältnissen im Stadttinneren und höchstens geringeren Windstärken unter 3 m/s im weitgespannten Stadtumland die Temperaturkontraste zwischen Stadt- und Umland etwa  $5^\circ\text{C}$  bzw. die entgegengesetzt gerichteten Luftdruckgradienten etwa 0.07 hPa erreichen oder überschreiten. Derartige Bedingungen sind am ehesten bei austauscharmen Hochdruckwetterlagen vor allem während abendlicher und nächt-

licher Stunden zu erwarten. Die reale Bedeutsamkeit großstädtischer Flurwindssysteme wird allerdings sehr unterschiedlich beurteilt: so vermögen etwa BRÜNDL et al. (1986, S. 172) im Rahmen der Münchner Stadtklimauntersuchung keinen Flurwind zu ermitteln, und HÖSCHELE (1979, S. 25) negiert Flurwindphänomene gerade für Großstädte in gleichförmigen Ebenen aufgrund eines der großräumigen Luftströmung stärkeren Ausgesetztseins. Auf der anderen Seite spricht FEZER (1977, S. 2) von vorhersagbaren Lokalwinden nicht nur aufgrund topographischer Gegebenheiten, sondern auch thermisch sich unterscheidender Oberflächenarten, und KUTTLER (1988, S. 27) hält das Flurwindssystem angesichts einer mittleren Auftrittshäufigkeit von 10% und einer frühmorgendlichen bis zu 15%, wie es von KIESE und OTTO (1986) für die Stadt Dortmund ermittelt worden ist, für ein verstärkt zu berücksichtigendes planungsrelevantes Phänomen. Allerdings scheinen auch unterschiedliche Auffassungen über den Begriff 'Flurwind' vorzuliegen: so begreifen BRÜNDL et al. (1986, S. 172) ihn als ein Zuströmen der Luft aus allen Richtungen konzentrisch zum Stadtzentrum hin, was angesichts der dazu erforderlichen gleichzeitigen und gleichmäßigen thermischen Wirksamkeit unterschiedlicher Baukörperstrukturen in der Tat nur ein höchst selten zu erwartendes Ereignis ist. Auf der anderen Seite bezeichnen STOCK et al. (1986, S. 18) das Phänomen der Windkonvergenz im Stadtzentrum schon bei einer gewissen Tendenz zum Einschwenken der Luftströmung zur Stadtmitte hin als Flurwind, was - im Unterschied zu einer divergenten Umströmung des Stadtgebietes bei Südwest- und Westwinden - bei östlichen Winden ein charakteristisches Merkmal sein soll (ebenda, S. 17). Dieser Flurwindbegriff erscheint wiederum wesentlich zu weit gefaßt, jedenfalls solange, wie keine nachvollziehbare Spezifikation der Konvergenztendenz gegeben werden kann. Für den Raum Augsburg beläuft sich nach den fünfjährigen Stundenmessungen die Häufigkeit konvergenter Windfelder mit stadteinwärts gerichteter Strömungskomponente auf rund 35%, ohne daß all diese Konfigurationen als Flurwind bezeichnet werden können. Konvergenzen oder besser - da über einen etwaigen Massengewinn keine quantitative Aussage möglich ist - Konfluenzen im Strö-

mungsfeld können auch einer großräumigen synoptischen Strömung eingelagert sein oder unter dem Einfluß topographischer Gegebenheiten oder differenzierter Oberflächenrauigkeiten zustandekommen. Abb. 3 zeigt die Verteilungen der mittleren Windrichtung konfluenten und diffluenten Windfelder, bezogen auf alle großräumigen synoptischen Strömungen unter Einschluß der nicht unmittelbar über dem Stadtgebiet konfluenten Konfigurationen. Man erkennt eine auffällige Konzentration diffluenten Lagen auf den primären und sekundären Hauptwindrichtungssektor, während sich die konfluenten Lagen wesentlich gleichmäßiger auf die verschiedenen Windrichtungen verteilen.

Abb. 3: Prozentuale Verteilungen der mittleren Windrichtung konfluenten und diffluenten Windfelder in Augsburg bei großräumiger synoptischer Strömung (Zeitraum September 1983 bis August 1988).



Darin äußert sich erneut ein topographischer Effekt, der längs der eingetieften Lech-Wertach-Ebenen kaum Diffluenzen zuläßt, aber Konfluenzen ähnlich häufig ausbildet wie in den beiden Hauptwindrichtungssektoren. Diese wiederum unterscheiden sich dadurch, daß bei südwestlichen bis westlichen Richtungen tatsächlich diffluente Lagen mehr als doppelt so häufig auftreten wie konfluente, bei nordöstlichen bis östlichen Richtungen jedoch nicht das umgekehrte der Fall ist,

sondern lediglich eine Häufigkeitsangleichung stattfindet mit insgesamt sogar noch leicht höheren Werten diffluenter Lagen. Konfluenz in diesem Kontext hat jedoch noch nichts mit flurwindähnlichen Windsystemen zu tun, sondern resultiert aus synoptischen Zusammenhängen und topographisch bedingten Modifikationen. Der Begriff 'Flurwind' sollte hingegen nur auf solche Lokalzirkulationen angewandt werden, die unabhängig von großräumigen Strömungen als Folge eines städtisch modifizierten Temperaturfeldes entstehen. Ihre Bestimmung auf der Grundlage der dreiecksartig angeordneten Peripheriestationen kann in zwei Schritten erfolgen: i) Gewährleistung einer stadteinwärts gerichteten Luftströmung durch Ausweisung von maximalen Windrichtungssektoren, die an jeder Station jeweils auf bebautes Stadtgebiet gerichtet sind. ii) Gewährleistung der Unabhängigkeit von großräumigen Strömungen durch Ausschluß von Winden, die mit ähnlicher Richtung auch an einer oder an beiden anderen Stationen auftreten. Dabei hat sich der höchste Gesamterklärungsanteil (d.h. der geringste Anteil nicht klassifizierbarer stündlicher Windfelder) bei einer noch vertretbaren Ähnlichkeitsobergrenze von  $90^\circ$  Richtungs-differenz ergeben. In diesem Bestimmungsverfahren ist impliziert, daß Flurwinde auch an einzelnen Stationen und nicht nur gleichzeitig an allen auftreten können sowie insbesondere auch die Möglichkeit der Kombination von Einzelflurwind und partieller übergeordneter Strömung ansonsten besteht. Letzteres kann z.B. bei großräumig windschwachen Verhältnissen und der Ausbildung der oben erwähnten nächtlichen Ausgleichsströmung im Flußniederungsbereich erwartet werden. Tab. 2 zeigt, daß bei einem geringfügigen Residuum nicht klassifizierbarer Konfigurationen die großräumige synoptische Strömung in fast 80% der Fälle das Augsburger Windfeld dominiert, partielle übergeordnete Strömungen mit 17.6% noch relativ häufig ausgebildet sind und Flurwindstunden nur mehr in 6.8% aller Beobachtungen festgestellt werden können. Liegt schon dieser Wert deutlich unter der für Dortmund angegebenen Zahl von 10% (KIESE und OTTO, 1986), so relativiert ein Blick auf die zweite Hälfte von Tab. 2 die Flurwindbedeutsamkeit noch weiter: der weitaus größte Teil von Flurwindbeobachtungen kann

Tab. 2: Prozentuale Auftrittshäufigkeiten verschiedener Strömungskonfigurationen im Raum Augsburg (Zeitraum September 1983 bis August 1988)

großräumige synoptische Strömung S:	79.6
partielle übergeordnete Strömung P:	17.6
Flurwind F:	6.8
Residuum R:	1.4
-----	
Kombination P und F:	5.4
Flurwind an allen 3 Stationen:	0.1
Flurwind an 2 Stationen:	0.3
Flurwind nur an einer Station:	6.4
Flurwind in Deuringen:	4.8
Flurwind in Hochzoll:	1.1
Flurwind in Mühlhausen:	1.5

nur an jeweils einer Station gemacht werden, sehr häufig ergibt sich eine Überschneidung mit partiellen übergeordneten Strömungen, und idealtypische Flurwindkonstellationen mit allseits stadteinwärts gerichteten Strömungen treten nur mehr in 0.1% aller Fälle auf. Weiterhin wird erkennbar, daß im Niederungsbereich generell nur eine geringe Flurwindhäufigkeit zwischen ein und eineinhalb Prozent ausgebildet ist, erst am westlichen Stadtrand steigt sie auf knapp fünf Prozent an. Dieser auffällige Unterschied kann weder aufgrund der Baukörperstruktur noch angesichts bisheriger Meßfahrten auf entsprechende thermische Unterschiede der westlichen und östlichen Stadtteile zurückgeführt werden. Vielmehr scheint sich darin eine besondere Bedeutsamkeit der großen Waldgebiete auf den westlichen Randhöhen auszudrücken, aus denen bei fehlenden großräumigen Strömungen mitunter relativ kühlere Luft langsam in Richtung Stadtgebiet geführt wird; hierdurch wird auch das ungewöhnliche westsüdwestliche Schwachwindmaximum an der Station Deuringen (Abb. 2) verständlich. Ein weiterer Grund für die wesentlich geringere Flurwindhäufigkeit im Niederungsbereich liegt in der dortigen südlichen Aus-

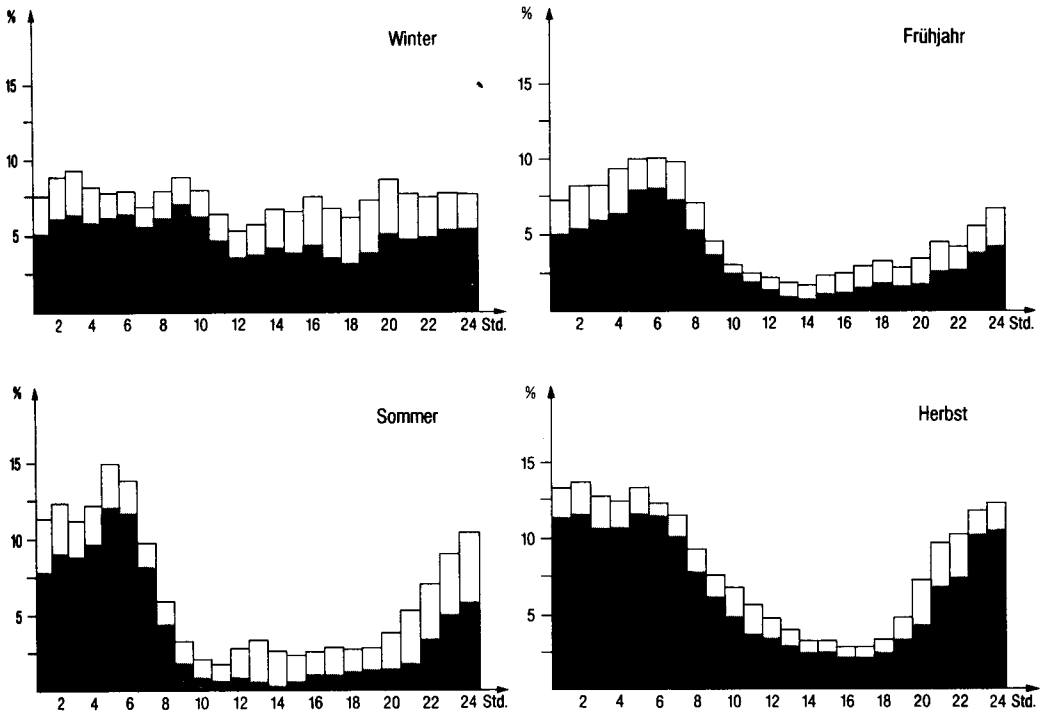
gleichsströmung, die insbesondere während rund zwei Drittel aller westlichen Flurwindstunden zu beobachten ist. Der thermische Einfluß des Stadtgebietes scheint sich in der Mehrzahl der Fälle gegen diese schwache überörtliche, topographisch kanalisierte Strömung nicht durchsetzen zu können. Während rund der Hälfte der verbleibenden westlichen Flurwindstunden liegt zumindest an einer der beiden Niederungsstationen keine definierte Windrichtung vor, so daß selbst in Abwesenheit einer spürbaren südlichen Ausgleichsströmung der thermische Einfluß des Stadtgebietes hier meist nicht zur Ausbildung von Flurwinden ausreicht.

Insgesamt lassen sich also im Unterschied zu den eingangs zitierten Gegensatzpositionen für den Raum Augsburg Flurwinde zwar durchaus ermitteln, wenngleich jedoch andererseits eine derartige Bedeutung, wie sie für das Ruhrgebiet geltend gemacht wird, nicht bestätigt werden kann. Topographisch beeinflusste Strömungen scheinen selbst im schwach reliefierten Raum Augsburg bei lokalen Windsystemen eine größere Rolle zu spielen; allerdings zeichnet sich doch eine gewisse Bedeutsamkeit der westlich angrenzenden Wälder für die Lufterneuerung im Stadtgebiet gerade bei windschwachen Verhältnissen ab.

Noch deutlicher wird dies bei einer tageszeitlichen Auflösung der Flurwindhäufigkeiten für die meteorologischen Jahreszeiten (Abb. 4), bei der der relative Anteil der Station Deuringen - im Mittel bei rund 70% gelegen - zur Zeit der nächtlichen bis frühmorgendlichen Flurwindmaxima sogar auf 80-85% ansteigt. Während dieser Zeiten treten im Sommer und Herbst allein im Westen Flurwindhäufigkeiten von teils über 10% auf, das absolute Maximum liegt mit 12% für Deuringen und fast 15% insgesamt in den Sommermonaten zwischen 4 und 5 Uhr morgens. Jahreszeitliche Unterschiede machen sich darüberhinaus insofern bemerkbar, als im Frühjahr insgesamt die niedrigste, im Herbst die höchste Flurwindhäufigkeit zu beobachten ist sowie insbesondere zwischen Sommer und Winter ein charakteristischer Kontrast in der Tagesamplitude festgestellt werden



Abb. 4: Prozentuale jahreszeitliche Flurwindhäufigkeiten im Tagesgang (gerastert: an der Station Deuringen; volle Säulenlänge: insgesamt im Raum Augsburg; Zeitraum: September 1983 bis August 1988).



kann: in der warmen Jahreszeit erreicht sie ihren größten Wert, bedingt durch das bekannte Maximum städtischer Überwärmung während der Nacht und durch tagsüber im Vergleich zum Umland teilweise sogar leicht niedrigere städtische Temperaturen (vgl. KUTTLER, 1985) als Folge von Schattenwirkungen oder gesteigerter turbulenter Durchmischung. In der kalten Jahreszeit dagegen gleichen sich die tageszeitlichen Flurwindhäufigkeiten stärker aneinander an, wie es dem zwar nur mittleren, aber beständigeren Temperaturkontrast zwischen Stadt und Umland während des Höhepunkts der Heizperiode entspricht.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß trotz begrenzter mittlerer Flurwindhäufigkeiten jahres- und tageszeitliche Pha-

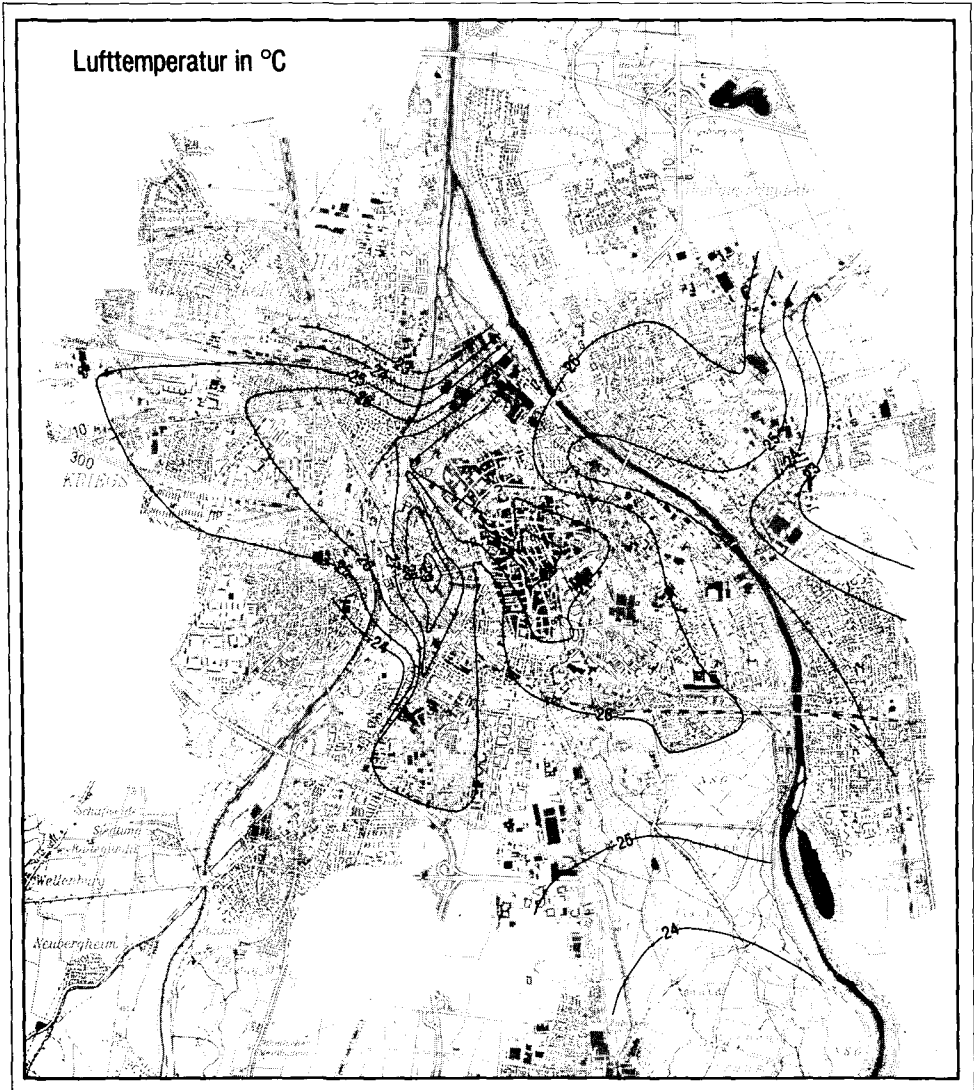
sen mit markant gesteigerter Aufttrittshäufigkeit derartiger Lokalwinde existieren; besonders sind dabei die nächtlichen bis frühmorgendlichen Stunden im Sommer und Herbst von Bedeutung, wenn starke vorausgehende Erwärmung bzw. eine Häufung spätsommerlicher Hochdrucklagen stattfinden kann. Allerdings scheint sich dieses lokale Windsystem im Raum Augsburg nur auf der Seite der großen westlichen Waldgebiete in substantieller Häufigkeit herauszubilden.

### III. TEMPERATUR- UND FEUCHTIGKEITSVERHÄLTNISSE

#### 3.1. Sommerabendliche Temperaturverteilung bei Strahlungswetter

Zur Erfassung und Beurteilung der innerstädtisch differenzierten Temperaturverteilung bedient man sich heute zumeist modellhafter Annäherungen sowie geeigneter Fernerkundungsmethoden. Für das Stadtgebiet von Augsburg ist dies auf der Grundlage einer luftbildgestützten Detailkartierung nach unterschiedlichen Oberflächenbedeckungsarten und rechnerischer Berücksichtigung charakteristischer Lufttemperaturen (HASE, 1990) sowie in Gestalt oberflächentemperaturbezogener Auswertungen von Thermalbildern (KULOW, 1990) geschehen. Doch selbst das traditionelle Verfahren, meßfahrtgestützte Punktinformationen zu Isothermenkarten zu interpolieren, vermag brauchbare Teilergebnisse zu liefern. Abb. 5 zeigt ein charakteristisches Beispiel bei sommerlicher Strahlungswetterlage, wie es sich auf der Basis rund zweistündiger abendlicher Meßfahrten aus etwa 50 punktuellen Einzelwerten erstellen läßt. Zwar ist damit keine kleinräumige thermische Differenzierung zu erreichen, aber wesentliche Züge der innerstädtischen Temperaturverteilung zum jeweiligen Meßzeitpunkt werden dennoch erkennbar. So zeigt sich in Abb. 5 eine für die Innenstadt Augsburgs charakteristische Aufgliederung der Wärmeinsel in zwei Kernbereiche um das Bahnhofsgelände und im südlichen Teil der Altstadt mit einer dazwischengelegenen Zunge einige Grade niedrigerer Temperaturen, die von Hochfeld ausgehend dem stärker durchgrünzten Streifen entlang der Konrad-Adenauer-Allee folgt und zumindest bis zum zentral

Abb. 5: Temperaturverteilung in Augsburg an einem sommerlichen Strahlungswettertag kurz nach Sonnenuntergang (Entwurf: J. Breitsameter).



gelegenen Königsplatz reicht. Relativ stärkere Gradienten treten südwestlich des Bahnhofs in Richtung Rosenau-Stadion auf, am östlichen Stadtrand von Lechhausen und im Norden von Augsburg, sowohl zwischen dem dicht bebauten Oberhausen-Süd und dem Nordfriedhof als auch zwischen dem Industriegebiet rechts der Wertach und der Auenlandschaft Wolfzahnau. Insgesamt können auf diese Weise an einem antizyklonal bestimmten Sommerabend, der maximale thermische Kontraste erwarten läßt,

in Abhängigkeit der Oberflächenbeschaffenheit innerstädtische Lufttemperaturenunterschiede bis zu 3°C, gegenüber der Stadtperipherie von 5-6°C festgestellt werden. Stützt man sich stattdessen auf kontinuierliche Tagesgangmessungen an ausgewählten Standorten, lassen sich teils noch stärkere Kontraste ermitteln (siehe weiter unten).

### 3.2. Tagesgänge über verschiedenen Oberflächenbedeckungsarten

Die unterschiedliche Beschaffenheit der Oberfläche spielt nicht nur für die thermische, sondern auch für die hygrische Differenzierung innerhalb der Stadt eine maßgebliche Rolle. Dabei ist neben der temperaturabhängigen relativen Feuchte vor allem der absolute Wasserdampfgehalt der Luft von Bedeutung, der in Gestalt des Wasserdampf-Partialdrucks (kurz Dampfdruck) auch als einfacher Schwülemaßstab eingeführt worden ist (SCHARLAU, 1950). Neuere Studien aus dem Ruhrgebiet (z.B. BECKRÖGE et al., 1988, S. 46 ff.) haben ergeben, daß entgegen landläufiger Erwartung über stark versiegelten Oberflächen der Wasserdampfgehalt der Luft häufig größer ist als an stärker durchgrüneten Standorten. Ähnliche Verhältnisse sind bereits in einer windschwachen Strahlungsnacht in Leicester mit höheren Dampfdruckwerten in der Stadt als in der Umgebung erkennbar geworden (CHANDLER, 1976, S. 22) und teilweise auch in der Stadtklimastudie München angeklungen (BRÜNDL et al., 1986, S. 133 und 149). Für das Augsburger Stadtgebiet können charakteristische Tagesgänge während sommerlicher Strahlungswetterlagen an vier repräsentativen Standorten unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit vorgelegt werden: i) als offene versiegelte Fläche figuriert der zentral gelegene Königsplatz, der zwar selbst im Hochsommer durch östlich gelegene Häuserfronten eine teilweise Abschattung bis gegen 11 Uhr MESZ erfährt, aber insgesamt erst weitestgehend von Gebäuden umgeben ist; auf der abendlichen Isothermenkarte (Abb. 5) erscheint er zwischen den beiden Kernbereichen maximaler Überwärmung gelegen. ii) Der Standort Fischmarkt direkt neben dem Rathaus repräsentiert ein eng bebauteres Gebiet im Stadtzentrum, das schlecht durchlüftet und

den größten Teil des Tages abgeschattet ist; auf der abendlichen Isothermenkarte liegt es im Bereich des altstädtischen Überwärmungskerns. iii) Als offene Grasfläche wurde die große Wiese im Botanischen Garten gewählt, nicht abgeschattet und erst in größerer Entfernung von Bäumen flankiert; in der abendlichen Isothermenkarte liegt sie bereits außerhalb des innerstädtischen Überwärmungsbereichs. iv) Typische Vergesellschaftung von Baum, Strauch und Wiese zeigt der Standort Wittelsbacher Park, in der abendlichen Isothermenkarte gerade im Bereich starker Gradienten zwischen Hauptbahnhof und Stadion gelegen.

Die Abbildungen 6 und 7 geben die Tagesgänge von Lufttemperatur, relativer Luftfeuchte und Dampfdruck in 2 m Höhe über Grund an diesen vier Standorten während windschwachem sommerlichem Hochdruckwetter wieder. Die Werte für Königsplatz und Wittelsbacher Park sind im Rahmen eines studentischen Praktikums im Juni 1987 ermittelt worden, die Werte für Fischmarkt und Botanischen Garten gehen auf elektronische Aufzeichnungen im Juli 1989 zurück. Die ursprünglichen Zeitreihen im Zehnminuten-Intervall (punktuelle Einzelablesungen im ersten Fall, gemittelte Minutenwerte im zweiten Fall) sind nachträglich einer Gauß'schen Tiefpaßfilterung mit Unterdrückung aller Perioden bis zu einer Stunde unterworfen worden. Im Vergleich zwischen versiegelter Freifläche und städtischem Park (Abb. 6) ergibt sich ganztägig ein um 0.5-2 hPa höherer Dampfdruck im parkartigen Grünbereich, die relative Feuchte sinkt dort nur für kurze Zeit am Vormittag geringfügig unter die Werte des Königsplatzes. Um diese Zeit ist jedoch die versiegelte Fläche aufgrund ihrer teilweisen Abschattung auch noch etwas kühler, erst gegen 11 Uhr kehrt sich dieses Bild wieder in gewohnter Weise um. Allerdings erreicht der thermische Kontrast am Nachmittag maximal 1.5°C und verbleibt selbst in der Nacht noch unter 3°C. Allochthone Einflüsse machen sich in der spätnachmittäglichen Temperaturmulde (vorübergehender Bewölkungsaufzug) und im abendlichen Dampfdruckanstieg bemerkbar (einsetzende Advektion schwüler Luftmassen).

Abb. 6: Tiefpaßgefilterte Tagesgänge dreier meteorologischer Elemente (2 m über Grund) während sommerlichem Strahlungswetter an den Standorten versiegelte Freifläche (Königsplatz) und städtischer Park (Wittelsbacher Park). Aufnahme vom Juni 1987, Zeitangaben in mitteleuropäischer Sommerzeit.

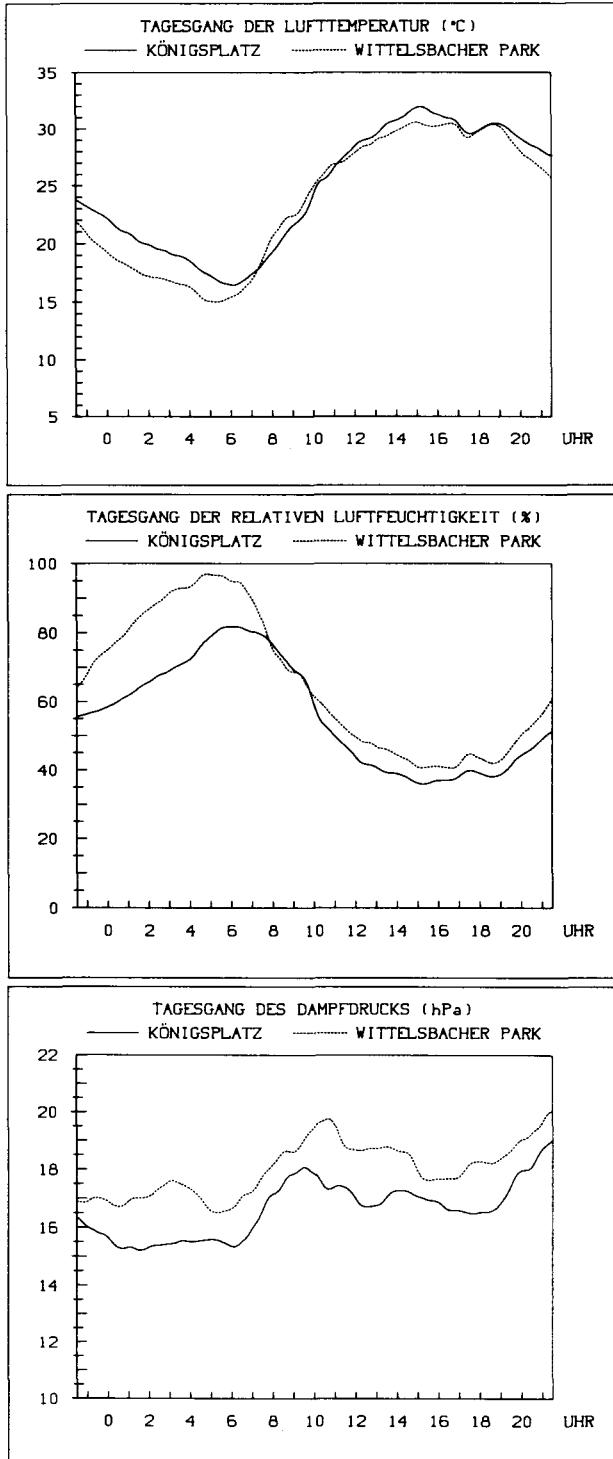
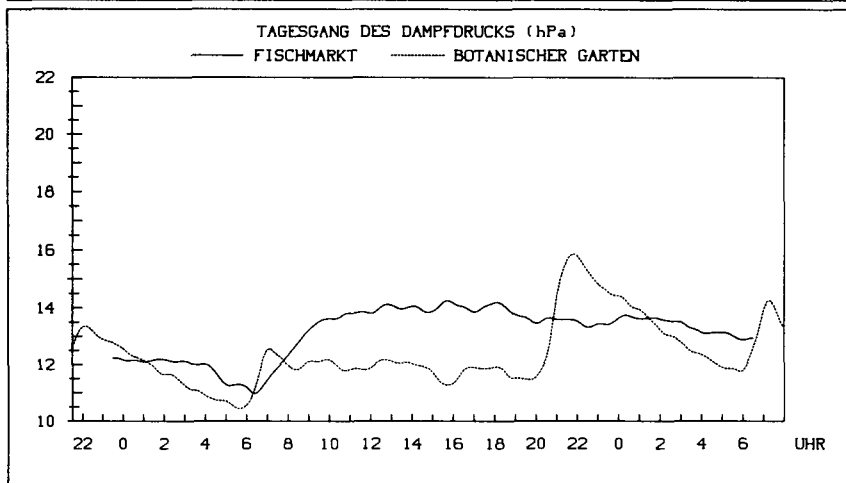
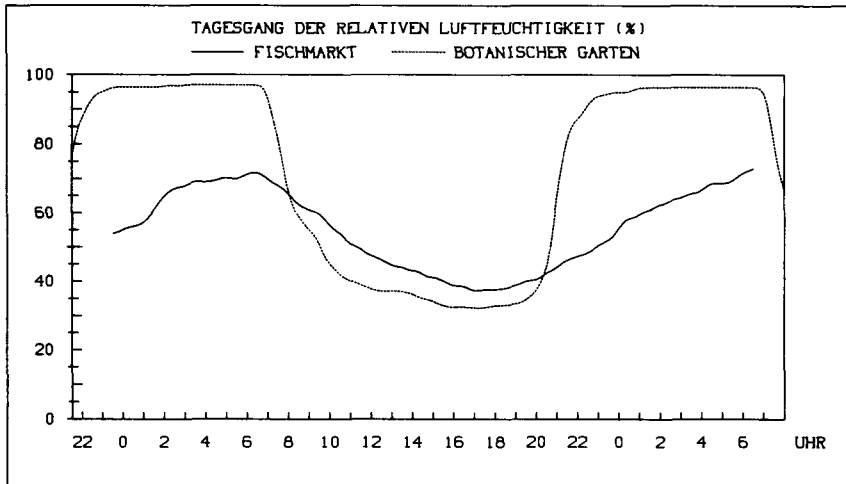
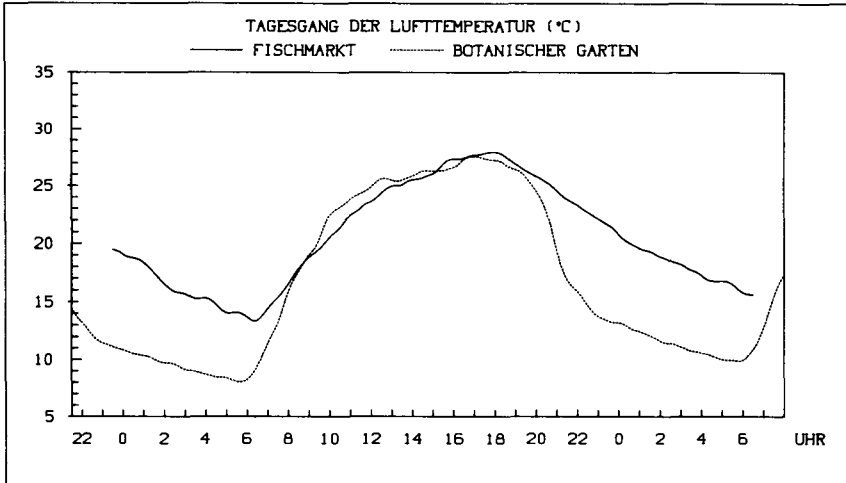


Abb. 7: Tiefpaßgefilterte Tagesgänge dreier meteorologischer Elemente (2 m über Grund) während sommerlichem Strahlungswetter an den Standorten dicht bebaute Innenstadt (Fischmarkt) und offene Grasfläche (Botanischer Garten). Aufnahme vom Juli 1989, Zeitangaben in mitteleuropäischer Sommerzeit.



Der Vergleich zwischen dicht bebautem Innenstadtbereich und offener Rasenfläche (Abb. 7) liefert dagegen ein völlig andersartiges Bild: nach bis zu fast 2°C höheren Vormittagstemperaturen erreicht der Wiesenstandort am Nachmittag ein nur geringfügig niedrigeres Maximum, fällt aber am Abend und in der Nacht drastisch um bis zu mehr als 8°C gegenüber der Altstadt ab. Der Tagesgang des Dampfdrucks über der Wiese zeigt im Unterschied zum relativ gleichförmigen Verlauf in der Innenstadt einen zweifachen Phasendurchgang und außer zu den Zeiten der morgendlichen und abendlichen Maxima im längeren Teil des Beobachtungsintervalls geringere Werte als im dicht bebauten Bereich, vor allem tagsüber mit bis zu fast 3 hPa Dampfdruckdifferenz.

Die gängige Erklärung für derartige zunächst ungewöhnlich anmutende Phänomene zieht - in Abwesenheit advektiver Prozesse - ein variables Wechselspiel von unterschiedlicher Oberflächenverdunstung, nächtlicher Tauausfällung und turbulenter Durchmischung heran (vgl. etwa BECKRÖGE et al., 1988, S. 47 ff.): so erfolgt nach Sonnenaufgang bei temperaturbedingt verstärkter Verdunstung ein deutlicher Dampfdruckanstieg, der über (häufig sogar taubenetzten) Grünflächen eher einsetzt und teilweise auch steiler verläuft als über stärker versiegelten Flächen; zu dieser Zeit übersteigt das Dampfdruckniveau im Botanischen Garten auch dasjenige vom Fischmarkt. Mit zunehmender Erwärmung setzen Vertikalaustausch und turbulente Durchmischung ein (vgl. STOCK und BECKRÖGE, 1985, S. 86), die bodennahe Luftpakete nach oben abführen und trockener Luft aus etwas größerer Höhe bis in Bodennähe gelangen lassen. Soweit die Oberflächenverdunstung mit diesem Luftaustausch nicht Schritt zu halten vermag, muß sich ein Rückgang in den ermittelten Dampfdruckwerten ergeben. Dies ist bei sommerlichem Strahlungswetter sogar über Grünflächen der Fall, wobei folgende Differenzierungen zu erkennen sind: der austauschbedingte Dampfdruckabfall setzt im baumbestandenen Park rund eine Stunde später ein als über der versiegelten Freifläche und erfolgt über der unbeschatteten Wiese sogar bereits eine gute Stunde nach dem morgendlichen Temperatur-



und Dampfdruckminimum. Allein im dicht bebauten Gebiet scheint der turbulente Austausch so stark behindert zu sein, daß kein vergleichbarer Dampfdruckabfall stattfindet und sich der Wasserdampfgehalt der Luft nach seinem allmählichen morgendlichen Anstieg deutlich über dem Niveau des Botanischen Gartens bewegt. Bemerkenswert bleibt dennoch der immerhin 3 hPa umfassende Dampfdruckanstieg von morgens bis mittags in dieser weit und breit von größeren biogenen Feuchtequellen freien Umgebung. Horizontaler Transport etwa aus den durchgrünzten Bereichen um den Botanischen Garten entfällt aus mehreren Gründen: erstens konnten zur fraglichen Zeit keine beständigen Luftzüge aus dieser Richtung festgestellt werden, zweitens würde selbst dann die dichte Bebauung erneut austauschbeeinträchtigend wirken, und drittens war der Innenstadtbereich bis gegen 15 Uhr sogar weniger warm als der Botanische Garten, mithin also kein entsprechend erforderliches Temperaturgefälle für stadteinwärts gerichtete Lokalwinde vorhanden. Als einzige Erklärungsmöglichkeit für den innerstädtischen Dampfdruckanstieg bleiben anthropogene Wasserdampfquellen, deren Bedeutsamkeit allerdings sehr unterschiedlich eingeschätzt wird (FIEDLER, 1979, S. 14 f.; LANDSBERG, 1981, S. 180 f.). Neben der Austauschbeeinträchtigung würden sie sich zumindest gut in das Bild des relativ ausgeglicheneren Dampfdruckgangs am Fischmarkt einfügen.

Eine spektakuläre Änderung der Dampfdruckverteilung tritt erst gegen Abend ein, als bei leicht niedrigeren Werten am Fischmarkt eine sprunghafte Erhöhung zum absoluten Tagesmaximum im Botanischen Garten erfolgt (innerhalb von zwei Stunden um fast 4.5 hPa). Zwar fällt, wie am linken Diagrammrand gerade noch erkennbar, die analoge Erhöhung am Vorabend auf absolut niedrigerem Gesamtniveau nicht ganz so kräftig aus, doch läßt sich das prinzipiell übereinstimmende Phänomen durchaus als eine abendliche Diskontinuität bezeichnen. Im Unterschied zum morgendlichen Dampfdruckanstieg wird der abendliche jedoch von einer sogar kräftigen Abkühlung begleitet. Als gängige Erklärung bietet sich der ab einer bestimmten unterschrittenen Temperaturschwelle rasch zusammenbre-

chende Vertikalaustausch an, der bei noch fortgesetzter Evapotranspiration eine Dampfdruckerhöhung zur Folge haben muß. Zwei Beobachtungen werfen jedoch die Frage auf, ob dies bereits eine allseits befriedigende Erklärung sein kann: i) BRÜNDL et al. (1986, S. 135) präsentieren Vertikalprofile der spezifischen Luftfeuchtigkeit  $s$  (eines im untersten Teil der Atmosphäre von Luftdruckunterschieden unabhängigen Maßes des Wasserdampfgehalts) über einer urbanen Wiese zu verschiedenen Tageszeiten einer sommerlichen Strahlungswetterlage. Dabei wird erkennbar, daß am Abend gleichermaßen wie am Morgen (also zu den Zeiten erhöhten Dampfdrucks in Bodennähe) die vertikale Abnahme von  $s$  geringer und  $s$  zumindest bis in eine Höhe von 100 m über Grund größer ist als am Nachmittag. Dies setzt zum einen wenigstens noch begrenzten Austausch auch am Abend voraus und läßt sich dann nur durch veränderte Durchmischungsmächtigkeiten (tagsüber wesentlich über 100 m hinausgehend) oder unterschiedliche Evapotranspirationsraten erklären (früh und abends besonders gesteigert). ii) Die abendliche Dampfdruckerhöhung über der Grasfläche geht mit einer auffälligen Temperaturentwicklung einher: nachdem noch gegen 19 Uhr nur ein geringfügiger Unterschied unter einem halben Grad gegenüber der Innenstadt zu beobachten ist, beginnt anschließend ein rapider Rückgang, der in den eineinhalb Stunden bis Sonnenuntergang bereits zu einer Temperaturdifferenz von etwa  $4^{\circ}\text{C}$  führt; nach Sonnenuntergang beschleunigt sich dieser Rückgang anfänglich noch weiter auf mehr als  $1^{\circ}\text{C}$  pro 10 Minuten und mündet später in mehr als  $8^{\circ}\text{C}$  Temperaturunterschied zur nur langsam abkühlenden Innenstadt. Bemerkenswert ist jedoch vor allem der nach erst allmählicher spätnachmittäglicher Abkühlung noch deutlich vor Sonnenuntergang unvermittelt einsetzende rasante Temperaturrückgang in Begleitung eines nicht minder rasanten Dampfdruckanstiegs unter der wahrscheinlichen Bedingung eines zwar nur mehr höhenmäßig begrenzten, aber noch nicht vollkommen zusammengebrochenen Vertikalaustauschs. Diese Situation ließe sich am ehesten unter Beteiligung einer abendlichen Transpirationsbelegung verstehen, deren gesteigerter Wärmeentzug zum Übergang von allmählicher zu kräftiger Abkühlung noch vor definitiven Ausstrah-

lungsbedingungen beitragen könnte. In botanischen Lehrbüchern (NULTSCH, 1986, S. 235; STRASBURGER, 1983, S. 323) steht für den Fall zu hoher Wasserdampfabgabe an heißen und trockenen Tagen die Möglichkeit eines vorübergehenden Stomataschlusses um die Mittagszeit zu lesen, der nach WALTER (1986, S. 129 f.) bei weiterer Erschwerung des Wassernachschubs schon in die Vormittagsstunden vorverlegt sein kann. Auch KESSLER (1971, S. 17) erwähnt eine nachmittägliche Bremsung des Verdunstungswärmestroms über einer Rasenfläche bei reduzierter Wasserverfügbarkeit. Eine spürbare Transpirationsbelebung einige Stunden nach dem verzögerten thermischen Tagesmaximum ist damit zwar noch nicht gesichert, aber auch nicht auszuschließen.

Die unter ungehinderter Ausstrahlung weiter verschärfte Abkühlung führt bereits gegen 22 Uhr zu einer relativen Luftfeuchtigkeit von fast 90%, womit an der Grasoberfläche Taubildung einsetzt. Von diesem Zeitpunkt an verlangsamt sich durch die freiwerdende Kondensationswärme die weitere Abkühlung, im Gefolge sogar unter die Raten der überwärmten Innenstadt (der maximale Temperaturkontrast wird gegen 23 Uhr beobachtet), und die Dampfdruckkurve fällt durch fortgesetzte Kondensation an der Oberfläche beständig bis zum Sonnenaufgang (um 3-4 hPa), wobei sie in der zweiten Nachthälfte das nur langsam nachgebende Niveau der Innenstadt wieder unterschreitet. Im Wittelsbacher Park werden bei weniger extremen Ausstrahlungsverhältnissen entsprechend hohe relative Feuchtwerte mit Taubildung und Dampfdruckabfall erst später in der Nacht erreicht, die versiegelten Standorte gelangen überhaupt nicht bis an diesen Punkt.

Zusammenfassend kann für sommerliche Strahlungsverhältnisse festgehalten werden, daß reine Rasenflächen durchaus extreme Standorte darstellen, nicht nur hinsichtlich der Lufttemperatur mit massiver nächtlicher Abkühlung und täglicher Erwärmung, die kaum hinter dicht bebauten Bereichen zurückbleibt, sondern auch hinsichtlich des Wasserdampfgehalts, der sowohl längere Zeit deutlich niedrigere Werte als über abgeschirmten

Versiegelungsflächen wie auch vorübergehend besonders gesteigerte Werte annehmen kann. Ausgeglichenere sind dagegen parkartige Umgebungen, deren Wasserdampfgehalt auch kontinuierlich höher zu bleiben scheint als zumindest über versiegelten Freiflächen. Dies kann allerdings auch dazu führen, daß schon eher Schwülegrenzen überschritten werden: legt man den von SCHARLAU (1950) eingeführten Grenzwert von 18.8 hPa Dampfdruck zugrunde, so wurden im Park am Spätvormittag des Meßtages bereits vorübergehend leichte Schwülebedingungen erreicht, während der Königsplatz auch in seinem vormittäglichen Dampfdruckmaximum unter dieser Schwelle blieb. Potentiell problematische Verhältnisse deuten sich schließlich in dicht bebauten Gebieten an: zwar lag dort während des Meßtages der Dampfdruck beständig deutlich unterhalb der Schwülegrenze, doch indiziert die gleichmäßige Verlaufsform insbesondere bis weit in die Nacht hinein kaum eine Entlastung, wie sie vor allem bei generell absolut feuchteren Verhältnissen bedürftigkeitsverspürt wird. In Kombination mit einem besonders stark verzögerten Temperaturmaximum (am Meßtag erst gegen 18 Uhr) und nur langsam erfolgender nächtlicher Abkühlung konstituiert dies potentielle Belastungen, die am wirksamsten durch verbesserte Ventilationsmöglichkeiten zu reduzieren wären.

#### IV. AUSBLICK

Künftige Schwerpunkte stadtklimatologischer Untersuchungen im Raum Augsburg können vor allem in zwei Blickrichtungen formuliert werden: 1) Spezifizierung der Klimamodifikation durch bestimmte Bebauungsstrukturen. Hierbei ist z.B. an das Universitätsviertel zu denken, in dem während des letzten Jahrzehnts eine rege Bautätigkeit einsetzte, deren klimatische Auswirkungen durch eine Kombination von Oberflächenveränderungserfassung und modellhafter Klimaapproximation abgeschätzt werden können. 2) Die Zusammenführung lufthygienischer und klimatologischer Einzelaspekte: hierbei ist etwa an Immissionskonzentrationsabhängigkeiten von allgemeinen Witterungsbedingungen oder an den lufthygienischen Einfluß lokaler Windsysteme zu denken. In beiden Fällen ergibt sich die

Möglichkeit sowohl modelltheoretischer als auch empirischer Studien, womit ein breites Spektrum klimatologischer Arbeitsmethodik angesprochen ist.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- BARNER, J., 1983: Experimentelle Landschaftsökologie. Stuttgart, 1983.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (Hrsg.), 1988: Belastungsgebiet Augsburg: Emissionskataster, Immissionskataster. München, 1988.
- BECKRÖGE, W., O. KIESE, G. OTTO u. P. STOCK, 1988: Klimaanalyse Stadt Recklinghausen. Münster, 1988.
- BRÜNDL, W., H. MAYER u. A. BAUMGARTNER, 1986: Untersuchung des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse in bayerischen Großstädten. Abschlußbericht zum Teilprogramm "Klimamessungen München". München, 1986.
- CHANDLER, T.J., 1976: Urban climatology and its relevance to urban design. WMO Technical Note, No. 149, 1976.
- FEZER, F., 1977: Klimauntersuchungen als Planungshilfe. In: Fezer, F. u. R. Seitz (Hrsg.): Klimatologische Untersuchungen im Rhein-Neckar-Raum. Heidelberger Geographische Arbeiten, 47, 1977, S. 1-6.
- FIEDLER, F., 1979: Modifikation der Luftfeuchte in einem Stadtgebiet. Promet, 4'79, S. 12-16.
- HASE, E., 1990: Die raum-zeitlich differenzierte thermische und hygrische Situation im Stadtgebiet von Augsburg. Augsburger Geographische Hefte, 8, 1990, S. 29-76.
- HÖSCHELE, K., 1979: Das Windfeld der Stadt. Promet, 4'79, S. 21-26.
- JACOBET, J., 1986: Stadtklimatologie von Augsburg unter besonderer Berücksichtigung der lufthygienischen Situation sowie des Lärms. Augsburger Geographische Hefte, 6, 1986.
- KESSLER, A., 1971: Über den Tagesgang von Oberflächentemperaturen in der Bonner Innenstadt an einem sommerlichen Strahlungstag.

- Erdkunde, 25, 1971, S. 13-20.
- KIESE, O. u. G. OTTO, 1986: Windanalyse der Stadt Dortmund.  
Bericht KVR, Essen 1986.
- KULOW, K.-H., 1990: Tageszeitliches Temperaturverhalten verschiedener Baukörperstrukturen in Augsburg anhand Thermalbildauswertung.  
Augsburger Geographische Hefte, 8, 1990, S. 77-119.
- KUTTLER, W., 1985: Stadtklima: Struktur und Möglichkeiten zu seiner Verbesserung.  
Geographische Rundschau, 37 (5), 1985, S. 226-233.
- KUTTLER, W., 1988: Planungsrelevante Stadtklimatologie.  
Mitteilungen der DMG, 4/88, S. 23-28.
- LANDSBERG, H., 1981: The Urban Climate.  
International Geophysics Series, 28, 1981.
- MANIER, G., 1971: Untersuchungen über meteorologische Einflüsse auf die Ausbreitung von Schadgasen.  
Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 124, 1971.
- NULTSCH, W., 1986: Allgemeine Botanik.  
Stuttgart, 1986.
- SCHARLAU, K., 1950: Einführung eines Schwülemaßstabes und Abgrenzung von Schwülezeiten durch Isohygrothermen.  
Erdkunde, 4, 1950, S. 188-201.
- STOCK, P. u. W. BECKRÖGE, 1985: Klimaanalyse Stadt Essen.  
Essen, 1985.
- STOCK, P., W. BECKRÖGE, O. KIESE, W. KUTTLER u. H. LÜFTNER, 1986: Klimaanalyse Stadt Dortmund.  
Essen, 1986.
- STRASBURGER, E., 1983: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen.  
Stuttgart/New York, 1983.
- WALTER, H., 1986: Allgemeine Geobotanik.  
Stuttgart, 1986.