

Jucundus Jacobeit

Bewertungsfragen in der Stadtklimatologie

1. Einführung

Bewertungsfragen haben sich in der Landschaftsökologie zu einem herausragenden Forschungs- und Anwendungsbereich entwickelt (vgl. HASE 1992), wobei neben funktionsorientierten Wertanalysen insbesondere eine Vielzahl von Bewertungsverfahren zur Ausbildung gelangt ist, die sich mit anthropogenen Nutzungen oder Einwirkungen auf landschaftliche Ökosysteme befassen (objektivierte Bewertungen von Nutzungseignungen, ökologische Belastungs- und Risikoanalysen). Grundsätzlich lassen sich in der Bewertungsbetrachtung - trotz fließender Übergänge - die nicht-überbauten Gebiete der sog. "freien Landschaft" von den primär anthropogen gesteuerten, urbanen Ökosystemen unterscheiden; erstere werden z.B. im Rahmen von naturhaushaltlichen Studien oder von umsetzungsorientierten Landschaftsplanungen ökologischen Bewertungen unterworfen, letztere erfahren analysierende und bewertende Behandlung im Rahmen der sog. Stadtökologie (vgl. ADAM 1985). Diese wiederum hat sich unterschiedlichen Betätigungsfeldern zuzuwenden wie den spezifischen Vegetationsverhältnissen städtischer Lebensräume (urbane Biotope), den oftmals außergewöhnlichen Schadstoffbelastungen verbliebener Böden im weitgehend überbauten Stadtgebiet, den wachsenden Abfallproblemen unserer Ballungsgebiete, den besonderen hydrologischen Verhältnissen des urbanen Wasserhaushalts und - nicht zuletzt - den vielfältig modifizierten klimatischen Bedingungen, die sich unter dem Einfluß des städtischen Baukörpers und der klimawirksamen Aktivitäten seiner Bewohner ergeben. Der vorliegende Beitrag befaßt sich mit diesem stadtklimatologischen

Problemfeld und versucht diejenigen Aspekte herauszustellen, die einer (klima-) ökologischen Bewertung in wissenschaftlichem oder stadtplanerischem Kontext unterliegen oder zugeführt werden sollten. Allgemein läßt sich der Themenkomplex in zwei gesondert behandelte Teile untergliedern:

- Fragen der Luftgüte betreffend (Kap. 2), die aus der anthropogenen Freisetzung von Schadstoffen und der folglich veränderten Luftzusammensetzung im Stadtgebiet resultieren;
- Aspekte des urban modifizierten Klimas und seiner spezifischen Randbedingungen (Kap. 3), die Anlaß zur Sprechweise eines eigenständigen Stadtklimas geben.

Illustrationsbeispiele werden aus dem Stadtgebiet von Augsburg gegeben, in dem der Verfasser in den 80er Jahren an einer Reihe stadtklimatologischer Untersuchungen beteiligt war.

2. Luftgüte

Bei der Betrachtung der lufthygienischen Verhältnisse sind zunächst der quellengebundene Schadstoffausstoß (Emission) und die unmittelbare Schadstoffeinwirkung auf die Umwelt (Immission) zu unterscheiden. Zwischen beiden liegt die von atmosphärischen Zustandsbedingungen und Oberflächenstrukturen abhängige Ausbreitung emittierter Schadstoffe sowie die reaktiv bedingte Entstehungsmöglichkeit weiterer, sekundärer Substanzen, wie z.B. die Entstehung des bodennahen Ozons, das bevorzugt in den Sommermonaten bei starker Sonneneinstrahlung unter Beteiligung von anthropogen emittierten Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen photochemisch gebildet wird. In der jeweiligen Immissionssituation, die

lufthygienisch bewertend zu analysieren ist, spiegeln sich also emissionspezifische, meteorologische, oberflächenstrukturelle und luftchemische Gegebenheiten in ortskennzeichnendem Wirkungszusammenhang.

2.1 Grenzwerte

Ein erster Ansatzpunkt lufthygienischer Bewertung besteht im Vergleich gemessener oder berechneter Immissionskonzentrationen mit schadstoffspezifischen Grenzwerten. Dazu sind in allgemeinen Verwaltungsvorschriften zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) - niedergelegt in der sog. Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) - vereinheitlichte Verfahren zur Ermittlung von Immissionskenngrößen und Immissions(grenz)werte zum Schutz vor Gesundheitsgefahren bzw. erheblichen Nachteilen und Belästigungen festgelegt worden. Derartige Grenzwerte existieren für einige wichtige Leitschadstoffe (z.B. Stickoxide, Schwefelverbindungen, Kohlenmonoxid, Staubpartikel), wobei ein ERSTER IMMISSIONSWERT (IW1) als Grenzwert für das langzeitliche Mittel der Immissionskonzentration fungiert, ein ZWEITER IMMISSIONSWERT (IW2) als Grenzwert für die zugehörige 98%-Summenhäufigkeit. Neben diesem ursprünglich flächenbezogenen Beurteilungsversuch der kurzzeitigeren Schadstoffeinwirkung finden sich in der VDI-Richtlinie 2310 punktbezogene MAXIMALE IMMISSIONSKONZENTRATIONS-GRENZWERTE (MIK-Werte) vor allem für 24-stündige und für halbstündige Einwirkungsdauer.

Grundsätzlich problematisch bleiben derartige Grenzwerte, weil sie als einzelsubstanzbezogenes Beurteilungskriterium nicht die synergistische Wirkung mehrerer Schadstoffe einzuschätzen vermögen. Dies gilt letztlich auch für die in der neuen VDI-Richtlinie 3787 definierten Luftbelastungsindizes, die drei Schadstoffkomponenten (SO_2 , NO_2 und Schwebstoff) additiv in sich fassen und zur differenzierenden Belastungsbewertung unterhalb der TA Luft-Immissionswerte herangezogen werden. Weiterhin erscheint vor allem der gesetzliche IW2-Wert zur Begrenzung kurzzeitiger Belastungen als unzureichend, erlaubt er doch für etwa eine Woche im Jahr - nämlich für den residualen 2%-Anteil an einem jährlichen

Begutachtungszeitraum - immer noch ein Überschreiten des angegebenen Grenzwerts; dies könnte sich völlig gesetzeskonform auch in einer zusammenhängenden Smogperiode außergewöhnlicher Spitzenbelastungen realisieren.

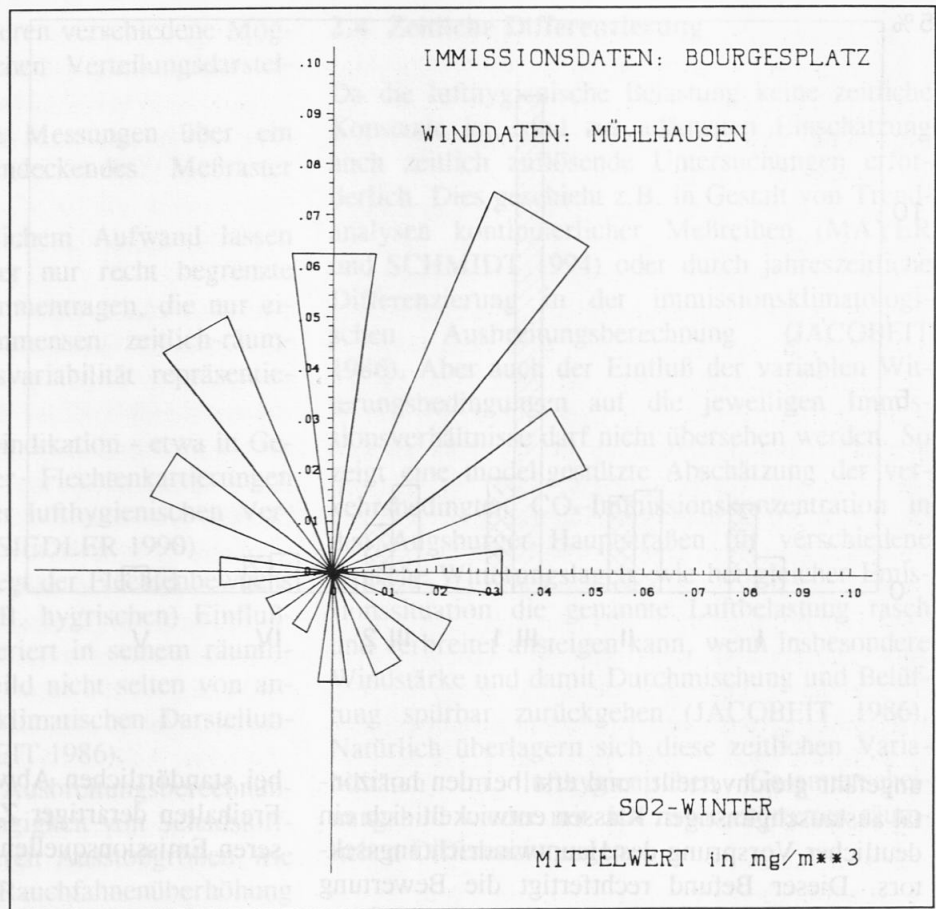
Lufthygienische Bewertungen sind also nicht ausschließlich im Vergleich mit gesetzlichen Grenzwerten zu erbringen, sondern erfordern auch eine höher aufgelöste Betrachtung; dies kann sich auf zeitliche oder räumliche Differenzierungen beziehen und wird vor allem deutlich im Kontext von Standortentscheidungen für potentielle Großemittenten.

2.2 Standortentscheidungen

Besonderer Einfluß auf die örtliche lufthygienische Situation ist von Großemittenten wie Kraftwerken, Industriekomplexen oder Verbrennungsanlagen zu erwarten, selbst wenn ein Teil des Schadstoffausstoßes aus hohen Kaminen dem Ferntransport anheimfällt. Bei gleicher Emissionsmenge liegt etwa für die Verursacherguppe Verkehr die resultierende Immissionsbelastung rund vier- bis zehnmal höher. Allerdings fallen die teils erheblichen Gesamtemissionsanteile der Großemittenten - nach LfU (1988) in Augsburg beim SO_2 mehr als 70% - sowie vor allem die Vielzahl branchenspezifischer Verbindungen ins Gewicht, so daß wohlüberlegte Standortentscheidungen bei Neugründungen oder Verlagerungen angezeigt sind.

Anfängliche Denkweisen, emissionsträchtige Industrien möglichst im Lee der Hauptwindrichtung - in weiten Teilen Mitteleuropas also am östlichen bis nordöstlichen Stadtrand - anzusiedeln, haben sich als zu wenig fundiert erwiesen. Abb. 1 zeigt als Beispiel eine Schadstoffwindrose aus dem Raum Augsburg, die die winterliche SO_2 -Immissionskonzentration an einer innerstädtischen Meßstation in Abhängigkeit von der an der amtlichen Wetterdienststation registrierten Windrichtung wiedergibt. Man erkennt sehr deutlich, daß bei Winden aus West bis Südwest (das entspricht dem Hauptwindrichtungssektor) die geringsten SO_2 -Belastungen auftreten, während bei nordöstlichen Winden die höchsten Immissionskonzentrationen festgestellt werden. Nun liegt zwar die

Abb. 1:
Schadstoffwindrose der mittleren SO_2 -Immissionskonzentration in der Augsburgener Innenstadt (Meßdaten des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz) in Abhängigkeit von der Windrichtung an der nordöstlichen Stadtperipherie (Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes) für die beiden Winterjahreszeiten 1987 und 1988.



Auftrittshäufigkeit nordöstlicher Winde wesentlich niedriger als diejenige des Hauptwindrichtungssektors, aber tatsächlich erweisen sich die atmosphärischen Durchmischungs- und Austauschbedingungen bei Nordost-Wetterlagen insgesamt als lufthygienisch weniger günstig. Dies zeigt Abb. 2, in der am Beispiel von Augsburg-Mühlhausen die Auftrittshäufigkeiten sog. Ausbreitungsklassen für Wetterlagen mit westlichen bis südwestlichen sowie östlichen bis nordöstlichen Winden einander gegenübergestellt werden. Die Ausbreitungsklassen nach KLUG/MANIER beschreiben dabei in Abhängigkeit von der vertikalen Temperaturschichtung und dem turbulenten Luftmassenaustausch verschiedene atmosphärische Bedingungen für die Schadstoffausbreitung:

- Die Klassen III₁ und III₂ sind durch indifferente Temperaturschichtung und meist höhere Windgeschwindigkeiten gekennzeichnet und konstituieren relativ günstige Ausbreitungsverhältnisse.

- Die Klassen IV und V führen bei labiler Temperaturschichtung zwar zu turbulenter Durchmischung, implizieren aber bei vorwiegend geringen Windgeschwindigkeiten eine erhöhte Wahrscheinlichkeit der Herabmischung von quellhöheren Abgasfahnen in nicht allzu grosser Entfernung von der Emissionsquelle.
- Die Klassen I und II sind durch stabile Temperaturschichtung und geringe Windgeschwindigkeiten gekennzeichnet, wodurch weder turbulente Durchmischung noch horizontale Ausbreitung wirksam werden und es zur fortschreitenden Anreicherung emittierter Schadstoffe in den unteren Luftschichten kommen kann.

Wie Abb. 2 zeigt, treten lufthygienisch besonders ungünstige, stabile Ausbreitungsklassen bei östlichen bis nordöstlichen Windrichtungen insgesamt häufiger auf als bei westlichen bis südwestlichen - sehr stabile Bedingungen sogar um einen Faktor 2,5. Die labilen Ausbreitungsklassen erscheinen

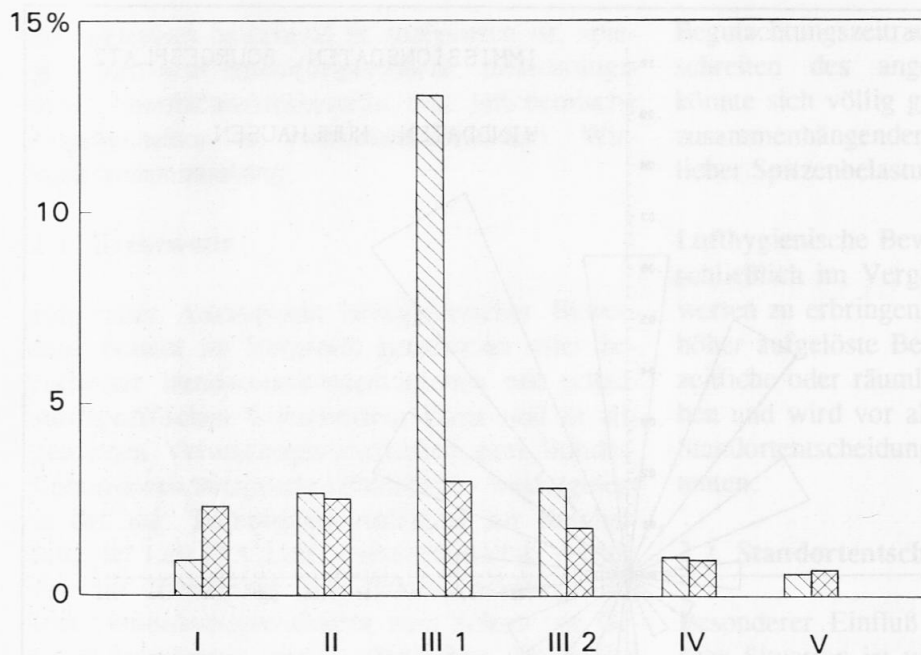


Abb. 2:
 Prozentuale Auftretshäufigkeiten von west- bis südwestlichen Winden (Diagonalschraffur) und von östlichen bis nordöstlichen Winden (Kreuzschraffur) in Abhängigkeit der Ausbreitungsklassen für die DWD-Station Augsburg-Mühlhausen im Zeitraum von 1980 bis 1988 nach KLUG/MANIER

ungefähr gleichverteilt, und erst bei den horizontal austauschgünstigen Klassen entwickelt sich ein deutlicher Vorsprung des Hauptwindrichtungssektors. Dieser Befund rechtfertigt die Bewertung der nordöstlichen Stadtperipherie als ungeeigneten Großemittentenstandort, da gerade bei relativ ungünstigen Ausbreitungsverhältnissen von dort stadteinwärts gerichtete Luftströmungen vergleichbar häufig oder sogar wesentlich häufiger auftreten als stadtauswärts gerichtete. Dieser Tatbestand mag aufgrund der geringeren Absoluthäufigkeiten nicht bei den gängigen Grenzwertbetrachtungen nach TA Luft durchschlagen, verdient aber wegen des erhöhten Belastungsrisikos in kritischen Einzelsituationen besondere Beachtung bei der lufthygienischen Standortbewertung. Gemessen daran erweist sich die Inbetriebnahme einer Müllverbrennungsanlage im Nordosten von Augsburg als lufthygienisch unsachgemäße Standortentscheidung, zumal die exemplarische Schadstoffwindrose aus Abb. 1 erst die Verhältnisse vor Betriebsbeginn widerspiegelt.

Weiterhin sind bei Standortüberlegungen natürlich auch lokale Windsysteme zu berücksichtigen, denen gerade bei fehlendem überörtlichem Austausch große Bedeutung für die städtische Lufterneuerung zukommt. Die Kenntnis ihrer bevorzugten Luftleitbahnen (vgl. Kapitel 3.2) ermöglicht

bei standörtlichen Abwägungen das erforderliche Freihalten derartiger Zirkulationsadern von größeren Emissionsquellen.

2.3 Räumliche Differenzierung

Über die Standortbewertung für Einzelemittenten hinaus erwächst für eine gezielte Stadtentwicklungsplanung jedoch auch die Notwendigkeit, sich möglichst umfassend über die lufthygienische Situation des gesamten Stadtgebietes kundig zu machen und zu einer räumlich differenzierten Einschätzung zu gelangen:

- Emissionsseitig geschieht dies in Gestalt sog. Emissionskataster (vgl. JACOBET 1986, LfU 1988), die den Schadstoffausstoß flächendeckend zu quantifizieren versuchen - in Bereichen zahlreicher Einzelverursacher (Verkehr, Hausbrand, Kleingewerbe) über rechnerische Näherungen - und Schwerpunktgebiete der Schadstofffreisetzung quellgruppenspezifisch erkennen lassen. Dabei erreichen haublockbezogene Aufbereitungen gegenüber schematischen Rasterquadraten als Darstellungsgrundlage meist einen höheren und vor allem planungsrelevanteren Differenzierungsgrad (JACOBET 1986).

- Immissionsseitig existieren verschiedene Möglichkeiten, zu räumlichen Verteilungsdarstellungen zu gelangen:

(1) Diskontinuierliche Messungen über ein möglichst flächendeckendes Meßraster (LfU 1988)

Selbst bei erheblichem Aufwand lassen sich jedoch immer nur recht begrenzte Stichproben zusammentragen, die nur einen Teil der immensen zeitlich-räumlichen Immissionsvariabilität repräsentieren.

(2) Methoden der Bioindikation - etwa in Gestalt epiphytischer Flechtenkartierungen als Spiegelbild der lufthygienischen Verhältnisse (WAHNSIEDLER 1990)

Allerdings unterliegt der Flechtenbewuchs auch weiteren (z.B. hygrischen) Einflußfaktoren und differiert in seinem räumlichen Verteilungsbild nicht selten von anderen immissionsklimatischen Darstellungen (vgl. JACOBET 1986).

Modellgestützte Ausbreitungsberechnungen, die in Abhängigkeit von Schadstoffemissionen, weiteren Ausstoßgrößen wie Quellhöhe und Rauchfahnenüberhöhung sowie vor allem den Wind- und Durchmischungsverhältnissen eine flächendeckende Bestimmung der resultierenden Immissionskonzentration in räumlicher Verteilungsdifferenzierung ermöglichen. Dabei lassen sich schadstoff- und quellgruppenspezifische Belastungsschwerpunkte identifizieren sowie im Vergleich mit dem Emissionskataster bewertende Aussagen zu Schadstoffumverteilungen treffen (JACOBET 1986).

Inwieweit Oberflächenstrukturen die räumliche Immissionsverteilung beeinflussen, haben etwa MAYER und HAUSTEIN (1993) für den städtischen Straßbereich aufgezeigt. Danach variiert die verkehrsbedingte Immissionskonzentration mit dem jeweiligen Straßentypus und führt bei Straßenschluchten mit beidseitig geschlossener Bebauung, die höher aufragt als die Breite der Straße mißt, zur ungünstigsten lufthygienischen Bewertung. Natürlich beeinflußt auch die Ventilierbarkeit jeglicher Baukörperstrukturen die jeweilige Immissionssituation in räumlich differenzierender Weise.

2.4 Zeitliche Differenzierung

Da die lufthygienische Belastung keine zeitliche Konstante ist, sind zur adäquaten Einschätzung auch zeitlich auflösende Untersuchungen erforderlich. Dies geschieht z.B. in Gestalt von Trendanalysen kontinuierlicher Meßreihen (MAYER und SCHMIDT 1994) oder durch jahreszeitliche Differenzierung in der immissionsklimatologischen Ausbreitungsberechnung (JACOBET 1986). Aber auch der Einfluß der variablen Witterungsbedingungen auf die jeweiligen Immissionsverhältnisse darf nicht übersehen werden. So zeigt eine modellgestützte Abschätzung der verkehrsbedingten CO_x-Immissionskonzentration in den Augsburger Hauptstraßen für verschiedene typische Witterungslagen, wie bei gleicher Emissionssituation die genannte Luftbelastung rasch und verbreitet ansteigen kann, wenn insbesondere Windstärke und damit Durchmischung und Belüftung spürbar zurückgehen (JACOBET 1986). Natürlich überlagern sich diese zeitlichen Variabilitäten im lufthygienischen Gesamterscheinungsbild wieder mit den zuvor erörterten räumlichen Differenzierungen.

3. Stadtklima

Durch die Schaffung künstlicher Oberflächen und die Errichtung städtischer Baukörper verändert der Mensch das Klima in der planetaren Grenzschicht und erzeugt bei einer Vielzahl klimatischer Parameter und Haushaltsgrößen registrierbare Modifikationen (WANNER 1986). Unter übergeordneten Bewertungsgesichtspunkten erscheinen dabei Veränderungen des Temperatur- und des Windfeldes am bedeutsamsten, die auch in der bioklimatischen Beurteilung und bei der Erhellung klimafunktionaler Zusammenhänge eine hervorgehobene Rolle spielen.

3.1 Thermische Verhältnisse

Die vielzitierte Überwärmung der Städte geht auf eine Reihe von Ursachen zurück. Neben der treibhauseffektfördernden Spurenstoffanreicherung in der Stadtatmosphäre und einer teils erheblichen anthropogenen Wärmeproduktion wirken sich die Geometrie des städtischen Baukör-

pers (vergrößerte Absorptionsoberflächen, strahlungswirksame Horizonteigungen, wärmetransportmindernde Bebauungsdichten) und die veränderte Oberflächenbeschaffenheit nachhaltig aus (hohe Anteile von Materialien großen Wärmespeicherungsvermögens, hoher Versiegelungsgrad mit starken Anteilsverschiebungen vom latenten zum sensiblen Energieterm). Das vielgestaltige Mosaik unterschiedlicher Oberflächenbedeckungsarten kommt sinnfällig in einschlägigen Thermalluftbildern zum Ausdruck (STADT AUGSBURG 1994), die flächendeckende Informationen über die herrschenden Oberflächentemperaturen als Auswertungsgrundlage bereitstellen (KULOW 1990). Im Bewertungskontext bezieht man sich allerdings eher auf die Lufttemperaturen (standardgemäß 2 m über Grund), z.B. bei der häufig auftretenden Beurteilungsfragestellung nach thermischen Auswirkungen baulicher Maßnahmen im Stadtgebiet. Derartige Aufgaben lassen sich heute mit mikroskaligen Klimamodellen behandeln, können aber auch mit einfachen Bilanzierungsansätzen approximativ bearbeitet werden. Nach einem Verfahren, das HASE (1990) im Stadtgebiet von Augsburg eingesetzt hat, lassen sich aus Flächenbilanzierungen von Oberflächenbedeckungsarten über deren Verknüpfung mit zugehörigen charakteristischen Lufttemperaturwerten flächendeckende Temperaturkarten für bestimmte Zeitpunkte im Jahres- und Tagesgang ableiten, die beim Vergleich von Stadtentwicklungsphasen mit unterschiedlicher Oberflächenzusammensetzung Auskunft über die baulich bedingten thermischen Veränderungen zu geben vermögen. Abb. 3 zeigt auf dieser Verfahrensgrundlage, wie sich z.B. am Rand eines Stadtteils von Augsburg die Abendtemperaturen strahlungsreicher und windschwacher Sommertage durch Baumaßnahmen in den Jahren zwischen 1981 und 1989 geändert haben. Man erkennt neben wenigen Stellen mit leichter Temperaturabnahme (etwa um eine Sportanlage) mehrere Bereiche mit signifikant höheren Temperaturen (teils bis zu 4°C), die vor allem auf gewerbliche Ansiedlungen in den 80er Jahren zurückzuführen sind.

Ähnliche Abschätzungen lassen sich natürlich auch prognostisch durchführen, um z.B. die thermischen Auswirkungen geplanter Baumaßnahmen oder größerer Begrünungsprojekte schon vorab

einstufen zu können. Einschränkend bleibt allerdings festzuhalten, daß dieser Ansatz lediglich auf einem stark vereinfachten statischen Modell beruht, das insbesondere keine Advektion und keine turbulente Durchmischung berücksichtigt.

3.2 Ventilation und Vertikalaustausch

Die städtischen Windverhältnisse werden durch den komplex strukturierten Baukörper vielfältig modifiziert, wobei generell eine rauigkeitsbedingte Reduktion der Windstärke sowie objektkonfigurationsabhängige mikroskalige Turbulenzen kennzeichnend sind. Sowohl unter lufthygienischen wie unter thermisch-hygrischen Gesichtspunkten ist eine hinreichende Durchlüftung ausschlaggebend für ein verträgliches Stadtklima, wofür jedoch potentiell wirkungsvolle Luftleitbahnen erforderlich sind. MAYER und MATZARAKIS (1992) etwa erfassen für das Münchener Stadtgebiet alle urbanen Flächen, die diesbezüglichen Anforderungen genügen (geringe Oberflächenrauigkeit, geometrische Mindestabmessungen, limitierte Hinderniswirkungen), und klassifizieren sie nach Abmessung und potentieller Wirksamkeit, wobei zusätzlich unterschieden wird zwischen Ventilationsbahnen (thermisch und lufthygienisch nicht festgelegt), Kaltluftbahnen (keine thermische Belastung), Frischluftbahnen (keine lufthygienische Belastung) sowie bioklimatischen Frisch- und Kaltluftbahnen (weder lufthygienische noch thermische Belastung). Eine darauffolgende Punktevergabe je nach Art, Breite und Hindernisbehaffung der Luftleitbahnen mündet schließlich in eine vergleichende Bewertung ihrer bioklimatischen Effektivität. Inwieweit derartige potentiell wirkungsvolle Luftleitbahnen auch tatsächlich von innerstädtischen Luftströmungen genutzt werden, hängt natürlich von den atmosphärischen Windverhältnissen ab. Hierbei wiederum sind vor allem lokale Windsysteme von Bedeutung, die bei schwachen synoptischen Winden zum Tragen gelangen und dann gerade auch die zunehmend erforderliche Belüftung zu bewerkstelligen haben. Sie lassen sich in folgende Untergruppen einteilen:

- Topographische Winde, die in stärker reliefiertem Gelände zur Ausbildung gelangen und vor allem als nächtliche Kaltluftabflüsse wirksam werden.

- Schwache nächtliche Ausgleichsströmungen, die in langgezogenen Talräumen Luftmassen aus höher gelegenen Bereichen des Hinterlandes heranzuführen, wie dies z.B. im Alpenvorland nachweisbar ist (vgl. JACOBET 1990).
- Thermisch induzierte Flurwinde, die aus dem kühleren Umland in überwärmte Stadtbereiche hineinwehen.

Die Bedeutsamkeit derartiger Flurwinde wird unterschiedlich eingeschätzt. Im Ruhrgebiet werden teils respektable 10% an Auftretshäufigkeit angegeben (KUTTLER 1993), in Augsburg liegen die Zahlen deutlich niedriger, belegen aber eine gesteigerte Bedeutsamkeit gerade in der Nachbarschaft zu den ausgedehnten westlichen Wäldern (JACOBET 1990).

- Innerstädtische Strukturwinde, die zwischen unterschiedlich temperierten Teilbereichen, bevorzugt zwischen bebauten und unbebauten Arealen auftreten und auch nicht mehr notwendigerweise an definitive Luftleitbahnen gebunden sind.

BURKERT (1992) entwickelt dementsprechend auch ein ventilationsorientiertes Bewertungssystem, das bereits einzelne Stadtstrukturen hinsichtlich ihres Luftaustauschpotentials abgestuft einzuordnen versucht.

Nicht nur horizontale Luftbewegungen, sondern auch vertikale Austauschprozesse bestimmen die Klimaausprägung und bedürfen daher ebenfalls einer differenzierenden Beurteilung. Abb. 4 zeigt ein Beispiel aus dem hygrischen Bereich, charakteristische Tagesgänge des Dampfdrucks - einer maßgeblichen Einflußgröße auf das menschliche Schwüleempfinden - an zwei unterschiedlichen innerstädtischen Standorten während sommerlicher autochthoner Strahlungswetterlage. Im dicht bebauten Innenstadtbereich erkennen wir nach morgendlichem Anstieg ein bis in die Nacht hinein etwa gleichbleibendes Dampfdruckniveau, während sich über der offenen Rasenfläche nach einem relativen Maximum aufgrund der temperaturbedingten Verdunstungszunahme nach Sonnenaufgang schon relativ früh am Vormittag ein geringerer (!) Wasserdampfgehalt der Luft einstellt. Dies geht auf den thermisch induzierten Vertikalaustausch zurück, der zwar über der offenen Rasenfläche ungehindert wirksam werden kann,

Abb. 3:

Berechnete Lufttemperaturveränderungen (gültig für sommerliche Strahlungswettertage nach Sonnenuntergang) im westlichen Augsburg-Haunstetten aufgrund von Oberflächenveränderungen in den Jahren 1981-1989 (Maßstab ca. 1:10.000, Erwärmungsbereiche mit durchgezogenen Isolinien, Wertangaben in °C)

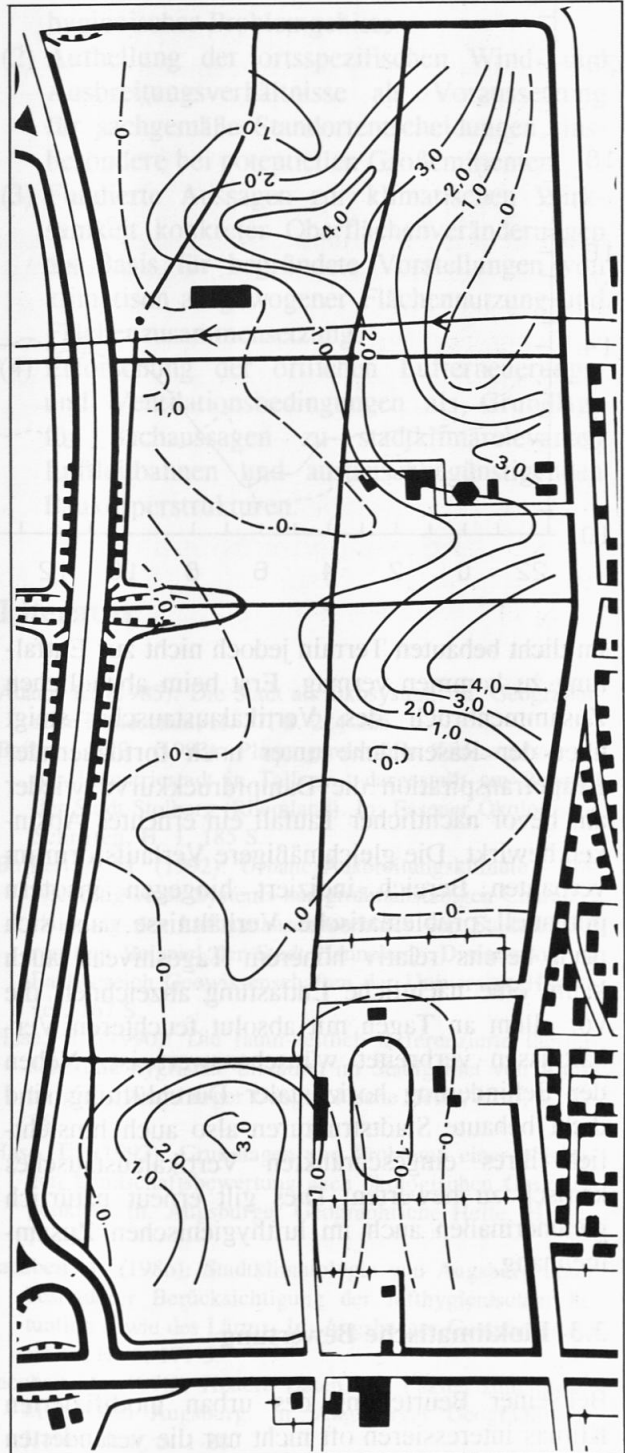
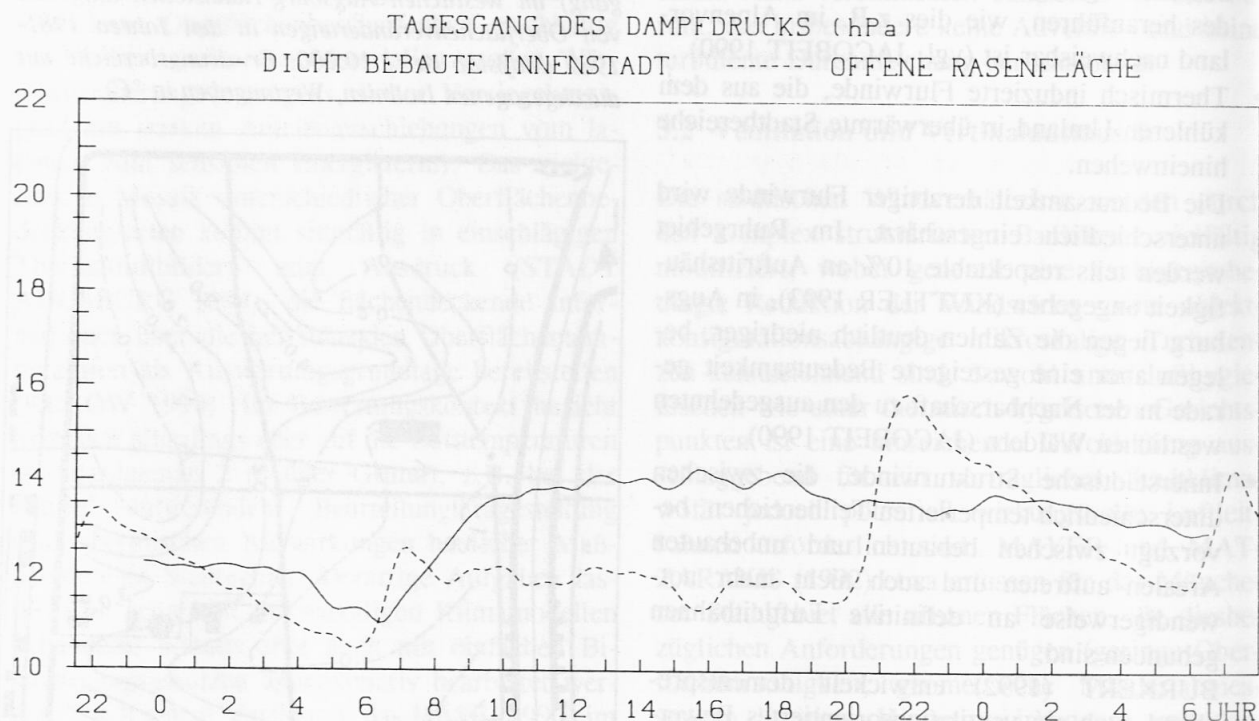


Abb. 4: Charakteristischer Tagesgang des Dampfdrucks (hPa) in 2 m über Grund während sommerlichem Strahlungswetter an zwei verschiedenen Standorten im Augsburger Stadtgebiet



im dicht bebauten Terrain jedoch nicht zur Entlastung zu kommen vermag. Erst beim abendlichen Zusammenbruch des Vertikalaustauschs steigt über der Rasenfläche unter noch fortdauernder Evapotranspiration die Dampfdruckkurve wieder an, bevor nächtlicher Taufall ein erneutes Absinken bewirkt. Die gleichmäßigere Verlaufsform im verbauten Bereich indiziert hingegen insofern potentiell problematische Verhältnisse, als sich nach bereits relativ höherem Tagesniveau auch kaum eine nächtliche Entlastung abzeichnet, die vor allem an Tagen mit absolut feuchteren Verhältnissen verbreitet wünschenswert ist. Neben der Behinderung horizontaler Durchlüftung sind dicht bebaute Stadtstrukturen also auch hinsichtlich ihres eingeschränkten Vertikalaustausches kritisch zu bewerten. Dies gilt erneut natürlich gleichermaßen auch im lufthygienischen Zusammenhang.

3.3 Bioklimatische Bewertung

Bei einer Beurteilung des urban modifizierten Klimas interessieren oft nicht nur die veränderten

Verteilungen meteorologischer Elemente selbst, sondern auch die damit gewandelten Auswirkungen auf die Befindlichkeit der Stadtbewohner. Dazu kann man sich bioklimatischer Bewertungsverfahren bedienen, wie sie z.B. in Gestalt des Klima-Michel-Modells fortentwickelt worden sind (JENDRITZKY 1991). Ausgangspunkt ist eine sog. Behaglichkeitsgleichung, die die wesentlichen Bestimmungsgrößen des menschlichen Wärmehaushalts beinhaltet (Lufttemperatur, Wasserdampfdruck, Windgeschwindigkeit, kurz- und langwellige Strahlungsflüsse, innere Wärmeproduktion, thermischer Widerstand der Bekleidung). Die situativen Gleichgewichtsabweichungen in der Behaglichkeitsgleichung werden über das subjektive Empfinden eines repräsentativen Personenkollektivs in eine skalierte, durchschnittlich zu erwartende Beurteilung des thermischen Milieus transformiert, die außerhalb des mehrheitlich empfundenen Behaglichkeitsbereichs abgestuft festgelegte Diskomfortbereiche der Wärmebelastung und des Kältestresses umfaßt. Zugunsten vergleichbarer Bewertungsergebnisse werden schließlich für einen Durchschnittsmenschen (Kli-

ma-Michel) die Humankomponenten Aktivität, Bekleidung und Strahlungsexposition normiert.

Die Anwendung für stadtklimatologische Belange erfolgt dann dergestalt, daß die meteorologischen Werte in der Behaglichkeitsgleichung über ein mikroskaliges numerisches Stadtklimamodell als Funktion der jeweiligen Stadtstrukturen generiert werden; topographische Einflüsse finden über empirische Ansätze Berücksichtigung. Als Ergebnis lassen sich zunächst Klimavorbehaltskarten erzeugen, die etwa Ausmaß und Verteilung der urbanen Wärmebelastung darstellen; bei Einbezug weiterer Klimainformationen können daraus auch bioklimatische Eignungskarten für verschiedene Nutzungstypen entwickelt werden (JENDRITZKY 1991).

3.4 Synthetische Klimafunktionskarten

Häufig wird die Gesamtheit der klimarelevanten Informationen städtischer Lebensräume kartographisch mehrschichtig zusammengefaßt und einer beurteilungsgerechten Darstellung in sog. synthetischen Klimafunktionskarten zugeführt. Grundlage bildet zumeist die Ausweisung klimatisch homogener Raumeinheiten (Klimatope), die in Abhängigkeit von der jeweiligen Flächennutzungsstruktur, im Falle stärker reliefierten Geländes auch überlagert mit topographischen Gliederungsgesichtspunkten (BARLAG 1993), festgelegt werden. Es schließen sich raumbezogene Informationen über spezifische Klimaeigenschaften (z.B. Kaltluftentstehungsgebiete, schlecht durchlüftete Bereiche), spezielle Klimafunktionen (z.B. Filter- oder Ausgleichsfunktionen von Wald- oder Parkanlagen) sowie über bedeutsame dynamische Aspekte (z.B. Luftleitbahnen, nächtlicher Kaltluftabfluß) an. Die aus diesen wertenden Darstellungen erwachsenden Handlungsbedürftigkeiten werden anschließend in eigenen Planungshinweiskarten dokumentiert oder auch ergänzend in die Klimafunktionskarte integriert (vgl. BARLAG 1993).

4. Zusammenfassung

Aus der Vielzahl bewertender Untersuchungen mit stadtklimatologischem Inhaltsbezug lassen

sich unter anwendungsorientierter Sichtweise vorrangig folgende planungsrelevante Sachthemenkomplexe zusammenfassen:

- (1) Quantifizierung und räumliche Verteilungsbestimmung von Emissionen und Immissionen als Grundlage für fachliche Stellungnahmen zu Beschaffenheit und Anordnung lufthygienischer Problemgebiete.
- (2) Aufhellung der ortsspezifischen Wind- und Ausbreitungsverhältnisse als Voraussetzung für sachgemäße Standortentscheidungen, insbesondere bei potentiellen Großemittenten.
- (3) Fundierte Aussagen zur klimatischen Wirksamkeit konkreter Oberflächenveränderungen als Basis für begründete Vorstellungen von klimatisch ausgewogener Flächennutzung und Flächensammensetzung.
- (4) Erforschung der örtlichen Lüfterneuerungs- und Ventilationsbedingungen als Grundlage für Sachaussagen zu stadtklimarelevanten Luftleitbahnen und austauschbegünstigenden Baukörperstrukturen.

Literatur

- Adam, K. (1985): Die Stadt als Ökosystem. In: Geographische Rundschau, H. 37, S. 214-225.
- Barlag, A.-B. (1993): Planungsrelevante Klimaanalyse einer Industriestadt in Tallage - dargestellt am Beispiel der Stadt Stolberg (Rheinland). In: Essener Ökologische Schriften, H. 1, 185 S.
- Burkert, F.M. (1992): Urbane Ausbreitungsklimate - Entwicklung eines Systems zur großmaßstäbigen Charakterisierung des Luftaustauschpotentials von Stadtstrukturen (am Beispiel der Stadt Hannover). Dissertation am Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hannover, 167 S.
- Hase, E. (1990): Die raum-zeitlich differenzierte thermische und hygrische Situation im Stadtgebiet von Augsburg. In: Augsburger Geographische Hefte, H. 8, S. 29-75.
- Hase, E. (1992): Grundlagen und Probleme einer objektiven Landschaftsbewertung nach ökologischen Gesichtspunkten. In: Augsburger Geographische Hefte, H. 11, 164 S.
- Jacobeit, J. (1986): Stadtklimatologie von Augsburg unter besonderer Berücksichtigung der lufthygienischen Situation sowie des Lärms. In: Augsburger Geographische Hefte, H. 6, 171 S.
- Jacobeit, J. (1990): Neuere Daten und Fakten zum Stadtklima von Augsburg. In: Augsburger Geographische Hefte, H. 8, S. 1-28.
- Jendritzky, G. (1991): Zur räumlichen Darstellung der

- thermischen Umgebungsbedingungen des Menschen in der Stadt. In: Freiburger Geographische Hefte, H. 32, S. 1-18.
- Kulow, K.-H. (1990): Tageszeitliches Temperaturverhalten verschiedener Baukörperstrukturen in Augsburg anhand Thermalbildauswertung. In: Augsburger Geographische Hefte, H. 8, S. 77-119.
- Kuttler, W. (1993): Planungsorientierte Stadtklimatologie. Aufgaben, Methoden und Fallbeispiele. In: Geographische Rundschau, H. 45, S. 95-106.
- LfU (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz) (Hrsg.) (1988): Belastungsgebiet Augsburg - Emissionskataster, Immissionskataster. München, 202 S.
- Mayer, H. und C. Haustein (1993): Immissionen durch den Kraftfahrzeugverkehr in Ballungsräumen. Umwelt & Entwicklung Bayern (Hrsg.), Materialien 105, 270 S.
- Mayer, H. und A. Matzarakis (1992): Stadtklimarelevante Luftströmungen im Münchner Stadtgebiet. Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag des Umweltschutzreferates der Landeshauptstadt München, 96 S.
- Mayer, H. und J. Schmidt (1994): Immissionen in bayerischen Belastungsgebieten (Fortsetzung) - IMLAST. Umwelt & Entwicklung Bayern (Hrsg.), Materialien 100, 249 S.
- Stadt Augsburg (Hrsg.) (1994): Umweltbericht/Umweltprogramm 1993/94: Luftreinhaltung und Klimaschutz. 147 S.
- Wahnsiedler, E. (1990): Beurteilung der lufthygienischen Situation von Augsburg durch Flechten als Bioindikatoren. In: Augsburger Geographische Hefte, H. 8, S. 121-152.
- Wanner, H. (1986): Die Grundstrukturen der städtischen Klimamodifikation und deren Bedeutung für die Raumplanung. In: Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft von Bern, H. 55, S. 67-84.